Universidade de São Paulo

Programa Interunidades em Ensino de Ciências

Uma história da radioatividade para a Escola Básica: desafios e propostas

Tauan Garcia Gomes

Orientadora: Profa. Dra. Thaís C. de M. Forato

São Paulo

2015

Universidade de São Paulo

Programa Interunidades em Ensino de Ciências

Uma história da radioatividade para a Escola Básica: desafios e propostas

Tauan Garcia Gomes

Orientadora: Profa. Dra. Thaís C. de M. Forato

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

São Paulo

2015

Autorizo a reprodução parcial deste trabalho, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte. A reprodução comercial, em todo ou em parte, por qualquer meio, somente é permitida com expressa autorização escrita do autor.

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

Gomes, Tauan Garcia

Uma história da radioatividade para a escola básica: desafios e propostas. São Paulo, 2015.

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

Orientador: Profa. Dra. Thaís Cyrino de Mello Forato

Área de Concentração: Química.

Unitermos: 1. Química – Estudo e ensino; 2. História da ciência; 3. Radioatividade; 4. Ciência – Estudo e ensino.

USP/IF/SBI-071/2015

Este trabalho, como toda a minha produção, é dedicado à deusa Atena e o que ela representa.

AGRADECIMENTOS

À orientadora, professora Thaís Forato, pelo carinho, pela paciência, pela atenção, pelas horas investidas, pelo ouvido atento, pelos conselhos estimados e pelas palavras sinceras.

À Luciana, professora e amiga que esteve comigo em todo o caminho até aqui.

Ao Esdras, um amigo, um exemplo.

Ao HSSE, um grupo unido, um estímulo.

À Renata e ao Matheus que passaram comigo por várias etapas desafiadoras do mestrado.

Ao Evandro e à Anielli pelas dicas de artigos, sobre disciplinas e eventos.

Ao Aennder e à Danielle pelas dicas de artigos e nas apresentações.

À Graziela, pelas boas risadas e pelos desabafos.

À Amanda, à Ana Rita, à Maria Júlia, à Marília, ao Neto, à Paola e ao Ramon, pelos bons momentos que garantiram a minha sanidade mental durante esse processo.

À minha mãe, sempre presente, um apoio, uma força, um carinho.

À tia Pat, uma crítica bem vinda e uma observadora instigante.

À família de um modo geral, pelo apoio e pelo refúgio.

A todos os professores que passaram pela minha vida, deixando suas marcas e contribuições.

Aos deuses, pelas bençãos e inspirações;

À CAPES e ao CNPq pelo fomento e apoio.

Sonnet – To Science

Science! true daughter of Old Time thou art!
Who alterest all things with thy peering eyes.
Why preyest thou thus upon the poet's heart,
Vulture, whose wings are dull realities?
How should he love thee? or how deem thee wise?
Who wouldst not leave him in his wandering
To seek for treasure in the jewelled skies,
Albeit he soared with an undaunted wing?
Hast thou not dragged Diana from her car?
And driven the Hamadryad from the wood
To seek a shelter in some happier star?
Hast thou not torn the Naiad from her flood,
The Elfin from the green grass, and from me
The summer dream beneath the tamarind tree?

Edgar Allan Poe

RESUMO

Nas últimas décadas cresceu o número de pesquisas que defendem os benefícios do uso da História da Ciência na educação científica, entretanto, surgiram também estudos apontando diversas dificuldades para tal fim, inclusive quanto à carência de propostas efetivas para a sala de aula. A partir deste impasse, desenvolvemos uma pesquisa que elabora e analisa o processo de construção de uma abordagem didática da história da radioatividade para o Ensino Médio para ser utilizada por professores de química e de física. Seleccionamos aspectos da pesquisa sobre radioatividade, desde seu início — entre as décadas de 1890 e de 1900 — às suas aplicações, durante o século XX, como tema para a construção de uma proposta didático-metodológica para ensino de física e de química. Além de conceitos científicos, tais episódios permitem discussões metacientíficas, por exemplo, diferenciando a descoberta de um fenômeno natural da construção de explicações sobre ele e a compreensão da ciência enquanto fazer coletivo. Utilizamos como apoio metodológico uma proposta que se propõe a lidar com obstáculos apontados pela literatura, fundamentando a seleção e adaptação de conteúdos históricos na proposição de atividades didáticas, a partir de cada contexto educacional e dos objetivos epistemológicos estabelecidos pelo autor/pesquisador. Oferecemos como resultados desta pesquisa o planejamento para as aulas, os textos para os alunos (material didático) e para o professor e a análise sobre a construção da proposta, que pode auxiliar outras pesquisas na área.

Palavras Chave: História da Ciência; Radioatividade; Ensino de Ciências.

ABSTRACT

In recent decades has grown the number of research defending the benefits of using the History of Science in science education, however, there were also studies pointing out the difficulties for that purpose, including proposals for the classroom. From this impasse, we developed a survey that establishes and analyzes the process of building a didactic approach of radioactivity history for the high school for be used by teachers of chemical and physical. We selected aspects of research on radioactivity, since its beginning — between the 1890s and 1900s — to their applications, during the twentieth century, as the theme for the construction of a didactic-methodological proposal for physics and chemistry teaching. In addition to scientific concepts such episodes allow metascientific discussions, for example, differentiating the discovery of a natural phenomenon of building explanations about it and understanding of science while making collective. The methodology used, which proposes to deal with obstacles mentioned by the literature, supporting the selection and adaptation of historical contents in proposing educational activities, from every educational context and epistemological objectives set by the author / researcher. We offer as a result of this research the plans for classes, the texts for students (teaching materials) and for the teacher and the analysis on the construction of proposal, that can assist other research in the area.

Key Words: History of Science; Radioactivity; Science education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Raios catódicos em um tubo de Crookes.....	83
Figura 2: Chapa fotográfica marcada com emissão de urânio não exposto ao sol	87
Figura 3: a) Eletroscópio de folhas b) Representação de um eletroscópio de folhas sendo estimulado	88
Figura 4: Marie Curie	89
Figura 5: Radioisótopos e sua utilização na medicina.....	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Parâmetros para construção de propostas didáticas adaptados a partir de Forato (2009).....	22
Quadro 2: Síntese das aulas.....	44
Quadro 3: Síntese da aula 1.....	46
Quadro 4: Objetivos pedagógicos e conteúdo metacientífico da aula 1.....	47
Quadro 5: Síntese da aula 2.....	48
Quadro 6: Objetivos pedagógicos e conteúdo metacientífico da aula 2.....	49
Quadro 7: Síntese da aula 3.....	50
Quadro 8: Objetivos pedagógicos e conteúdo metacientífico da aula 3.....	51
Quadro 9: Síntese da aula 4.....	52
Quadro 10: Objetivos pedagógicos e conteúdo metacientífico da aula 4.....	52
Quadro 11: Síntese da aula 5.....	53
Quadro 12: Objetivos pedagógicos e conteúdo metacientífico da aula 5.....	53
Quadro 13: Síntese da aula 6.....	54
Quadro 14: Objetivos pedagógicos e conteúdo metacientífico da aula 6.....	55

LISTA DE SIGLAS

CTS – Ciência Tecnologia e Sociedade

HC – História da Ciência

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

SUMÁRIO

1 CONTEXTO E OBJETIVOS DA PESQUISA	1
2 A HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS.....	6
2.1 A HISTÓRIA DA RADIOATIVIDADE NA ESCOLA BÁSICA.....	10
2.2 QUESTÕES DE DISCIPLINARIDADE.....	12
3 METODOLOGIAS ENVOLVIDAS NA PESQUISA	19
3.1. ESTUDO DO EPISÓDIO HISTÓRICO	20
3.2. CONSTRUÇÃO DA PROPOSTA PARA A SALA DE AULA	21
3.2.1 Síntese dos parâmetros adaptados a esta pesquisa.....	22
3.2.2 Construindo a proposta: explicitando as reflexões pelos parâmetros	23
3.3 DADOS PARA A ANÁLISE SOBRE A PROPOSTA	32
4 RESULTADOS.....	344
4.1 TEXTO PARA O PROFESSOR: RECORTE HISTÓRICO DO INÍCIO DA PESQUISA COM RADIOATIVIDADE (1895-1903).....	355
4.2 A PROPOSTA DIDÁTICO-METODOLÓGICA: AULAS E ORIENTAÇÕES.....	433
4.3 ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	566
4.3.1 O problema com os sites referenciados	577
4.3.2 Resistência com o transdisciplinar	599
4.3.3 Problemas com a controvérsia da continuidade e descontinuidade da matéria.....	60
4.3.4 O uso dos parâmetros	611
4.3.5 Dificuldades com a divulgação da pesquisa	633
4.3.6 Dificuldade na proposição das aulas	655
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	689
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
APÊNDICES	777

1 CONTEXTO E OBJETIVOS DA PESQUISA

É comum professores da Educação Básica apontarem que seus alunos têm grande dificuldade de aprendizagem na área das Ciências Exatas, como Física e Química. Uma possível causa para essa dificuldade pode ser o fato de terem pouca ou nenhuma noção do processo de (re)construção científica. Outro fator agravante é que, na maioria das vezes, os estudantes se vêm distantes do objeto de estudo dessas disciplinas. Nesse contexto, o estudo da História das Ciências (HC) pode ser de grande valia, pois permite ao aluno conhecer aspectos dos processos envolvidos na elaboração de conceitos e teorias das Ciências Naturais, aproximando o aluno dos problemas e questões, bem como de dificuldades, que motivaram sua construção (MATTHEWS, 1995).

Além disso, o estudo de episódios históricos, em perspectiva historiográfica atual¹ (MARTINS, 2001; PORTO, 2010), evidencia a influência de aspectos científicos e metacientíficos (por exemplo, socioculturais) na construção de modelos e teorias das ciências e apresenta as controvérsias envolvidas no pensamento científico. Assim, defendemos que esta abordagem histórica também favorece o ensino/aprendizagem de conteúdos metacientíficos, agregando um diálogo entre os saberes e tornando as aulas mais desafiadoras e reflexivas (MATTHEWS, 1995; PULIDO & SILVA, 2011).

Tal perspectiva é recomendada também por documentos oficiais, por exemplo, desde pelo menos 1999, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL, 1999), no que tange o Ensino de Química, destacam a ideia da construção social da ciência:

A História da Química, como parte do conhecimento socialmente produzido, deve permear todo o ensino de Química, possibilitando ao aluno a compreensão do processo de elaboração desse conhecimento, com seus avanços, erros e conflitos. (BRASIL, 1999, p. 240).

As Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - PCN+ reforçam tais recomendações, e destacam a importância da contextualização histórica para o desenvolvimento das

¹Entre os historiadores da ciência ocorre um debate sobre visões e critérios historiográficos da HC. Dado o dissenso, cabe esclarecer que adotamos como exemplo de critérios caros ao que denominamos “historiografia contemporânea” a abordagem diacrônica para o estudo de episódios históricos como discutidas em Martins (2001;) e em Porto (2010).HC.

habilidades e competências nas aulas das ciências naturais (BRASIL, 2002). Abordagens históricas são recomendadas, por exemplo, nos modelos de constituição da matéria em Química (BRASIL, 2002, p. 93-94; p.96), na origem da vida em Biologia (BRASIL, 2002, p.50-51), ou a origem do universo em Física (BRASIL, 2002, p.71; p78-79).

Tais recomendações endossam a proposição de abordagens transdisciplinares² (D'AMBROSIO, 2007) entre as ciências naturais, tendo a HC como eixo condutor; ideia que foi explorada por essa pesquisa, na elaboração de uma proposta para ser utilizada por professores de química e de física. Além disso, esse enfoque contextualizado e transdisciplinar para a HC permite abordar a ciência como cultura, possibilitando inúmeras interações entre conhecimento científico e vida social. (ANDRADE *et al.*, 2007; BRASIL, 2002; ZANETIC, 2002).

Diversos outros objetivos educacionais podem ser mobilizados pela interface gerada entre as Ciências da Natureza e sua História (GIL-PEREZ *et al.*, 2001; MARTINS, R., 2006; PEDUZZI, 2001), por exemplo:

- incrementar a cultura geral do aluno, pois acreditamos que compreender certos episódios fundamentais que ocorreram na história da ciência possui um valor intrínseco para a formação dos estudantes;
- utilizá-la como um recurso para discutir criticamente a concepção empírico-indutivista das Ciências da Natureza, que encerra uma concepção ingênua de verdade absoluta estabelecida pelo método empírico;
- estudar a gênese de um conceito ou lei científica permite o aprendizado significativo de equações e fórmulas, transformadas em meras ferramentas na resolução de problemas pelo ensino tradicional.

Nesta perspectiva, selecionamos o desenvolvimento histórico das pesquisas sobre radioatividade como tema da HC a ser trabalhado. Tal tema foi escolhido, tanto pelos conteúdos específicos dos currículos oficiais de química e física que mobiliza (BRASIL, 2002), quanto pela possibilidade de constituir-se uma estratégia didática para promover a transdisciplinaridade e a reflexão sobre conteúdos metacientíficos³.

² Especificamos no capítulo 2 (seção 2.1) a perspectiva adotada para a transdisciplinaridade.

³ O recorte histórico e os conteúdos científicos e metacientíficos selecionados, estão explicitados e justificados nos próximos capítulos desta dissertação.

Além disso, aplicações da radioatividade – como o uso medicinal ou a produção de energia – têm sido um tema recorrente no Ensino de Ciências, comumente gerando controvérsias ou desencadeando opiniões diversas, muitas vezes carentes de compreensão do assunto (MERÇON & QUADRAT, 2004; SANTOS & OLIVEIRA, 1998). Dessa forma, consideramos importante desenvolver propostas que possam contribuir para o aprendizado desse conteúdo.

Por outro lado, vivenciamos um cenário em que, a despeito da vasta literatura defendendo os usos da HC na Educação Científica, ainda encontramos inúmeros obstáculos a serem enfrentados para este fim nos diferentes níveis escolares (FORATO, 2009; HÖTTECKE & SILVA, 2010; MARTINS, A., 2007). Tais obstáculos voltam-se para diferentes instâncias educacionais, como produção de materiais didáticos, formação do professor, exigências do âmbito escolar e concepções de ciência presentes em nossos ambientes cultural e social, incluindo a própria Escola Básica e Universitária. Estudos apontam a necessidade de análise sobre ações concretas em todas essas instâncias, à medida que pesquisas recentes apontam que ainda predominam mundialmente tanto visões distorcidas sobre as ciências, quanto dificuldades de aprendizagem dos conteúdos científicos (ABD-EL-KHALICK, 2012).

Esta pesquisa volta-se, assim, para a análise do desenvolvimento de uma proposta didático-metodológica para a Escola Básica, que utiliza episódios da história da radioatividade visando proporcionar a transdisciplinaridade entre a química e a física, discutir conceitos científicos e conteúdos metacientíficos. A pesquisa tem como meta final oferecer duas contribuições, sendo uma a elaboração da proposta didático-metodológica contemplando um plano de aulas, o respectivo material didático de apoio, e o planejamento pedagógico para o professor; e a outra, a análise do processo de elaboração de tal proposta, refletindo sobre as dificuldades enfrentadas no percurso.

Como questão norteadora, que guia os caminhos e as metodologias envolvidas na pesquisa, temos:

“Como desenvolver uma proposta para a Escola Básica, a partir da abordagem de episódios da história da radioatividade, que possa favorecer o aprendizado de conceitos científicos e conteúdos metacientíficos?”

Tal questão sinaliza para a interface entre diferentes campos do saber, além de exigir a análise sobre o próprio processo de construção de uma proposta didático-metodológica. Consideramos esta análise relevante, pois contribui para reflexões sobre caminhos possíveis para os usos da HC na educação científica, especificamente voltados à elaboração de propostas didáticas que incluam orientações metodológicas que pretendem ir além da produção de textos. Ao longo desta análise, elencamos as dificuldades encontradas na elaboração da proposta, suas limitações e contribuições.⁴

Ao longo da pesquisa algumas hipóteses foram se estabelecendo após o estudo preliminar do tema, leituras e discussões, de modo que no percurso tentamos analisá-las. Eram essas suposições iniciais:

- a hipótese de que há narrativas históricas em geral utilizadas no âmbito do Ensino Médio (livros didáticos), tocantes ao período escolhido, que necessitam de revisão, como a abordagem sobre a *descoberta* da radioatividade, que pode ser aprimorada face à historiografia contemporânea;

- a hipótese de que o estudo dos episódios históricos evidencia conteúdos metacientíficos importantes, como a coletividade no fazer científico, o caráter não acumulativo da ciência, o papel do erro na formulação de conjecturas e/ou na interpretação de resultados e a (não)neutralidade⁵ da ciência;

- a hipótese de que é possível elaborar uma proposta didático-metodológica que possibilite o aprendizado de conceitos científicos e de conteúdos metacientíficos.

Desse modo, chegamos ao objetivo central desta pesquisa:

Analisar a elaboração de uma proposta didático-metodológica para o ensino de Química e Física na Escola Básica, que utiliza episódios da história da radioatividade, buscando favorecer a aprendizagem de conceitos científicos e conteúdos metacientíficos.

Os objetivos específicos da pesquisa refletem, de certo modo, algumas de suas etapas metodológicas intrínsecas. Pensamos que para a análise do processo de construção da proposta didática ser realizada, é importante

⁴ No capítulo 3 esclarecemos sobre o referencial teórico adotado como metodologia de apoio para a construção da proposta e como pretendemos levantar os dados para a análise.

⁵ Optamos por essa grafia para nos referirmos ao caráter neutro ou não neutro da ciência.

explicitar tais etapas como objetivos intermediários, favorecendo a reflexão sobre as dificuldades e caminhos viáveis em cada um deles. Maiores detalhes são discutidos no capítulo voltado às metodologias de pesquisa. Sinteticamente, como objetivos específicos, temos:

- *Identificar os conteúdos de Física e Química mobilizados pelos episódios históricos, e selecionar os que permitam discutir conceitos recomendados pelos documentos oficiais da Escola Básica;*
- *Identificar os conteúdos metacientíficos que os recortes históricos permitem abordar e que estejam adequados ao nível de escolaridade pretendidos pela pesquisa;*
- *Desenvolver estratégias didáticas para a Escola Básica, utilizando os recortes históricos estabelecidos, de modo a favorecer o aprendizado sobre conceitos científicos e conteúdos metacientíficos;*
- *Elaborar materiais didáticos para a proposta, bem como um planejamento pedagógico para o professor;*
- *Apresentar uma análise do processo de construção da proposta, indicando dificuldades e soluções encontradas buscando contribuir para o desenvolvimento de outras propostas.*

O quadro teórico que suporta tal proposta, uma breve revisão bibliográfica, bem como os caminhos metodológicos que a viabilizam, são discutidos nos capítulos 2 e 3.

2 A HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Nas últimas décadas vêm se tornando mais comuns argumentos no sentido da inclusão da HC no currículo de ciências naturais em todos os níveis da Educação Científica. Tanto especialistas, quanto documentos oficiais (BRASIL, 1999, 2002) têm enfatizado os diversos benefícios de sua utilização visando uma Educação Científica de qualidade, que promova o pensamento crítico e criativo, contribua para o desenvolvimento de habilidades e competências, além, é claro, do aprendizado de conteúdos científicos (CACHAPUZ *et al.*, 2008; CARMO, 2011; LEDERMAN, 2007; LEME, 2008; MARTINS, A., 2007; MCCOMAS *et al.*, 1998; PORTO, 2010).

Dentre os benefícios elencados para a utilização da HC no âmbito educacional, aponta-se o favorecimento do aprendizado sobre o que caracteriza a ciência como uma construção humana, sujeita ao seu contexto sociocultural de desenvolvimento, e ainda abre caminho para algum conhecimento metodológico, permitindo refletir sobre as relações e diferenças entre observação e hipóteses, leis e explicações e, principalmente, resultados experimentais e explicação teórica (PEREIRA & FORATO, 2012; VÁZQUEZ-ALONSO *et al.*, 2008).

Estudos de episódios históricos cuidadosamente reconstruídos, em perspectiva historiográfica atual (MARTINS, R., 2001; PORTO, 2010), permitem analisar conteúdos metacientíficos de cada contexto sócio-histórico-cultural, e podem ajudar a formar uma concepção mais adequada sobre o empreendimento científico, suas limitações e suas relações com outros domínios do conhecimento. Além de conferir significado às noções epistemológicas abstratas, desvendando os diferentes processos que levaram à construção de conceitos (FORATO *et al.*, 2011, 2012; MARTINS, R., 2006).

Gil-Perez e colaboradores (2001) enfatizam a importância dos usos da HC no ensino, principalmente para problematizar concepções deformadas sobre as ciências e o trabalho dos cientistas, amplamente presentes em diferentes níveis do ambiente escolar. De acordo com André Martins (2007), nossas recentes reformas educacionais evidenciam a necessidade da contextualização histórico-social do conhecimento científico, o que remete ao uso da HC na Educação Científica. Mais recentemente, Abd-El-Kalick (2012)

relata estudos ao redor do mundo indicando que estudantes de todos os níveis de ensino, bem como professores de ciências, ainda manifestam visões ingênuas sobre o empreendimento científico, a despeito de inúmeros esforços formativos relatados ao longo das últimas décadas.

Além de problematizar a visão que propõe uma ciência “pronta e acabada”, o estudo de episódios históricos pode contribuir para o aprendizado do aluno, levando-o a se identificar com a ciência, seus objeto e métodos de estudo (MATTHEWS, 1995).

Em consonância a isso, é necessário preparar o estudante para entender a articulação entre os conteúdos científicos, culturais e seus usos sociais (ANDRADE *et al.*, 2007; ZANETIC, 2002), buscando promover o desenvolvimento de competências e visando a transformação da aprendizagem em um processo autônomo, contínuo e estimulante. Pensando-se na Educação Básica, busca-se a formação dos estudantes para raciocinar, compreendendo as causas e razões dos fenômenos, bem como de situações cotidianas, visando instrumentalizá-los para a vida (KAWAMURA & HOUSOME, 2003; PORTO, 2010).

Mais além, Matthews (1995) afirma que a HC proporciona uma melhor compreensão dos conceitos científicos, problematizando-se o cientificismo e o dogmatismo que são comumente encontrados nos textos científicos, tornando a ciência mais atraente para os estudantes. Também permite compreender as interações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não está isolada, mas sim, que faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo influências e influenciando por sua vez muitos aspectos da sociedade (ANDRADE *et al.*, 2007; ZANETIC, 2002).

Na mesma perspectiva, Roberto Martins (2006) defende que a ciência não deve ser ensinada como um dogma inquestionável, e enfatiza a importância de um ensino crítico, promotor da reflexão, que permita ao aluno conhecer os conteúdos científicos, os processos pelos quais a ciência se adapta, se reconfigura e se transforma; seus limites e suas interações com outras áreas do conhecimento. Em outras palavras, um ensino que mostre que a ciência é, e precisa ser, dinâmica. Essa visão da historicidade da ciência, como componente da cultura, vem sendo apontada pelos autores já apresentados, de forma mais ou menos explícita, o que mostra uma

consistência entre as visões que permeiam e justificam os diferentes benefícios propiciados pelas abordagens históricas na Educação Científica.

Desse modo, defende-se que a HC, como estratégia pedagógica, é adequada para discutir conteúdos metacientíficos, além dos próprios conceitos, modelos e teorias das ciências da natureza. A revisão de episódios da História da Ciência permite uma compreensão mais ampla dos papéis da ciência e da Educação Científica na sociedade contemporânea, levando a uma reflexão crítica dos paradigmas que constituem o Ensino (concepção de educação e de currículo) (GIL-PEREZ *et al.*, 2001; KAWAMURA & HOUSOME, 2003; MARTINS, R., 1999; SANTOS, 1999).

Em contrapartida, a despeito de várias décadas de estudo que apontam benefícios da HC na formação de estudantes, pesquisas vem apontando diversos desafios e riscos para os usos da HC no ensino (FORATO *et al.*, 2011, 2012; HÖTTECKE & SILVA, 2010; MARTINS, A., 2007).

As narrativas históricas são também um constructo sócio-histórico, permeadas por crenças, valores e intenções do historiador, que trabalha sujeito a um contexto social, político, econômico, cultural. Nesse sentido, que visão de construção da ciência guia sua análise de documentos históricos (FORATO *et al.*, 2011, 2012)? Mais do que isso, que visão de ciência é fomentada pelas narrativas históricas presentes no ambiente escolar?

Além de desafios relativos à qualidade das narrativas históricas, professores vêm apontando, como uma dificuldade específica, a falta de orientações e uma metodologia adequada para o uso da HC na sala de aula (MARTINS, A., 2007). Medeiros e Bezerra Filho (2000) já afirmavam que não basta inserir conteúdos de história e de filosofia da formação inicial do professor, se não houver material adequado com orientações específicas e propostas para o ambiente escolar. Ainda que se reconheça um esforço realizado por diversas publicações recentes, por exemplo Silva (2006) e Moura (2008), e por muitos periódicos científicos com seções voltadas especificamente a conteúdos históricos para a sala de aula⁶, André Martins

⁶ Periódicos científicos como “Caderno Brasileiro de Ensino de Física” e “Química Nova na Escola”, “Boletim de História e Filosofia da Biologia”, “Revista Brasileira de História da Ciência” etc.

(2007) defende que é necessário o desenvolvimento de pesquisas que analisem a proposição de metodologias específicas para a sala de aula.

Assim, esta pesquisa voltou-se para a elaboração, bem como análise da construção, de uma proposta didático-metodológica para o uso da HC na sala de aula. Busca-se, com isso, a produção de material com suporte metodológico para a Escola Básica, bem como a análise desse processo, visando fornecer subsídios para o desenvolvimento de outras propostas temáticas, dentre outros desdobramentos.

Em meio a gama de assuntos disponíveis na HC, escolhemos três episódios da História da Radioatividade: a construção do conceito de radioatividade entre 1895-1903; o episódio do lançamento da bomba nuclear sobre a cidade de Hiroshima, Japão, em 1945; e o acidente com o cézio-137 em Goiânia, na década de 1980.

A leitura de fontes secundárias sobre história da radioatividade nos levou a selecionar, primeiramente, o episódio envolvendo Marie Curie (1867-1934), por ser bastante conhecido e um tema enfatizado nos livros e ambiente escolar. A reflexão sobre a historiografia contemporânea da ciência motivou o interesse por abordá-lo de modo a explicitar que o processo de estudo sobre fenômenos ou elaboração de teorias e modelos é paulatino, complexo, e coletivo. Essa abordagem ajudaria também a problematizar a visão simplista de que Becquerel teria descoberto a radioatividade sozinho e ao “acaso” (Martins, R., 2012).

A partir de leituras mais profundas, surgiu também o interesse de levantar questões como a (não)neutralidade da ciência e de sua interface com a cultura, o que remeteu à ideia de trabalhar com o episódio do bombardeio nuclear à cidade de Hiroshima no final da Segunda Guerra Mundial. Este episódio pode suscitar um debate sobre a utilização do conhecimento científico e, devido ao forte impacto na sociedade, inspirou manifestações artísticas que podem ajudar a compreender a ciência como integrante da cultura⁷.

A partir desses três episódios pensados inicialmente, elencamos conteúdos que poderiam ser trabalhados e ampliamos, com apoio dos

⁷ O episódio é abordado na primeira aula da proposta (seção 4.2) e foi apresentado no XVII ENEQ (GOMES, T. G.; FORATO, T. C. de M. A Rosa de Hiroshima: História e Literatura no ensino de ciências In: XVII Encontro Nacional de Ensino de Química, 2014, Ouro Preto, *Anais...*).

Parâmetros de Forato (2009)⁸, os assuntos abordados, contextualizando também aplicações da radioatividade na medicina e na geração de energia. De modo que foi natural decidirmos incluir, posteriormente, o estudo do acidente com o césio-137, em Goiânia.

2.1 A HISTÓRIA DA RADIOATIVIDADE NA ESCOLA BÁSICA

A inclusão de temas de Química Teórica e Física Moderna no Ensino Médio é defendida por diversos pesquisadores da área de Ensino de Ciências (BROCKINGTON & PIETROCOLA, 2005; MORAIS & GUERRA, 2013; SILVA & CUNHA, 2009; VALENTE *et al.*, 2007). Nesse sentido, o tema da história da radioatividade permite inserir discussões sobre a natureza da matéria, proposição de modelos atômicos, observação *versus* explicação teórica, a coletividade e o erro no fazer científico, além de propiciar a introdução de temas de Física e Química do século XX.

Em sua dissertação de mestrado, Siqueira (2006) elaborou uma proposta didática de modo a abordar a Física de Partículas Elementares na sala de aula, compreendendo uma perspectiva histórica da radioatividade. O autor argumenta no sentido da reformulação do currículo do Ensino Médio, propondo a inclusão da Física Moderna pautada pela HC. Ele defende que desse modo a ciência poderia contribuir efetivamente para a formação dos alunos enquanto cidadãos, atualizando o Ensino de Física e ressaltando fatores que tornam a ciência atraente às novas gerações (como conteúdos de Física Moderna).

Assim, o autor relata que sua proposta de inclusão da Física Moderna e Contemporânea nasce da incongruência do cenário atual, em que muito se discute a respeito, mas pouco se propõe. Para ele, embora já seja estimulada há muito tempo, a inclusão desses conteúdos é pouco aplicada, entre outras razões, por falta de material didático adequado. Desse modo, em sua pesquisa, ele elaborou os próprios materiais, visando à coerência entre seus objetivos e sua metodologia.

⁸ Descritos no capítulo 3.

Por outro lado, em outra pesquisa, Barp (2013) escolheu abordar a história da radioatividade no Ensino Médio para problematizar aspectos metacientíficos, entre os quais a ciência como verdade absoluta, a concepção de pioneiros na ciência e a redução da elaboração de conceitos e modelos à descoberta científica. Embora a autora se apóie em um dos referenciais utilizados em nosso trabalho, Roberto Martins (1990), e selecione os mesmo conteúdos metacientíficos para salientar, ela adota um enfoque diverso, deixando de trabalhar os conceitos científicos, como nós propomos, e enxergando diferentes tópicos a enfatizar. Essa pluralidade de abordagens corrobora o nosso entendimento de que o tema é particularmente fértil.

Outra proposta similar foi construída por Oliveira e colaboradores (2014), visando uma perspectiva envolvendo Ciência Tecnologia e Sociedade (CTS) interdisciplinar, com a participação de profissionais com diferentes formações, como químicos, físicos e bioquímicos. Embora seu objetivo não fosse especificamente trabalhar HC, eles a envolveram ao analisar os acidentes radioativos de Chernobyl e Goiânia bem como os bombardeios nucleares da Segunda Guerra Mundial; conseqüentemente essa pesquisa foi conduzida de forma bastante diferente da nossa, com objetivos e estratégias distintos — por exemplo, deixando ao aluno a tarefa de buscar novos textos a serem estudados e investindo-se menos em HC⁹. Ainda assim, ela confirma nossa hipótese inicial de que o tema pode trazer contribuições, ser revisto (confrontando interpretações e buscando novas evidências) e trabalhado no Ensino Básico.

Com base nessa revisão sobre o tema da história da radioatividade no Ensino Médio, escolhemos a abordagem transdisciplinar da construção de conceitos e modelos de Física e Química, compreendidos em seu contexto sócio-histórico, e que favoreçam a reflexão sobre aspectos epistemológicos das ciências. Em especial, tínhamos como hipótese que este período permite exemplificar a diferença entre a descoberta de fenômenos naturais e explicações científicas, e, a coletividade do trabalho de investigação científica e de construção de conceitos, pelos motivos descritos a seguir.

⁹ Ressaltamos que consideramos mais adequado um trabalho historiográfico baseado em referências e pesquisas atuais.

Partindo-se dos trabalhos de Marie Curie com o minério de urânio, pode-se refletir, por exemplo, sobre a diferença entre a descoberta de um fenômeno natural e a construção de explicações sobre ele. Quando estudamos sobre este episódio, podemos perceber que muitos experimentos foram realizados e hipóteses conjecturadas, antes que qualquer explicação pudesse ser considerada plausível pela comunidade científica (BECQUEREL, 1896; CORDEIRO & PEDUZZI, 2010; MARTINS, R., 2003). Tais exemplos problematizam a visão ingênua sobre descobertas ocasionais ou individuais. Além disso, o estudo das investigações de Mme. Curie sobre elementos radioativos permite problematizar a história comum que atribui a Henri Poincaré (1828-1892) e Antoine-Henri Becquerel (1852-1908) a descoberta da radioatividade. Roberto Martins (2003), apresenta argumentos para defender que Pierre (1859-1906) e, principalmente, Marie Curie teriam primeiramente identificado o fenômeno, não como uma propriedade do minério de urânio, mas do átomo em si, já que o mesmo fenômeno era observado em outros átomos. Ademais, parece terem sido eles a utilizarem pela primeira vez o termo radioatividade (MARTINS, R., 2004; POINCARÉ, 1896).

Desse modo, os conteúdos ligados à radioatividade nos parecem especialmente frutíferos em uma abordagem histórica para o Ensino Médio, possibilitando o trabalho na interface dos conhecimentos químicos e físicos. Assim, passamos a refletir sobre abordagens envolvendo mais de uma área do saber.

2.2 QUESTÕES DE DISCIPLINARIDADE

As discussões sobre disciplinaridade têm ocorrido em diferentes âmbitos: na pesquisa, na organização curricular, no congresso nacional e em abordagens didáticas na sala de aula. Alguns autores interligam essas diferentes instâncias em suas análises, e defendem a manutenção de disciplinas no currículo escolar. Apresentamos, a seguir, breve síntese de um debate entre as ideias que fundamentam o enfoque adotado por esta pesquisa.

Empreendemos um levantamento bibliográfico em busca de pesquisadores que trabalham questões de disciplinaridade, se posicionado

sobre essas abordagens. Pensávamos em conhecer as ideias mais preponderantes sobre os conceitos de multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade, entretanto, nos deparamos com um contexto em que pouco se define e prevalece o dissenso. Tentamos, então simplificar as contradições e propor uma comparação entre os três conceitos.

Em sua tese de doutorado, Mozena (2014) relata ter se deparado com um desafio semelhante. A pesquisadora investigou as mudanças curriculares nacionais e regionais (no Rio Grande do Sul) e analisou cerca de dez pesquisas que se dedicavam a situar epistemologicamente a interdisciplinaridade dentro do contexto escolar.

A pesquisadora resume essa dificuldade que tivemos em comum, sobre como cada pesquisador entende o conceito e conclui:

“Em seus textos, [Ivani] Fazenda, principal pesquisadora da área no Brasil, promove amplo debate sobre a conceituação de interdisciplinaridade, mas não tece uma definição única do termo, no que é seguida por outros autores, justificando que este não possui um sentido único e estável.” (MOZENA, 2014, p. 15).

Procedemos, então, a um levantamento de como alguns pesquisadores buscam definir ou situar os conceitos multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade.

A multidisciplinaridade ocupa um espaço periférico nas discussões sobre disciplinaridade, sendo criticada por levar a um menor compartilhamento de conhecimento, ou seja, promover menos interação entre diferentes áreas do conhecimento (CARDONA, 2010). Nessa perspectiva, a multidisciplinaridade leva um elemento ou conteúdo a ser estudado por disciplinas diferentes ao mesmo tempo, contudo, não ocorre diálogo entre seus saberes no estudo do objeto analisado (CARDONA, 2010). Pires (1998) argumenta que nessa vertente as disciplinas do currículo escolar estudam ao mesmo tempo, mas não juntas, de modo que cada professor coopera com o estudo dentro da sua própria ótica, conferindo diversos ângulos, mas sem existir um rompimento entre as fronteiras das disciplinas.

Por outro lado, a interdisciplinaridade é defendida como uma possibilidade de se quebrar a rigidez dos compartimentos em que se encontram isoladas as disciplinas dos currículos escolares, sem romper com a

organização curricular (PIRES, 1998). Cardona (2010) complementa ao argumentar que por meio da interdisciplinaridade o conhecimento deixa de ser setorizado e se torna um conhecimento integrado que promove um intercâmbio entre as disciplinas.

Berti (2007) defende que essa integração tem o foco dirigido a um problema comum. Para ele, a interdisciplinaridade pressupõe um aumento das relações entre as disciplinas, mas a conservação da divisão disciplinar, em oposição à transdisciplinaridade, como entendida por ele.

A proposta transdisciplinar é criticada por autores que apontam que ela pode comprometer a organização curricular e comprometer a construção do indivíduo pela educação (PIRES, 1998), e defendida por outros que argumentam que a abordagem pode diminuir as fronteiras entre as disciplinas e confere à educação um realismo inatingível pela interdisciplinaridade (CARDONA, 2010; NICOLESCU, 2000).

Nicolescu (2000) também ressalta que a transdisciplinaridade tem natureza e objetivos distintos da interdisciplinaridade, e que elas se complementam.

Esses discursos ampliam as críticas à fragmentação do conhecimento e defendem um ensino mais integrado. Abreu e Lopes (2010) defendem que a continuidade da organização do currículo em disciplinas não impede mudanças curriculares ou as interconexões entre disciplinas e seus professores. Segundo elas, há que se interligar as áreas do conhecimento sem abrir mão dos conteúdos caracteristicamente químicos (ou físicos), buscando possíveis caminhos comuns. Na mesma linha, Pitombo e Lisbôa (2001) trabalham a interdisciplinaridade como uma rede de significações, na qual a química (ou a física) é um dos nós, sempre interligada a outros campos do conhecimento.

Comparando os conceitos de interdisciplinaridade e transdisciplinaridade com a organização do saber, Ubiratan D'Ambrósio (2007) relaciona a questão disciplinar com a evolução do conhecimento. Para ele o conhecimento disciplinar teve como primeiro estágio de evolução a multidisciplinaridade, como é praticada nas escolas tradicionais. A seguir, o autor coloca a interdisciplinaridade, como uma etapa de instalação, ou intermediária. Mas o verdadeiro avanço, escreve ele, é a transdisciplinaridade, que "*abre novas possibilidades para o conhecimento*" (D'AMBRÓSIO, 2007, p. 16). Seu

argumento é que a transdisciplinaridade, ao assumir a inconclusividade do ser humano, desconstrói a ilusão de certezas convencionadas ou de um saber concluído e abre caminho para um estado de constante busca.

O posicionamento de D'Ambrosio se articula muito bem com a concepção de educação freireana que procuramos adotar, buscando uma proposta didático-metodológica que propicie o protagonismo do aluno, estimulando-o a arriscar-se, posicionar-se. Intentamos, nas atividades elaboradas, reforçar a capacidade crítica e a curiosidade natural dos alunos que venham a utilizar a proposta, compreendendo curiosidade como crítica, científica, em oposição à curiosidade ingênua, do senso comum (FREIRE, 1996).

Dada a variedade de posicionamentos encontrados entre os pesquisadores, concluímos que para nossa pesquisa tanto a interdisciplinaridade quanto a transdisciplinaridade poderiam ser adequadas aos objetivos pretendidos para a Escola Básica. Escolhemos, entretanto, utilizar o termo transdisciplinaridade, na perspectiva de D'Ambrosio (2007), por enxergarmos nela maior abrangência e liberdade para as ações e abordagens realizadas pelos professores, não no sentido de prescindir da organização curricular vigente, mas sim de explorar suas potencialidades.

Entendemos que essa perspectiva delimita como transdisciplinar a confluência de esforços de naturezas epistemológicas distintas na análise de um problema. Objetivamos, no trabalho transdisciplinar, lançar ao problema de estudo um olhar plural, com origem em mais de uma área do conhecimento, buscando do sujeito envolvido o máximo de dedicação, transcendendo sua área formativa. Propomos como transdisciplinar uma metodologia para abordagem do conteúdo em que se supere a noção das barreiras entre as disciplinas, na abordagem dos saberes.

Ademais, ao analisarmos a perspectiva historiográfica que utilizamos, em que se entende o desenvolvimento histórico da ciência imbricado a outros saberes humanos, estabelecidos por um contexto social, econômico, político, de determinados grupos culturais, consideramos consistente com nossos propósitos de enfatizar e explorar o aspecto transdisciplinar dos saberes. Nesse sentido, quando olhamos para estudos envolvendo a natureza dos constituintes da matéria no período histórico selecionado, eles enfocam

conteúdos que são tidos, atualmente, como da química ou da física. Portanto, a inseparabilidade ou a transdisciplinaridade manifesta-se no modo de se abordar o tema.

Concordamos com Pires (1998) que o estudo especializado nas ciências básicas requereu historicamente o estabelecimento disciplinar em inúmeros aspectos, e não pretendemos defender o fim de abordagens disciplinares no ensino, pois reconhecemos sua enorme contribuição. Contudo, a compreensão do mundo presente, conforme propõe Nicolescu (2000), com problemas e soluções, também interpretados transdisciplinarmente, nos parece bastante produtiva para a educação científica, demonstrando ser mais consistente com os objetivos formativos atuais do Ensino de Ciências (PACCA & VILLANI, 2000).

No mesmo caminho, Zanetic (2002) sugere que haja uma interface entre a física e a literatura, além de inúmeras outras manifestações das artes, por exemplo, em que o professor de física, ao utilizar em suas aulas os clássicos da literatura mundial que se relacionem com a ciência (como a *A Máquina do Tempo* do escritor britânico H. G. Wells), interaja com — e não substitua — o professor de literatura.

Essa interação, contudo, é bastante profunda, por exemplo, na análise do poema *A Rosa de Hiroshima* em uma aula de química, que nos parece requerer lançar mão de conhecimentos específicos da literatura, da história, da química, da física e da biologia¹⁰. Mais do que isso, não é possível determinar em que ponto acaba a interpretação literária e onde começa a interpretação histórica; dá-se com naturalidade a passagem da análise dos impactos sociais para a das causas científicas do fenômeno.

Ainda sobre a interface entre Arte e Ensino de Ciências, Zanetic (2002) afirma-se convencido de que o Ensino de Física deve utilizar a História da Física, a Filosofia da Ciência e a sua ligação com outras áreas da cultura, como literatura, letras de músicas, cinema e teatro. Ele também recomenda a utilização de múltiplas perspectivas ao se interpretar uma obra artística, ideia que muito nos agrada, pois possibilita o debate entre os alunos e a eclosão de interpretações paralelas. Enxergamos também uma direta relação com a

¹⁰ Tal abordagem foi o recurso escolhido para nossa primeira aula, apresentada no capítulo 6.

historiografia das ciências atual (MARTINS, R., 2001; PORTO, 2010), que recomenda o olhar diacrônico e contextualizado.

Para Zanetic (2006), a História da Física deve contemplar a evolução conceitual e metodológica da física e a sua relação com outras áreas, enfim, uma Física inserida no processo histórico, que também inclua discussões sobre a história da humanidade na História da Ciência.

Concordamos com o autor quando ele afirma que embora física/química e literatura geralmente sejam preteridas pelos alunos, sua aproximação é benéfica — e até desejável — na contemporaneidade (ZANETIC, 2006). Como defesa da utilização da literatura em aulas de ciência, apesar da resistência dos alunos, está justamente a dificuldade de leitura dos nossos jovens e a compreensão do autor de que "*para estabelecer um diálogo inteligente com o mundo é preciso que o leitor domine de forma competente a leitura e a escrita*" (ZANETIC, 2002, p. 5).

Analogamente, compreendemos que a inter-relação entre ciência e literatura evidencia a inserção social do fazer científico. Compartilhamos a opinião de Zanetic (2002) de que essa associação se destaca nos cientistas com veia poética e nos poetas com veia científica. Por exemplo, Porto (2000) faz uma análise do poema *Psicologia de um Vencido*, em que o poeta paraibano Augusto dos Anjos (1884-1914) se utiliza de termos e ideias científicas para se expressar. É necessário ressaltar que o objetivo do poeta não era o de fazer (ou mesmo divulgar) ciência, mas que como Edgar Allan Poe (1809-1849), em seu ensaio *Eureka*, ele apenas escreve sobre ciência, um dos temas que se digladiam em sua mente. Em um trabalho similar, Moreira (2002) destaca alguns poemas com especial potencial pedagógico nas aulas de ciência, como *A Onda*, Manuel Bandeira (1886-1968), *Tecendo a Manhã*, João Cabral de Melo Neto (1920-1999) e *Máquina Breve*, Cecília Meireles (1901-1964).

Na mesma linha, Zanetic (2006) menciona romancistas e contistas que têm em suas obras influências científicas, como James Joyce (1882-1941), Thomas Mann (1875-1955), William Faulkner (1897-1962), Charles Percy Snow (1905-1980) e Friedrich Dürrenmatt (1921-1990) — que teriam influências dos trabalhos de Einstein — ou que dialogariam com a ciência, como Fiódor Dostoiévski (1821-1881) e Monteiro Lobato (1882-1948). Analogamente, eu

amplio a lista com autores do meu círculo de leitura que levam em suas obras conhecimentos científicos que poderiam ser explorados em sala de aula: Douglas Adams (1952 - 2001), Greg Bear (1951 -), Isaac Asimov (1920 - 1992), Lissa Price (19?? -), Philip K. Dick (1928 - 1982), Robin Cook (1940 -), Scott Westerfeld (1963 -) e Timothy Zahn (1951 -). Esses autores se valem de conhecimentos da química, da física e da biologia para criar fantasia, de modo a abordar temas complexos com leveza, intrigando e envolvendo os leitores de uma maneira que não pode ser desprezada, deixada de fora da sala de aula.

Por outro lado, mais uma representação artística que se relaciona com a ciência e em grande potencial pedagógico é o teatro. Medina e Braga (2010), por exemplo, argumentam sobre o potencial do teatro na formação da opinião pública sobre a ciência, em ambiente extraescolar mesmo. Segundo eles

“O teatro, sendo um instrumento de comunicação por excelência, pode ter um papel muito importante na formação da opinião pública e a ciência abrange um variado rol de assuntos passíveis de serem representados de uma maneira interessante, divertida e agradável.” (MEDINA & BRAGA, 2010, p.317)

Os mesmo autores defendem uma característica menos mencionada da arte dramática, que é muito relevante no Ensino, segundo eles, o teatro “*ensina-nos a viver e a trabalhar em conjunto [...], a respeitar os outros, a respeitar os seus compromissos, a cumprir regras e a ter disciplina*” (MEDINA & BRAGA, 2010, p.318).

Assim, aplicando tais ideias e debates ao nosso contexto, a proposta didático-metodológica que apresentaremos busca uma abordagem transdisciplinar na perspectiva de D’Ambrosio (2007), com intuito de refletir sobre a possibilidade de nossa proposta ser aplicada tanto por professores de química quanto de física. Consideramos necessária a manutenção da organização curricular da Escola Básica em disciplinas, e, nesta perspectiva, propomos que abordagens transdisciplinares podem trazer benefícios pedagógicos e formativos, no sentido de incentivar a inter-relação entre as diferentes áreas do conhecimento, refletindo a complexidade da ciência enquanto atividade humana completa, mas respeitando as especificidades das diferentes áreas.

No próximo capítulo, apresentaremos as metodologias que utilizamos para alcançar os pressupostos teóricos desenvolvidos neste capítulo.

3 METODOLOGIAS ENVOLVIDAS NA PESQUISA

Os caminhos percorridos por uma pesquisa raramente são lineares, racionais e lógicos, como geralmente relatados. São as inúmeras idas e vindas, dúvidas e descobertas, frustrações e pequenas conquistas que vão, aos poucos, definindo escolhas, recortes e enfoques. É necessário, contudo, buscar sistematizar esse complexo processo, esclarecendo o percurso metodológico da pesquisa, para permitir sua interlocução. Desse modo, embora o trajeto nos estudos não tenha sido tão linear, previsto e certo, buscamos organizar as informações de modo a permitir uma discussão crítica sobre ele.

A pesquisa ocorreu em três linhas de ação, sendo uma delas voltada para a prospecção e estudo de conteúdos da HC adequados ao Ensino Médio, uma outra para a construção de uma proposta didática para a sala de aula, e finalmente, a análise dos caminhos e dificuldades enfrentadas no próprio processo de elaboração de tal proposta didática. Esta distinção entre linhas de ação é feita apenas para favorecer o esclarecimento metodológico de cada uma delas, pois, na prática, elas são intrinsecamente relacionadas e ocorreram concomitantemente.

O apoio teórico-metodológico adotado como ponto de partida (FORATO, 2009) acompanhou as etapas da pesquisa, desde o estabelecimento dos objetivos iniciais, a prospecção e seleção das fontes históricas e a construção da proposta didática, inclusive com vistas à coerência e consistência da proposta como um todo. A análise apresentada para a elaboração de tal proposta explicita esse apoio, bem como evidencia alguns dos desafios enfrentados neste percurso. Ao longo da pesquisa foram localizadas, estudadas e utilizadas outras referências que contribuíram para o processo de construção de materiais didáticos (como as já mencionadas no capítulo 2) e o delineamento das atividades didáticas.

Embora indissociáveis na concepção e realização da pesquisa apresentamos em três blocos os fundamentos teóricos destas linhas de ação.

3.1 ESTUDO DO EPISÓDIO HISTÓRICO

Como ponto de partida, estudamos aspectos da história da radioatividade entre finais do século XIX e início do século XX, utilizando fontes secundárias e alguns extratos de fontes primárias (BECQUEREL, 1986; CURIE, 1898; POINCARÉ, 1896).¹¹ Além dos aspectos para promover a transdisciplinaridade entre conteúdos de Física e de Química, buscamos identificar alguns elementos históricos que propiciassem a discussão sobre conteúdos metacientíficos (Martins, R. 2006). Esse estudo nos levou a confrontar nossas hipóteses iniciais sobre os conteúdos¹², além de permitir o surgimento de outros aspectos interessantes sobre a relação entre o desenvolvimento da ciência e outras áreas da cultura das épocas estudadas.

Depois de um estudo inicial, avaliamos, com o apoio da metodologia para a construção da proposta (descrita a seguir), a pertinência de utilizarmos extratos de fontes primárias na proposta didático-metodológica. Decidimos utilizá-las apenas para a construção dos recortes históricos, sem disponibilizá-las diretamente aos alunos, reservando para eles apenas textos em linguagem próxima ao coloquial (com o cuidado de não abrir mão de nossa cultura, por meio da linguagem científica), visando com isso estimular a leitura.

Na investigação histórica sobre esses temas procuramos evitar as narrativas descontextualizadas, lineares, permeadas por precursores, buscando, em oposição, trazer à tona a contribuição de aspectos não científicos para a construção das ciências (MARTINS, R., 2001). Tais abordagens pretendem explicitar aspectos epistemológicos, mediante uma reflexão crítica que se contrapõe ao empirismo ingênuo, ainda comum em ambiente escolar (ALLCHIN, 2004; PAGLIARINI, 2007). Temos como uma intenção inicial que a proposta didática possa fundamentar uma crítica à concepção de ciência neutra e empírico-indutivista, em contraposição a uma visão de ciência enquanto construção sócio-histórica coletiva (GIL-PEREZ *et al.*, 2001).

¹¹ Dentre os requisitos que estamos denominando historiografia contemporânea, destaca-se a análise de fontes primárias e secundárias mediante os critérios diacrônicos, que analisa episódios da construção das ciências no contexto histórico em que ocorreram, em oposição à interpretação *Whig*, anacrônica ou linear do desenvolvimento das ciências. Veja uma descrição mais detalhada em Lilian Martins (2005).

¹² Apresentadas no capítulo 1 desta dissertação.

3.2 CONSTRUÇÃO DA PROPOSTA PARA A SALA DE AULA

Na construção da proposta didático-metodológica utilizamos, como referencial teórico inicial, os parâmetros propostos em Forato (2009), que buscam oferecer subsídios para a adequação de conteúdos da HC para a Escola Básica.¹³ Eles consideram requisitos da didática das ciências e da historiografia contemporânea, pensados e confrontados mediante o contexto atual de pesquisas sobre os usos da HC na educação científica.¹⁴ Esses requisitos sinalizam para uma abordagem histórica que favorece a compreensão da historicidade da ciência, apontando a relação de seus conteúdos conceituais com elementos de seu entorno social e conhecimentos de outros campos do saber, característicos de cada cultura. Esse enfoque para a construção de propostas didáticas vai ao encontro dos pressupostos desta pesquisa, como temos defendido nos capítulos 1 e 2 desta dissertação.

Os parâmetros adotam como ponto de partida a explicitação dos objetivos pedagógicos e dos aspectos epistemológicos que se pretende abordar em ações educacionais que utilizam a HC, por exemplo, em uma proposta didática para a sala de aula. A partir daí, apresentam uma série de reflexões para auxiliar a seleção, omissão, ênfase e simplificação dos conteúdos históricos e epistemológicos, buscando contribuir para a consistência interna da proposta. Tais reflexões não se configuram como regras ou receitas prescritivas, mas sim como ideias orientadoras, que constituem vinte ponderações entre uma concepção sobre a ciência possivelmente fomentada e os objetivos pedagógicos e epistemológicos inicialmente estabelecidos. Sugerem, ainda, alguns aspectos a serem considerados na criação das atividades didáticas, como mobilizar um mesmo objetivo epistemológico em diferentes conteúdos históricos e distintas estratégias pedagógicas.

Ao longo do desenvolvimento da proposta, como uma complementação metodológica para a proposta didática, outros referenciais foram prospectados,

¹³Veja em Forato (2009, vol. 1, p. 188-196) ou Forato e colaboradores (2012).

¹⁴Tais parâmetros têm se mostrado frutíferos para a construção e avaliação de propostas que abordam a HC na sala de aula, por exemplo, Cardoso e colaboradores (2012); Pereira e Forato (2012); Gomes, J. (2013); Martorano e Forato, (2014), além de outras pesquisas em andamento.

por exemplo, para fundamentar a interface entre ciência e literatura (MEDINA & BRAGA, 2010; ZANETIC, 2002, 2006); ciência e artes visuais (ANDRADE *et al.*, 2007; REIS *et al.*, 2006); para embasar o trabalho transdisciplinar (D'AMBRÓSIO, 2007; MOZENA, 2014; NICOLESCU, 2000).

3.2.1 Síntese dos parâmetros adaptados a esta pesquisa

Apresentamos a relação dos parâmetros, organizando-os em duas categorias, uma voltada para aspectos e refinamentos da abordagem histórica propriamente dita, e outra contendo reflexões para a construção de estratégias didáticas.¹⁵ Tais categorias decorrem dos objetivos pedagógicos estabelecidos como ponto de partida. Sua utilização não se dá sequencialmente, como estão listados, mas há um constante ir e vir, ponderando e revendo cada detalhe, mediante cada nova decisão tomada.

Quadro 1: Parâmetros para construção de propostas didáticas adaptados a partir de Forato (2009)

<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecer os propósitos pedagógicos para os usos da HC no ensino; • Explicitar a concepção de ciência adotada e/ou os aspectos metacientíficos pretendidos. 	
Aporte historiográfico e epistemológico	Construção de estratégias
<ul style="list-style-type: none"> • Selecionar o tema e os conteúdos históricos apropriados aos objetivos; • Selecionar os aspectos a enfatizar e a omitir em cada conteúdo da História da Ciência; • Confrontar os aspectos omitidos com os conteúdos metacientíficos objetivados; • Definir o nível de detalhamento do contexto não científico a ser tratado; Mediar as simplificações e omissões, pois enfatizar a influência de aspectos não científicos pode promover interpretações relativistas extremas; • Ponderar sobre o uso de fontes primárias na Escola Básica: se, quando, quanto e como introduzi-las; 	<ul style="list-style-type: none"> • Definir o nível de profundidade e formulação discursiva dos conteúdos metacientíficos; • Avaliar quando é possível superar ou contornar a ausência de pré-requisitos nos conhecimentos matemáticos, físicos, históricos, epistemológicos; • Defender uma nova ideia conflitante com aquelas predominantes no repertório cultural dos estudantes requer o uso de estratégias capazes de criar desconforto, conflitos que permitam a reflexão sobre visões e crenças preestabelecidas sobre as ciências; • Compensar a falta de preparo do professor para lidar com saberes da HC na sala de aula inclui prepará-lo para identificar e problematizar narrativas históricas <i>whigs</i> e manifestações anacrônicas. Incluir

¹⁵ Esta forma de apresentação é adotada neste trabalho. Originalmente, os itens são listados sequencialmente, sem esta divisão. Pode-se organizá-los de acordo com as necessidades de cada pesquisa, em nosso caso, pareceu-nos adequada essa divisão entre requisitos para HC e sugestões para atividades.

<ul style="list-style-type: none"> • Abordar diacronicamente os conteúdos da história da ciência de difícil compreensão atualmente: interessante estabelecer relação entre resultados relevantes para a construção da ciência com conteúdos descartados ou atualmente considerados “esquisitos”; • Abordar diacronicamente diferentes concepções de ciência e o pensamento dos filósofos, filósofos naturais e cientistas de distintos períodos e civilizações: Apresentar vários pensadores contemporâneos trabalhando com os mesmos pressupostos metodológicos pode auxiliar a crítica ao preconceito e ao anacronismo; • Apresentar exemplos de teorias superadas em diferentes contextos culturais permite criticar ideias ingênuas sobre história e epistemologia da ciência, como a possível concepção de que a ciência atual pode resolver todos os problemas. 	<p>orientações sobre ideias “inesperadas” e possíveis modos para se lidar com elas;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permitir aos estudantes vivenciarem aspectos dos debates entre teorias rivais favorece a compreensão de aspectos epistemológicos e metacientíficos; • Escolher temas que despertem a curiosidade da faixa etária pretendida. A escolha não pode considerar apenas critérios historiográficos técnicos e objetivos, mas envolver os estudantes é fundamental; • Ponderar sobre a quantidade e profundidade dos textos para cada contexto educacional; • Ter em mente as diferentes funções sociais do conhecimento acadêmico e dos saberes escolares da Escola Básica, permite minimizar o dilema das simplificações e omissões; • Uma linha do tempo com eventos históricos significativos, acompanhados respectivamente por filmes comerciais, pode auxiliar no dilema <i>extensão x profundidade</i>¹⁶, desde que a abordagem histórica seja diacrônica; • Questionar cada mensagem objetivada sobre conteúdos metacientíficos em diferentes atividades didáticas e distintos episódios históricos.
--	---

Fonte: elaborado pelo autor

3.2.2 Construindo a proposta: explicitando as reflexões pelos parâmetros

Durante todos os passos da elaboração da proposta esteve presente a reflexão sobre os parâmetros, assim, consta abaixo a análise sobre sua aplicação. É relevante destacar que durante a pesquisa essa reflexão foi parcialmente refeita diversas vezes. A cada oportunidade que o pesquisador deita olhos sobre a versão anterior de seu relato, identifica, salutarmente, mudanças na forma como compreende seu trabalho; cada alteração na proposta didático-metodológica é fruto de uma nova reflexão e de novas leituras. Consequentemente, é dinâmico o entendimento dos parâmetros.

1. Estabelecer os propósitos pedagógicos para os usos da HC no ensino:

¹⁶ Veja em Forato e colaboradores (2011).

Buscamos o aprendizado de conteúdos científicos e metacientíficos e a compreensão das interfaces entre ciência e arte e ciência e contexto social:

- Aprendizagem de conceitos e fenômenos da Química e da Física, como: radioatividade, decaimento radioativo, emissão radioativa, aplicações da radioatividade, instrumentos e tecnologias;
- Compreensão de características do trabalho científico, como: a coletividade na ciência, a (não)neutralidade da ciência e as suas relações com as demandas sociais e tecnológicas;
- Entendimento da interação entre ciência e representações artísticas, buscando evidenciar a ciência como elemento cultural, que exerce influência na sociedade e é por ela influenciada.

2. Explicitar a concepção de ciência adotada e os aspectos metacientíficos pretendidos:

- Ciência enquanto cultura, construção sócio-histórica, contextualizada local e temporalmente, mutável, influenciada também por fatores extracientíficos;
- Criticar a concepção individualista da ciência, mostrando a interação e/ou a contribuição entre diferentes pesquisadores em diferentes países;
- Criticar a concepção de ciência isolada do contexto sócio-histórico, explicitando momentos em que ciência e sociedade interferiram uma na outra (no tocante à radioatividade);
- Discutir a diferença entre observação e explicação, por exemplo, nos primeiros contatos com a radioatividade e na construção desse conceito. Problematicar a relação entre observação e expectativa.

3. Selecionar o tema e os conteúdos históricos apropriados:

- O início da pesquisa em radioatividade, de 1895 a 1903; a variedade de pesquisadores envolvidos, como Röntgen, Becquerel, Poincaré, os Curie, Rutherford (BECQUEREL 1896; CURIE 1898); algumas das etapas da construção do conceito e posteriormente as aplicações do fenômeno, como a

geração de energia, os usos medicinais, bélicos e na produção de alimentos;

- Relação de tais aspectos com as características da construção da ciência, sua (não)neutralidade e relação com a sociedade.

4. *Selecionar os aspectos a enfatizar e a omitir em cada conteúdo da História da Ciência:*

Dentre os vários aspectos que poderiam contribuir para atingir os objetivos estabelecidos no parâmetro 1, acreditamos que os selecionados abaixo mobilizam os conteúdos necessários.

Enfatizar:

- Característica coletiva do desenvolvimento da pesquisa com radioatividade, que envolveu diversos cientistas de diferentes grupos de pesquisa e nacionalidades (como Röntgen, Becquerel, Poincaré, os Curie e Rutherford);
- Característica não acumulativa do conhecimento científico, demonstrada com a aceitação e posterior rejeição da Conjectura de Poincaré e pela metodologia de pesquisa escolhida por Marie Curie, diversa da que vinha embasando os resultados de Becquerel;
- Diversidade de interpretações de um mesmo evento (fenômeno natural), mostrando como Becquerel explicava a radioatividade como uma característica dos compostos de urânio enquanto os Curie a atribuíram a uma propriedade atômica;
- Interação entre ciência e sociedade, representada tanto pela necessidade político-militar que levou ao desenvolvimento da bomba atômica, quanto pelo desenvolvimento de protocolos de segurança mais elaborados nas instalações nucleares resultante do temor social por acidentes devastadores.

Omitir:

- Explicações mais profundas de hipóteses complexas superadas ou abandonadas no desenvolvimento do conceito de radioatividade, como uma abordagem mais ampla da Conjectura de Poincaré;

- Participações de alguns pesquisadores, como Niepce de St. Victor, que teria sido o primeiro a descrever o contato com a radioatividade (MARTINS, R., 2012);
- Aprofundamento em questões de gênero, que requereria problematizar a hagiografia que envolve muitas narrativas sobre Marie Curie, abrindo mais um enfoque para a pesquisa.

5. *Confrontar os aspectos omitidos com a concepção sobre a ciência objetiva:*

- Embora os conteúdos omitidos possam contribuir no debate sobre o conteúdo metacientífico, foram excluídos visando o tempo didático¹⁷ e por considerarmos que eles elevariam a profundidade das discussões além do pretendido para a Escola Básica.

6. *Definir o nível de detalhamento do contexto não científico a ser tratado; mediar as simplificações e omissões, pois enfatizar a influência de aspectos não científicos pode promover interpretações relativistas extremas:*

Delimitamos como não científico o contexto social, cultural e histórico contemporâneo ao recorte escolhido, e dele salientamos:

- Algumas das novas tecnologias e transformações do dia a dia, características da virada do século XIX para o XX, como a mecanização do ambiente urbano e a industrialização;
- Abordar sinteticamente o contexto em que foi utilizada a primeira bomba atômica e suas implicações geopolíticas;
- Panorama das utilizações das aplicações da radioatividade no século XX.

7. *Avaliar quando é possível superar ou contornar a ausência de pré-requisitos nos conhecimentos matemáticos, físicos, históricos, epistemológicos:*

¹⁷ Por tempo didático, nos referimos não apenas ao tempo disponível em sala de aula, mas também a o tempo que cada aluno precisa para se familiarizar com todos os conteúdos mobilizados pelo enfoque transdisciplinar, para superar obstáculos e alcançar um outro patamar epistemológico (FORATO *et al.*, 2011).

- Não abordamos conceitos que envolvam matematização sofisticada; quanto aos pré-requisitos físicos ou químicos, eles são fornecidos nos textos voltados para os alunos (caso dos instrumentos e técnicas utilizadas na pesquisa em radioatividade no final do século XIX), ou sugeridos como revisão antes das aulas (como o modelo atômico de Bohr);
- Os conteúdos históricos e epistemológicos são parte dos objetivos da proposta, que também inclui os pré-requisitos necessários ao seu aprendizado.

8. *Definir o nível de profundidade e formulação discursiva dos conteúdos epistemológicos:*

- Na elaboração dos textos e atividades, levamos em conta que a proposta tem como público alvo alunos da 3ª Série do Ensino Médio, assim, procuramos propor debates sobre questões adequadas a essa faixa etária, como os cuidados ao se utilizar tecnologia nuclear. Ademais, as atividades levam a debates cujo nível de aprofundamento epistemológico é delimitado pelos próprios alunos, e mediado pelo professor.

9. *Ponderar sobre o uso de fontes primárias na Escola Básica:*

- Reconhecemos a importância do trabalho com as fontes primárias da História da Ciência e em sua adaptação para o Ensino, entretanto, escolhemos evitar propor aos alunos de Ensino Médio esses textos por considerar que elas elevam a dificuldade das leituras, no caso deste recorte histórico.

10. *Abordar diacronicamente os conteúdos da HC de difícil compreensão atualmente: interessante estabelecer relação entre resultados relevantes para a construção da ciência com conteúdos descartados ou atualmente considerados “esquisitos”:*

Este parâmetro nos faz refletir sobre a pertinência, ou não, de inserir na proposta algumas conjecturas feitas na época — como a própria conjectura

de Poincaré e a hipótese dos compostos de urânio de Becquerel (MARTINS, R., 2012) —, que foram posteriormente descartadas. Por um lado, essas propostas mostrariam a complexidade da construção da ciência e “erros” cometidos pelos cientistas, reforçando o questionamento de *insights* geniais e a ideia da coletividade na ciência. Por outro, ampliariam sobremaneira o conteúdo; de modo que sua inserção teve de ser cautelosa, visando o equilíbrio entre a simplificação e problematização.

11. *Abordar diacronicamente diferentes concepções de ciência e o pensamento dos filósofos, filósofos naturais e cientistas de distintos períodos e civilizações: Apresentar vários pensadores contemporâneos trabalhando com os mesmos pressupostos metodológicos pode auxiliar a crítica ao preconceito e a anacronismos:*

- As diferentes conjecturas feitas pelos pensadores para explicar o novo fenômeno (radioatividade) pode mostrar para os estudantes como cada período utiliza seus próprios recursos e referentes teóricos para construir explicações sobre o mundo natural, o que é bem diferente da ideia de uma ciência pronta, acabada, cujas leis esperam para serem descobertas, a partir de um método único e universal. Objetivamos ressaltar a pertinência das conjecturas dos diferentes pesquisadores envolvidos no episódio da construção do conceito de radioatividade, no ideário da época. Entendemos que isso contribui para problematizar a concepção de que ciência é feita individualmente e apenas por grandes gênios.

12. *Apresentar exemplos de teorias superadas em diferentes contextos culturais permite criticar ideias ingênuas sobre história e epistemologia da ciência, como a possível concepção de que a ciência atual pode resolver todos os problemas:*

- Acreditamos ter explicitado a superação/aprimoramento de teorias e modelos na descrição do processo de elaboração da explicação para o novo fenômeno, por exemplo, na construção do conceito de radioatividade, em que hipóteses foram sucessivamente levantadas, descartadas (caso da

Conjectura de Poincaré) aprimoradas e posteriormente substituídas (como a teoria de indução radioativa de Curie, que ajudou a compor a hipótese de Rutherford sobre a natureza da radioatividade);

- A problematização da visão que propõe a ciência como um *continuum* de evolução que leva a melhoria da vida humana também está presente na discussão sobre a bomba atômica: seria a aplicação bélica um uso adequado da ciência? Teria seu uso medicinal e na produção de energia levado a uma melhoria na vida da humanidade?

13. *Defender uma nova ideia conflitante com aquelas predominantes no repertório cultural dos estudantes requer o uso de estratégias capazes de criar desconforto e conflitos que permitam o questionamento de ideias preestabelecidas:*

- Uma ideia que pode gerar tal conflito é a Conjectura de Poincaré, que propunha que o emissor de radioatividade era o vidro do tubo de Crookes ao ser estimulado com os raios catódicos. Para trabalhar o conceito, pretendemos usar o debate entre os alunos, buscando promover o confronto de ideias de modo que eles possam detectar o problema e chegar à própria conclusão. Essa atividade é baseada no texto histórico preparado para os estudantes.

14. *Compensar a falta de preparo do professor para lidar com saberes históricos na sala de aula inclui prepará-lo para identificar e problematizar manifestações anacrônicas. Materiais didáticos poderiam incluir orientações e advertências sobre ideias inesperadas e possíveis modos para se lidar com elas:*

- Incluímos na descrição das aulas o planejamento para o professor, em que indicamos estratégias para lidar com as possíveis dúvidas dos alunos. Também ao propor questões metacientíficas ao final de alguns textos, esperamos reforçar a reflexão sobre os episódios, obtendo múltiplos momentos de discussão, e reforçando pontos que poderiam levar a manifestações anacrônicas.

15. *Permitir aos estudantes vivenciarem aspectos dos debates entre teorias rivais favorece a compreensão de aspectos da natureza das ciências:*

- Procuramos estimular o debate entre os alunos desde a primeira aula, em que propomos que eles se dividam em grupos e tomem partido ante as duas possibilidades de interpretação que sugerimos para o episódio do bombardeio a Hiroshima. Nas demais aulas, propusemos atividades de debate e discussão sobre temas como acidentes radioativos e aplicações da radioatividade na medicina e na geração de energia.

16. *Escolher temas que despertem a curiosidade da faixa etária pretendida. A escolha não pode considerar apenas critérios técnicos e objetivos, mas envolver os estudantes é fundamental:*

- Consideramos que a questão da radioatividade e suas aplicações na medicina, em armamentos e na geração de energia são comumente um tópico de interesse dos alunos de Ensino Médio. Buscamos criar atividades utilizando recursos diversos, como a música, a literatura e o teatro, além de proporcionar debates e controvérsias para que os alunos se engajem nas discussões e leituras.

17. *Ponderar sobre a quantidade e profundidade dos textos:*

- Compomos os textos de modo a que o aluno precise ler apenas pequenos trechos de cada vez. Entretanto, insistimos em uma alta carga de leitura total, cerca de vinte páginas, considerando-se todas as aulas da proposta; de modo a abarcar diferentes períodos da história da radioatividade — seu desenvolvimento inicial, entre 1895 e 1903, e suas aplicações, como a bomba, na década de 1940, as usinas nucleares e os acidentes radiológicos da década de 1980 — em um total de seis aulas duplas. Ponderamos também o equilíbrio entre a sofisticação apropriada de leitura e escrita que queremos, as especificidades de nossa área e o momento cognitivo dos alunos. Promover a leitura é também responsabilidade dos professores de física, química e outras disciplinas, não apenas dos professores de português e literatura.

18. *Ter em mente as diferentes funções sociais do conhecimento acadêmico e dos saberes escolares da Escola Básica;*

- Levando em consideração esse parâmetro, sentimos premente a necessidade de trabalharmos conceitos científicos e conteúdo metacientífico; nossa intenção é colaborar com a formação dos alunos no sentido de prepará-los para a argumentação, fornecer subsídio para eles defenderem seus posicionamentos e investigarem a procedência de informações que possam chegar a eles.

19. *A linha do tempo com filmes comerciais pode auxiliar no dilema extensão x profundidade:*

- Escolhemos não incluir filmes nessa proposta, mas ressaltamos que podem ser recomendados como atividade extra-sala, preferencialmente, acompanhados de um roteiro de observação, com questões que norteiem a reflexão ou a discussão. Há, de fato, vários filmes envolvendo a Segunda Guerra Mundial, por exemplo, o professor possui muitas opções de escolha em função dos diferentes contextos educacionais;
- Por outro lado, indicamos vídeos e documentários curtos para serem utilizados como estratégia didática durante as aulas e como complemento de aprendizagem extraclasse.

20. *Questionar cada mensagem objetivada sobre a ciência em diferentes atividades didáticas e distintos episódios históricos:*

Procuramos ressaltar o conteúdo metacientífico em várias atividades, nos episódios selecionados (construção do conceito de radioatividade, bombardeio nuclear, aplicação medicinal e energética e acidentes radioativos). Em alguns dos textos, incluímos questões para orientar a reflexão sobre o conteúdo metacientífico abordado.

3.3 DADOS PARA A ANÁLISE SOBRE A PROPOSTA

A análise sobre a construção da proposta adota a metodologia qualitativa do estudo de caso, tendo o pesquisador como agente de coleta de dados (ERICSON, 1998). Ao longo da pesquisa, dificuldades, dúvidas e também conquistas foram registradas em seu ambiente natural de coleta, ou seja, os próprios caminhos da pesquisa. Como se espera em um estudo de caso desta natureza, pretendeu-se que evidências, categorias ou ideias significativas emergissem dos próprios dados e a partir daí, coube ao pesquisador organizar como resultados a serem socializados. Esperamos que tais resultados configurem-se como apoio para a construção de outras propostas didático-metodológicas.

Baseamo-nos na literatura, que define o estudo de caso como um estudo detalhado de um contexto, ou indivíduo, ou de uma fonte única de documentos ou de um acontecimento específico, recomendado para situações em que o investigador detém limitado controle dos acontecimentos reais, sendo confrontado com situações complexas, de difícil análise (ARAÚJO ET. AL., 2008; BOGDAN & BIKLEN, 1994). Este enfoque atende à necessidade desta pesquisa, pois procedemos à análise do trabalho do próprio pesquisador, responsável pelo estudo de caso, e porque tínhamos uma limitada fonte de dados, a própria pesquisa em desenvolvimento.

Bogdan & Biklen (1994) recomendam iniciar o estudo pela escolha do “evento” que deve ser observado, procedendo a recolha de dados, posteriormente revendo-os e explorando-os; para tal, é indicado, entre outras estratégias, a coleta de dados por meio de um diário de bordo. Nosso “evento” escolhido é o desenvolvimento da proposta didático-metodológica, com as dificuldades encontradas no percurso e os caminhos para superá-las, o que envolve o olhar cuidadoso a cada etapa da pesquisa e a repetida reflexão sobre os porquês de encontrarmos tais dificuldades.

Escolhemos complementar essa técnica elaborando relatórios reflexivos na recolha de dados, de modo que, durante a pesquisa, anotamos os obstáculos enfrentados e os métodos encontrados para contorná-los (ARAÚJO ET. AL., 2008). Iniciamos o primeiro relatório por motivo do exame de

qualificação, relacionando quais dificuldades se colocaram em quais etapas da pesquisa, posteriormente, refizemos a análise, adicionando as ocorrências subseqüentes à qualificação, totalizando três versões do relatório de dificuldades, cuja mais recente encontra-se no capítulo 4 (sessão 4.3).

Apresentamos, também, no capítulo 4 o planejamento das aulas que compõem a proposta com as orientações para o professor e o texto inicial do recorte histórico.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, apresentamos parte dos resultados dessa pesquisa, o texto com o recorte histórico para o professor, as aulas e as orientações metodológicas que compõem a proposta didático-metodológica e também a análise sobre o desenvolvimento da pesquisa. Outra parte dos resultados, os textos para os alunos, está nos Apêndices desta dissertação.

A partir da reflexão guiada pelos parâmetros, escrevemos um recorte histórico sobre o período inicial da pesquisa com radioatividade e iniciamos a elaboração de um plano de aulas. A proposta inicial era para oito horas-aula, organizadas em quatro aulas duplas, entretanto, à medida em que pensávamos nos conteúdos a serem trabalhados e propúnhamos atividades, naturalmente estendemos a proposta para um total de doze horas-aula, organizadas em seis aulas duplas.

É importante observar que a introdução da abordagem histórica é uma estratégia metodológica para o ensino de conteúdos científicos, e não um conteúdo novo que irá substituir aulas de conceitos da física e da química e sua matematização. Embora o número de aulas dedicado aos conteúdos curriculares possa ser um pouco maior do que seria em aulas expositivas apenas sobre conceitos científicos, acreditamos que os demais propósitos pedagógicos e formativos possibilitados justificam essa proposta.

Assim, apresentamos abaixo o recorte inicial, indicado como leitura do professor e a partir do qual elaboramos alguns dos textos para os alunos. Elencamos a seguir o plano de aulas com os quadros das atividades e sua descrição na sequência.

4.1 TEXTO PARA O PROFESSOR: RECORTE HISTÓRICO DO INÍCIO DA PESQUISA COM RADIOATIVIDADE (1895-1903)

No ocaso do revolucionário século XIX o mundo passava por transformações e embasbacava-se com as próprias mudanças. O século se iniciara com as tumultuadas Guerras Napoleônicas e em seu decorrer fora instaurada a plácida Era Vitoriana. Nesse período pós-revolução industrial, os grandes acontecimentos científicos, artísticos e políticos concentram-se na Europa; é um momento em que o mundo se urbaniza e novas tecnologias se sobrepõem, criando um novo cenário, descrito por Berman (1986, p. 12) como *“uma paisagem de engenhos a vapor, fábricas automatizadas, ferrovias, amplas novas zonas industriais; prolíficas cidades que cresceram do dia para a noite”*. Há uma aceleração no desenvolvimento e na institucionalização das ciências (exatas e naturais, mas também nas humanas e sociais). No final do século, no Brasil, finda o longo período escravocrata e cai a mais republicana das monarquias (GOMES, L., 2013).

Paralelamente, iniciam-se os estudos em um novo ramo da ciência, um ramo que será central no século XX, nas salas de aula e nos laboratórios, mas também nos gabinetes diplomáticos, nas corporações energéticas e no imaginário popular. Nessa virada de século acrescentamos ao nosso vocabulário o termo radioatividade, proposto por Marie Curie (1867-1934), para denominar o fenômeno atribuído à peculiar emissão de radiação penetrante por alguns elementos.

Podemos iniciar o estudo sobre a história da pesquisa com radioatividade, a partir dos trabalhos realizados pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), que em 1895 estava procurando detectar uma radiação eletromagnética de alta frequência prevista por Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), quando notou uma fluorescência não esperada. No experimento, os raios catódicos iluminavam uma superfície que tinha recebido uma camada de material fosforescente, e eram ambos (tubo e superfície) embalados com uma caixa de papelão preto. Depois de ligar o instrumento e apagar as luzes de seu laboratório, Röntgen observou algo notável: uma placa no fundo da sala, que continha tetracianoplatino(II) de bário ($\text{Ba}[\text{Pt}(\text{CN})_4]$, um material fosforescente) em uma das faces, se iluminou (LIMA *et al.*, 2009, pp. 265). Esse

efeito indicava, para ele, que algo atravessava a caixa de papelão e estimulava a placa.

Röntgen pressupôs que o efeito deveria ser causado pela passagem de algum tipo de radiação, mas desconhecia sua natureza. Ele acreditou não se tratar de nenhuma das radiações conhecidas até então, como a luz visível e os raios ultravioletas; ou seja, poderia haver algo novo (MARTINS, R., 2012).

Tendo em mente essa suposição, Röntgen se debruçou por semanas de investigação para entender quais seriam as propriedades dos novos raios, e chegou à conclusão de que eles se propagavam em linha reta, demonstravam ser capazes de penetrar grandes espessuras de diversos materiais, mas eram absorvidos mais fortemente por metais e também produziam fluorescência em várias substâncias diferentes (MARTINS, R., 1998). Por não conseguir identificar a natureza de tais raios, Röntgen os denominou “Raios X”.

Os estudos de Röntgen foram publicados na revista da Sociedade Física e Médica de Würzburg, na Alemanha, mas antes mesmo que a revista estivesse pronta, ele enviou, por conta própria, cópias a vários pesquisadores e em poucos dias, seu trabalho já estava sendo estudado em diversas sociedades científicas. Logo, outros pesquisadores passaram a se dedicar à investigação dos raios X. Entre eles, o matemático francês Henri Poincaré (1854-1912), que elaborou uma proposta de explicação para os raios X, conhecida como Conjectura de Poincaré, em que se atribui ao vidro, estimulado pelos raios catódicos, a emissão dos raios X e a propriedade de se tornar fluorescente ao emití-los. Tal hipótese foi testada e tida como certa, pois pesquisadores como Gaston Henri Niewenglowski (1871-?) repetiram os experimentos, variando os materiais e publicaram conclusões que endossavam a conjectura de Poincaré (MARTINS, R., 2004, 2012; POINCARÉ, 1896).

Antoine-Henri Becquerel (1852-1908) baseou-se na conjectura de Poincaré em suas investigações sobre o novo fenômeno. Ele também se apoiou nos estudos de seu pai (Alexandre-Edmond Becquerel, 1820-1891) sobre espectrografia¹⁸ para eleger os compostos de urânio como objeto de

¹⁸A família Becquerel dedicou-se por quatro gerações ao estudo da Física, Alexandre-Edmond Becquerel, da segunda geração de físicos Becquerel, pesquisou a luminescência, e foi uma das maiores autoridades sobre fosforescência e fluorescência. Ele foi pioneiro no estudo dos espectros (espectrografia) de vários corpos luminescentes, entre os quais, vários compostos de urânio.

investigação. Essa introdução foi o diferencial de seu trabalho (MARTINS, R., 2012).

Poincaré, Niewenglowski e Becquerel tornaram-se personagens mais conhecidas desses primeiros estudos sobre os fenômenos radioativos. Entretanto, como em todos os saberes construídos pela ciência ao longo de sua história, as explicações sobre os fenômenos naturais são construções coletivas, oriundas de inúmeras conjecturas, experimentos, erros, acertos, debates, dos quais muitos outros pesquisadores fazem parte. Do mesmo modo que Röntgen estava estudando as ondas propostas por Hertz, muitos outros aspectos e ideias anteriores contribuíram para os estudos dos demais pensadores envolvidos nesse tema.

Uma vez que o novo fenômeno natural foi encontrado, ou observado de modo significativo, vários pensadores começaram a estudá-lo, levantando hipóteses, comparando com suas respectivas formas de compreender a constituição da matéria, confrontando resultados experimentais com suas conjecturas teóricas, buscando construir uma explicação para ele. Algumas hipóteses são descartadas mais rápido, outras ainda permanecem aceitas quase unanimemente pela comunidade, e acabam por serem refutadas em algum momento posterior. Há ainda ideias que são aprimoradas e contribuem para a elaboração de modelos e teorias.

Em 1896, um ano após os estudos de Röntgen, Henri Becquerel apresentou as observações sobre os efeitos produzidos por seus cristais de urânio, comparando essas radiações aos raios X, e ressaltando que elas possuíam poderes de penetração diferentes. Até então, as investigações eram conduzidas estimulando os cristais com luz solar; entretanto, Becquerel afirma que em um período, por falta de sol, ele guardara os cristais junto com placas fotográficas em uma gaveta, para continuar seus experimentos quando houvesse outro dia ensolarado. Ainda segundo ele, passados vários dias e não havendo a luz adequada, ele resolveu revelar as placas e foi surpreendido encontrando-as fortemente marcadas por algum tipo de radiação. Essa observação fez com que vários historiadores da ciência concedessem a Becquerel o título de descobridor da radioatividade. Porém, o próprio Becquerel não concluiu que a radiação seria proveniente dos próprios cristais de urânio, mas que seria uma fosforescência de persistência muito maior. Nada que

remeta ao conceito de radioatividade aceito atualmente (BECQUEREL, 1986; MARTINS, R., 2012).

Becquerel chamou a nova propriedade que encontrara de “raios de urânio”; e como não procurou outros elementos que pudessem emitir raios semelhantes, os historiadores concluem que ele entendia que a propriedade (que hoje chamamos de radioatividade) era exclusividade dos compostos de urânio (MARTINS, R., 2012).

Becquerel usava em suas investigações apenas o método fotográfico, em que a radiação marca chapas fotográficas. Todavia, logo após a divulgação da descoberta dos raios X, muitos pesquisadores notaram que esta radiação era capaz de tornar o ar condutor de eletricidade, e por isso eram capazes de descarregar eletroscópios¹⁹. Joseph John Thomson (1856-1940) e seus colaboradores propuseram a explicação que é aceita até hoje: os raios X rompem as moléculas neutras do ar e produzem espécies carregadas positiva e negativamente (íons positivos e negativos), capazes de conduzir eletricidade. Entretanto, esses íons de sinais opostos se atraem e tendem a se recombinar, tornando o ar isolante novamente (MARTINS, R., 2012).

É interessante observar que as explicações que cada cientista conjecturava estavam pautadas por uma visão peculiar sobre a constituição da matéria. Becquerel, por exemplo, por utilizar o método fotográfico não pode obter certas informações que levaram às conclusões de Marie Curie, que utilizava o método elétrico.

É comum imaginarmos Marie Curie como uma mulher demasiadamente séria e rígida, quando apenas a conhecemos por seu admirável trabalho científico, ou pelas fotos em que ela aparece sisuda ou até tristonha. Mas no

¹⁹O eletroscópio de folhas é o instrumento mais comum que pode ser utilizado para detectar cargas elétricas. Ele é constituído por uma esfera condutora, fixada em uma das extremidades de uma barra de metal, também condutora, e duas finas folhas de metal fixadas na outra extremidade da barra. O eletroscópio funciona de acordo com o processo de indução elétrica; assim, ao se aproximar um material eletrizado da esfera condutora, os elétrons se movimentam pela barra metálica, se afastando da esfera caso o corpo esteja carregado negativamente, ou se aproximando dela caso ele esteja carregado positivamente. Na eletroscopia, carregamos o eletroscópio com carga elétrica de sinal conhecido, por exemplo, positiva. Quando se aproxima à esfera um corpo carregado positivamente a distância entre as folhas aumentará. Se o corpo estiver carregado negativamente, a distância diminuirá. Texto adaptado de <http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/fenomenos/eletroscopios/>.

livro *Aulas de Marie Curie*²⁰, percebemos uma Marie preocupada com a educação de suas filhas, uma mãe dedicada e amorosa. Marie também é descrita como uma mulher muito apaixonada por seu marido e teria sofrido muito com sua morte precoce, em 1906.

Nascida Maria Skłodowska, em 1867, numa Polônia subjugada pelo Império Russo, Marie teve de lutar desde a infância para progredir em seus estudos. A lei russa proibia o acesso de mulheres às universidades, e restringia a educação indistintamente entre os poloneses. Marie, entretanto, era filha de professores e sempre mostrou aptidão para o aprendizado. Como resultado de um árduo trabalho, alcançou o reconhecimento que a levou a ser a primeira mulher laureada com um Nobel, e a primeira pessoa a receber a honraria duas vezes. Foi também a primeira mulher a ocupar uma vaga na renomada Universidade Sorbonne, Paris, França, quando já era viúva e criava duas filhas pequenas (CURIE, 1898).

No final do século XIX, quando ela começou a estudar a “estranha” radiação que era objeto de interesse de físicos e matemáticos por toda a Europa, já eram conhecidos os raios X e os raios de urânio, emissões de alta energia relatadas por Antoine-Henri Becquerel (1852-1908). Portanto, ela passava a atuar em um campo de pesquisa ocupado por renomados pesquisadores que buscavam explicar a nova radiação.

Marie, diferentemente de Becquerel, usava o método elétrico para estudar os raios X; ela utilizava o eletroscópio para detectar emissão de radiação ionizante no ar e media a intensidade da corrente com um eletrômetro, estabelecendo uma relação direta entre intensidade da corrente e quantidade de radiação emitida. Assim, em 1898 relata suas conclusões de pesquisa: ela examinara uma grande quantidade de compostos de urânio e observara que em compostos com maior teor de urânio, a emissão radioativa era maior do que em compostos com baixos teores de urânio (CORDEIRO & PEDUZZI, 2010). Ela afirma que o fenômeno dependia da quantidade de átomos de urânio, não da estrutura cristalina ou molecular dos compostos. Prosseguindo em sua investigação, ela notou que compostos de outros metais

²⁰ CHAVANNES, I. *Aulas de Marie Curie*: anotadas por Isabelle Chavannes. Trad. Waldyr M. Oliveira. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2007.

(tório, cério, nióbio e o tântalo, também emitiam radiações ionizantes) (CURIE, 1898; MARTINS, R., 2012).

Mais do que isso, ela identificou que alguns compostos emitiam radiação mais forte do que a do urânio puro, o que contrastava com os resultados anteriores que indicavam que a intensidade da radiação era proporcional à quantidade de urânio nos compostos. Para averiguar a que se devia a anomalia, ela sintetizou um dos minerais discrepantes, a calcolita, e percebeu que essa substância artificial não era tão ativa quanto o mineral natural. Marie conjecturou que esses minerais poderiam conter algum outro elemento desconhecido, mais ativo que o urânio. Ao encontrar que o tório também emitia radiações semelhantes às do urânio, Marie propôs um novo nome para o fenômeno, radioatividade (MARTINS, R., 2012; STRATHERN, 2000).

É necessário ressaltar que no mesmo ano, independentemente, Gerhard Carl Nathaniel Schmidt (1865-1949), também utilizando método elétrico, identificou que o tório emitia radiação ionizante semelhante à do urânio. Ele, porém, não continuou suas investigações no ramo da radioatividade (MARTINS, R., 2012). O fato de outro pesquisador ter chegado às mesmas conclusões não diminui a relevante contribuição de Madame Curie, principalmente por ela ter dado seguimento à sua pesquisa e chegado a resultados revolucionários, mesmo tendo vivido em um contexto desfavorável às mulheres que faziam ciência, e com o agravante de ser estrangeira (CORDEIRO & PEDUZZI, 2010).

O marido de Marie, Pierre (1859-1906), já era um conceituado pesquisador quando ela ainda buscava seu doutorado, entretanto, em 1898, ele abandona suas próprias investigações para se dedicar apenas à pesquisa de Marie. Nesse momento, ela havia identificado que um mineral chamado pechblenda emitia radiação mais forte do que qualquer outra substância, o que, a exemplo do calcolita, indicava que havia ali um novo elemento. Assim, o casal Curie passou a um exaustivo trabalho de refinar o minério de pechblenda e depois de repetida destilação, eles isolaram pó de bismuto contendo o novo elemento. Esse novo elemento foi batizado polônio, por Marie, em homenagem à sua pátria (MARTINS, R., 2012; STRATHERN, 2000).

Após anunciarem a descoberta do polônio, os Curie foram obrigados a se afastarem do trabalho por motivos de saúde, estavam pagando o preço da longa exposição à radiação. Porém, no mesmo ano, eles voltaram ao

laboratório, pois suspeitavam que havia um segundo elemento desconhecido na pechblenda. Eles realizaram um trabalho de separação semelhante ao usado na separação do polônio e isolaram o rádio (CURIE, 1941; MARTINS, R., 2012).

Nesse período, os pesquisadores começavam a compreender os efeitos da radioatividade, e ainda não sabiam o quão perigoso eles eram para o nosso organismo. Marie se expôs por longos períodos e por muitos anos a fortes emissões radioativas, e sofreu muito em consequência. Ela morreu em 1934, aos 67 anos, e sua doença não pode ser diagnosticada apropriadamente na época, mas hoje entende-se que ela sofria de mais de uma doença derivada da exposição a radioatividade, sendo leucemia a mais grave.

Em reconhecimento a seus trabalhos sobre radioatividade, Marie recebeu em 1903 (juntamente com Pierre e Becquerel) o prêmio Nobel de Física daquele ano; em 1911 ela voltou a ser laureada com um Nobel, desta vez em Química, pela descoberta do polônio e do rádio (MARTINS, R., 2012; STRATHERN, 2000).

Georges Sagnac (1869-1928) também tem seu lugar na história da radioatividade. O físico francês estudou os chamados raios secundários, ou raios menos penetrantes emitidos por um material atingido por raios X. Esses raios, embora sejam mais facilmente absorvidos pela matéria, produzem radiação ionizante mais forte e são mais facilmente detectados. Em 1903, tendo como base os raios secundários e a radioatividade induzida, descobertas pelos Curie, Ernst Rutherford (1871-1937) e Frederick Soddy (1877-1956) apresentaram evidências de que a radioatividade era um processo de desintegração atômica, como entendemos ainda hoje (MARTINS, R., 2012).

Desse modo, Roberto Martins (2012, p. 382) afirma que

“[...] a pergunta ‘Quem descobriu a radioatividade?’ não pode ser respondida indicando-se nenhum indivíduo. Ela só pode ser respondida informando-se os muitos pesquisadores [entre eles, Röntgen, Poincaré, Becquerel, Niewenglowski, Rutherford, Schmidt, Marie e Pierre Curie] que deram sucessivas contribuições que levaram, depois de vários anos [1895-1903], ao esclarecimento das propriedades e da natureza da radioatividade.”

É importante salientar que o que hoje se conhece por radioatividade tem natureza diferente dos raios X. Chassot (1995, p.21) explica que

“[...] atualmente, são considerados raios X as radiações eletromagnéticas com comprimento de onda no intervalo aproximado de 10^{-11} a 10^{-8} m (0,1 a 100 Å), resultantes da colisão de elétrons produzidos em um cátodo aquecido (ocorre uma emissão termoiônica) contra elétrons de um ânodo metálico. Ao contrário, portanto, das radiações, originadas nos núcleos atômicos [radioatividade], com as quais se assemelham em intensidade, os raios X têm origem extranuclear.”

A descoberta do fenômeno da radioatividade, e a construção das explicações para ele, causou uma reviravolta no âmbito científico, mobilizou pesquisadores de várias áreas e nacionalidades, levou tempo para ser assimilada e continua sendo um ramo de interesse para os pesquisadores. A radioatividade foi e é utilizada para fins diversos, desde sua aplicação na medicina e na agricultura, passando pela análise da arte, até a construção de armamentos nucleares, e ainda divide opiniões. Assim, é natural que as circunstâncias de sua descoberta continuem sendo objeto de estudo e debate entre os historiadores da ciência. É importante, tanto no estudo da história da radioatividade quanto nas ponderações sobre sua utilização, o embasamento do conteúdo científico, a análise historiográfica apropriada e das implicações éticas envolvidas.

4.2 A PROPOSTA DIDÁTICO-METODOLÓGICA: AULAS E ORIENTAÇÕES

Plano de aulas

Contexto educacional: 3º. ano do Ensino Médio.

Tema: Radioatividade: descoberta do fenômeno, construção do conceito e suas implicações sociais.

Período: 12 horas-aula.

Objetivos pedagógicos:

Espera-se que o estudante:

- Compreenda os conceitos de radioatividade, decaimento e emissões radioativas; conseguindo relacioná-los, no dia a dia, com o contexto científico, tecnológico e social.
- Compreenda historicamente o desenvolvimento do conceito de radioatividade, e alguns episódios chave protagonizados pelas aplicações do fenômeno;
- Adquirir embasamento para se posicionar em questões controversas que abordem o tema;
- Compreenda questões metacientíficas relacionadas ao desenvolvimento da pesquisa em radioatividade, como a coletividade, a (não)neutralidade da ciência e compreenda a historicidade da ciência, mediante as relações entre ciência-arte-tecnologia-sociedade.

Recursos didáticos: abordagem histórica, análise de um documentário, aula expositivo-dialógica, leitura coletiva, modelização no simulador PHET, resolução de exercícios.

Recursos materiais: textos, internet, computador, projetor de *slides*, tela e equipamento de áudio, livro didático.

Recursos para Avaliação: avaliação da participação nas atividades, resolução de exercícios e produção de texto.

Pré-requisitos: a proposta foi pensada para ser utilizada em aulas de física e química, com alunos do 3º ano do Ensino Médio, quando já foram estudados conceitos como modelos e teoria atômicos, fosforescência e fluorescência, entretanto, é importante que seja feita uma revisão sobre esses temas, em especial sobre o modelo atômico de Bohr.

Quadro 2: Síntese das aulas

Aula	Conteúdos	Atividades
Aula 1	Aplicações da radioatividade: Bomba nuclear, Segunda Guerra Mundial, Guerra Fria.	Vídeo 1, Leitura coletiva Textos de interpretação 1 e 2. Debate sobre os textos. Pesquisa extra sala.
Aula 2	Instabilidade nuclear, Emissões radioativas, Contexto histórico.	Leitura Textos 3 e 4. Aula expositiva sobre instabilidade do núcleo atômico e exercícios.
Aula 3	Contexto histórico, Emissões radioativas.	Aula expositiva sobre emissões radioativas. Simuladores PHET. Leitura do Texto 5. Exercícios. Vídeo 2 (extraclasse).
Aula 4	Contexto histórico, Transmutação nuclear, Datação por carbono-14.	Vídeo 3. Aula expositiva transmutação nuclear e datação por carbono-14. Exercícios. Texto 6. Orientações para a atividade a ser realizada na Aula 5.
Aula 5	Acidentes radioativos.	Dramatização do Texto 7. Discussão sobre protocolos de segurança com radioatividade
Aula 6	Aplicações: Geração de energia, usos na medicina, Acidentes radioativos.	Atividade em grupo sobre os Textos 8 e 9. Documentário sobre acidentes nucleares (Vídeo 4). Fechamento da proposta.

Fonte: elaborado pelo autor

Aula 1

O professor começa a aula apresentando aos alunos o tema que será abordado nas próximas semanas, a radioatividade, e utiliza como questão geradora: “*O que você pensa quando ouve falar em radioatividade?*”. O professor identifica ideias prévias dos alunos e pode listar na lousa as diferentes expressões; entre elas, provavelmente, estará bomba atômica, o que serve como motivação para a primeira atividade, a leitura coletiva — acompanhada pelo vídeo da versão musicada — do poema *A Rosa de Hiroshima*.

Pensem nas crianças
Mudas telepáticas
Pensem nas meninas
Cegas inexatas
Pensem nas mulheres
Rotas alteradas
Pensem nas feridas
Como rosas cálidas
Mas, oh, não se esqueçam
Da rosa da rosa
Da rosa de Hiroshima
A rosa hereditária
A rosa radioativa
Estúpida e inválida
A rosa com cirrose
A antirrosa atômica
Sem cor sem perfume
Sem rosa sem nada.

Após lerem o poema, o professor divide a sala em dois grupos e entrega a cada um deles cópias de um texto (1 ou 2)²¹. Os textos são duas interpretações do poema, uma atribuindo aos Estados Unidos a culpa por um massacre desnecessário, e outro, bastante polêmico, propondo que o bombardeio foi a atitude com consequências menos devastadores entre as possíveis. Após a leitura, os grupos devem debater o tema, cada um defendendo o ponto de vista de seu texto. Esperamos que o tema cause incômodo e seja bastante instigador, promovendo o seu engajamento.

No final da aula, o professor fecha o debate, retomando pontos chave e introduz a aula seguinte, em que será iniciado o estudo histórico da

²¹ Os textos mencionados neste capítulo podem ser encontrados nos Apêndices desta dissertação.

radioatividade, e sugere que os alunos pesquisem sobre a origem da tecnologia que possibilitou o bombardeio e sobre fatos históricos no Brasil e no mundo, entre 1890 e 1910, período em que se iniciou o estudo da radioatividade, e que será abordado nas próximas aulas. Ele deve enfatizar o cuidado com as fontes utilizadas, especialmente na internet, onde há narrativas anacrônicas e tendenciosas, é necessário deixar claro aos alunos o que procurar, se possível até sugerir sites que considere confiáveis.

O professor pode refletir também sobre a (não)neutralidade da ciência a partir desse episódio. A obtenção da bomba atômica demandou avanço na pesquisa e novas tecnologias, que foram, posteriormente, utilizadas para fins medicinais, por exemplo; entretanto, sua origem teve como objetivo uma finalidade bélica. A utilização do conhecimento científico não é neutra. O próprio conhecimento, se alcançado com uma finalidade predeterminada, também pode não ser neutro, ele sofre influência da sociedade.

Organizamos no Quadro 3 uma síntese das atividades programadas para esta aula, na ordem em que sugerimos e com o tempo que estimamos ser necessário para cada uma delas.

Quadro 3: Síntese da aula 1

Conteúdo	Atividades	Minutos previstos
Aplicações da Radioatividade: a indústria bélica.	1. Responder, oralmente, à questão provocadora: <i>“O que vêm à sua cabeça quando você ouve falar em radioatividade?”</i> .	10
	2. Leitura coletiva do poema <i>A Rosa de Hiroshima</i> , mais assistir ao vídeo.	5
	3. Leitura dos Textos 1 e 2 para interpretação do poema.	30
	4. Debate sobre os Textos 1 e 2.	50

Fonte: elaborado pelo autor

No planejamento das aulas, das atividades e dos textos, visamos a alguns objetivos pedagógicos específicos e buscamos trabalhar com determinados conteúdos metacientíficos. Para esta aula, organizamos os objetivos e conteúdos abordados no Quadro 4.

Quadro 4: Objetivos pedagógicos e conteúdos metacientíficos da aula 1

Atividade	Objetivo Pedagógico	Conteúdos metacientíficos
Leitura do Poema	Sensibilização	Relação entre Arte Ciência-Tecnologia- Sociedade
Leitura dos textos de interpretação do evento	Fornecer pontos de vista conflitantes	
Discussão em Grupo	Leitura dos textos de interpretação do evento	(Não)Neutralidade da ciência e seu uso social
Debate Plenário	Promover a reflexão e criticidade	

Fonte: elaborado pelo autor

Aula 2

O professor inicia a aula questionando os alunos sobre a pesquisa sugerida na aula anterior. Ele ouve as respostas dos alunos e as relaciona com as atividades desta aula. Para iniciá-la ele pode usar as questões provocadoras “*os cientistas erram? Uma teoria ou um dado experimental errado pode contribuir para a explicação de um fenômeno?*”. Após ouvir a opinião dos alunos ele propõe a primeira leitura, do Texto 3, sobre os primeiros contatos com o fenômeno da radioatividade e sobre o contexto histórico e científico da época; e do Texto 4, sobre a contribuição de Henri Becquerel. Sugerimos que essas leituras sejam coletivas, para que todos os alunos tomem parte dos textos. O professor pode ir interrompendo a leitura, explicando detalhes, tirando dúvidas dos estudantes e enfatizando os aspectos metacientíficos também. A HC permite questionar a diferença entre observar um fenômeno e construir sua explicação, e problematizar a relação entre observação e expectativa

Depois de concluída a leitura, o professor passa à lousa para explicar o conceito de instabilidade do núcleo atômico de acordo com o conteúdo do livro didático adotado. Nessa explicação, o professor esclarece que os fenômenos e os problemas encontrados naquela época, hoje são explicados pela ciência de uma determinada maneira, ainda não elaborada naquela época. Tal enfoque permite que se problematize a ideia de “pais” de descobertas ou invenções ocasionais, cientistas que não erram e resolvem sozinhos os enigmas da natureza. Comparar o que viram e conjecturaram Becquerel e outros cientistas da época com as explicações aceitas atualmente, fundamentará o professor a

exemplificar o trabalho coletivo, paulatino e o papel dos erros na ciência. Nessa parte da aula, podem ser propostos exercícios do livro texto para os alunos. A profundidade e o nível de abordagem de todos os conteúdos irá depender de cada contexto educacional.

No final da aula, o professor sugere novamente um tema para ser pesquisado. Ele pode mencionar que nas leituras dessa aula, vários cientistas foram citados, como Röntgen, Becquerel e Poincaré, mas que eram todos homens; e pedir aos alunos que pesquisem sobre mulheres que se destacaram na ciência. Novamente relativo aos cuidados com pesquisas na internet, é importante orientar os estudantes a identificarem dados mais objetivos, como o nome, nacionalidade, época de nascimento e área de pesquisa. Se o professor dispuser de fontes conhecidas sobre algumas personagens da história ele pode sugerir leituras específicas, sites em que confia etc. Ao longo do curso, o professor pode aproveitar vários momentos para comentar sobre os problemas com o conteúdo de muitos sites da internet, assim como questões de plágio em relação ao hábito de cópia de muitos alunos.

Organizamos no Quadro 5 uma síntese das atividades programadas para esta aula, com a estimativa do tempo necessário para cada uma delas.

Quadro 5: Síntese da aula 2

Conteúdo	Atividades	Minutos previstos
Instabilidade nuclear; Emissões radioativas; Contexto histórico.	1. Leitura dos Textos 3 e 4	40
	2. Aula expositiva e exercícios	60

Fonte: elaborado pelo autor

Apresentamos no Quadro 6 os objetivos pedagógicos e os conteúdos metacientíficos desta aula.

Quadro 6: Objetivos pedagógicos e conteúdos metacientíficos da aula 2

Atividade	Objetivo Pedagógico	Conteúdos metacientíficos
Leitura dos Textos 3 e 4	Conteúdos científicos e metacientíficos em perspectiva histórica.	Coletividade na ciência; O papel dos erros no desenvolvimento da ciência.
	Estimular a leitura	
Aula expositiva e exercícios	Elucidar conceitos apresentados nos textos	Os múltiplos métodos possíveis na ciência. A diferença entre observação e explicação.
	Introduzir a conceituação da radioatividade	

Fonte: elaborado pelo autor

Aula 3

O professor pode iniciar a aula resgatando pontos da aula 2, em que foi iniciada a discussão histórica e a introdução de conceitos científicos e questionando os alunos sobre a pesquisa solitica. Ele, então, retoma o conceito de emissões radioativas, abordando suas causas e tipos (alfa, beta e gama). Realiza alguns exercícios do livro didático na lousa, chamando atenção para a modelização do átomo para explicar o fenômeno. Nesse momento é oportuno usar os simuladores virtuais PHET, disponíveis no site da Universidade do Colorado²², para o decaimento alfa e beta, pois eles ilustram e “modelizam” o conceito e auxiliam na explicação. Ótima oportunidade para o professor enfatizar o papel dos modelos na ciência e destacar que tais simuladores são construídos a partir de situações ideais, e podem transmitir a ideia de que os experimentos sempre ocorrem sem falhas, e que a ciência nem sempre é tão exata, objetiva e pautada em observações neutras para coleta numérica de dados. O professor pode encontrar fundamentos para essa discussão em Gil-Perez e colaboradores (2001) e Roberto Martins (2006). A seguir, o professor remete ao desenvolvimento histórico do conceito e propõe a leitura do Texto 5 — sobre a contribuição de Marie Curie na pesquisa inicial sobre radioatividade — mediante alguma estratégia adequada ao seu contexto educacional, como uma leitura em grupo, buscando envolver todos os alunos.

²² Disponíveis em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/alpha-decay> e <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/beta-decay>. Acesso em 14/03/2015.

Durante a discussão sobre o texto, o professor explicita novamente a diferença entre o modelo de emissões radioativas aceito atualmente e os conceitos que estavam sendo desenvolvidos naquela época. Aborda os aspectos metacientíficos visados, lembrando as pesquisas anteriores às de Marie, enfatizando o caráter coletivo da ciência. Finaliza a aula solicitando uma atividade a ser realizada como tarefa de casa: a elaboração de uma pequena sinopse sobre um vídeo disponível no *YouTube*²³, um documentário sobre Mme. Curie, destacando pontos semelhantes e destoantes com o texto lido em sala, refletindo, em que medida, o documentário “endeusa” a cientista. O professor orienta os alunos a observarem fatos sobre a coletividade na ciência, o contexto da pesquisa, e os valores culturais da época. A leitura das sinopses auxilia o professor a identificar aspectos históricos, metacientíficos e científicos a serem revistos e aprofundados nas próximas aulas.

Organizamos no Quadro 7 uma síntese das atividades programadas para esta aula, na ordem em que sugerimos e com o tempo que estimamos ser necessário para cada uma delas.

Quadro 7: Síntese da aula 3

Conteúdo	Atividades	Minutos previstos
Contexto histórico, Emissões radioativas	1. Aula expositiva sobre emissões radioativas e exercícios	40
	2. Simuladores PHET	25
	3. Leitura comentada do Texto 5	25
	4. Explicar as tarefas extraclasse	10

Fonte: elaborado pelo autor

No Quadro 8, indicamos os objetivos pedagógicos e os conteúdos metacientíficos trabalhados nesta aula.

²³ BERGER, G.; HUCHETTE, N.; VUILLERMENT, M. (2011). Marie Curie – Documentário. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=WbGV2376Jh0>>. Acesso em 10/07/2015.

Quadro 8: Objetivos pedagógicos e conteúdos metacientíficos da aula 3

Atividade	Objetivo Pedagógico	Conteúdos metacientíficos
Aula expositiva sobre emissões radioativas	Prosseguir a conceituação da radioatividade	Coletividade na ciência; A diferença entre observação e explicação. Os múltiplos métodos possíveis na ciência
Simuladores PHET	Exemplificar e modelizar	
Leitura do Textos 5	Fornecer informações sobre o período.	
	Estimular a leitura	

Fonte: elaborado pelo autor

Aula 4

A aula pode ser iniciada com os alunos respondendo se já ouviram falar que nossos corpos são emissores de radioatividade. Essa pergunta pode encaminhar para o vídeo sobre a datação por carbono-14²⁴. Depois de assistir ao vídeo, o professor pode complementar a explicação, ouvir comentários dos alunos e passar para o próximo tema, a transmutação nuclear, que também é mencionada no vídeo. Também aqui podem ser propostos exercícios, e cada professor deve estabelecer o nível de profundidade que quer dar ao tema.

Essas técnicas elaboradas, só foram desenvolvidas graças ao avanço da pesquisa com radioatividade, de modo que o professor pode usar esse argumento para passar à próxima atividade, a leitura coletiva e comentada do Texto 6, sobre os desdobramentos da pesquisa de Curie-Becquerel, em que são abordadas as contribuições do grupo de pesquisa de Rutherford.

O professor finaliza a aula apresentando o tema das próximas aulas, as aplicações medicinais e energéticas da radioatividade, e dando instruções sobre o trabalho a ser realizado para a aula 5. O professor entrega cópia do texto 7 para os estudantes, orientando sobre a dramatização a ser preparada.

Organizamos no Quadro 9 uma síntese das atividades programadas para esta aula, na ordem em que sugerimos e com o tempo que estimamos ser necessário para cada uma delas.

²⁴ Equipe CCEAD – PUC Rio (2013). Método de datação por carbono 14. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=UEAVXW-ZH-M>>. Acesso em 10/07/2015.

Quadro 9: Síntese da aula 4

Conteúdo	Atividades	Minutos previstos
Contexto histórico; Transmutação nuclear; Datação por carbono-14.	1. Vídeo 4	15
	2. Aula expositiva sobre transmutação nuclear e datação por carbono-14	55
	3. Leitura comentada do Texto 6	30

Fonte: elaborado pelo autor

No planejamento das aulas, das atividades e dos textos, visamos a alguns objetivos pedagógicos específicos e buscamos trabalhar com determinados conteúdos metacientíficos. Para esta aula, organizamos os objetivos e conteúdos abordados no Quadro 10.

Quadro 10: Objetivos pedagógicos e conteúdos metacientíficos da aula 4

Atividade	Objetivo Pedagógico	Conteúdos metacientíficos
Vídeo 4	Conceituar aplicações da radioatividade.	Relação entre ciência e sociedade; Coletividade na ciência; O papel do erro na ciência.
Aula expositiva sobre transmutação nuclear e datação por carbono-14		
Leitura do Texto 6	Abordagem histórica do desenvolvimento do conceito de transmutação nuclear.	
	Estimular a leitura.	

Fonte: elaborado pelo autor

Aula 5

Na aula anterior, os alunos receberam cópias do artigo *Césio-137, um drama recontado* (Texto 7), sobre o acidente radiológico de Goiânia, na década de 1980; e foram instruídos a lê-lo e prepararem uma breve dramatização, para apresentarem nesta aula.

Para essa atividade, o professor pode, previamente, se articular com o professor de artes da escola, para fazerem dessa uma atividade conjunta. Nesse caso, para deixar o cronograma mais favorável, a proposta de atividade pode vir antes da Aula 4, para os alunos e o professor poderem organizar a encenação.

Caso a atividade não seja articulada com outra disciplina, ao final da apresentação, o professor pode mediar uma discussão sobre conceitos abordados no artigo e o evento do acidente, suas causas, consequências e quais medidas garantem que acidentes similares não voltem a acontecer.

Organizamos no Quadro 11 uma síntese das atividades programadas para esta aula, na ordem em que sugerimos e com o tempo que estimamos ser necessário para cada uma delas.

Quadro 11: Síntese da aula 5

Conteúdo	Atividades	Minutos previstos
Acidentes radioativos	1. Dramatização do Texto 7	80
	2. Discussão sobre protocolos de segurança com radioatividade	20

Fonte: elaborado pelo autor

No planejamento das aulas, das atividades e dos textos, visamos a alguns objetivos pedagógicos específicos e buscamos trabalhar com determinados conteúdos metacientíficos. Para esta aula, organizamos os objetivos e conteúdos abordados no Quadro 12.

Quadro 12: Objetivos pedagógicos e conteúdos metacientíficos da aula 5

Atividade	Objetivo Pedagógico	Conteúdos metacientíficos
Dramatização do Texto 7	Sensibilização	Relação entre arte, ciência e sociedade.
Discussão sobre protocolos de segurança com radioatividade	Esclarecer sobre periculosidade e responsabilidade ao manipular materiais radioativos	

Fonte: elaborado pelo autor

Aula 6

A atividade da aula anterior foi, em certo aspecto, uma introdução para essa aula de fechamento. Desse modo, o professor dá continuidade ao tema organizando a sala em dois grupos, cada grupo recebe um texto (8, sobre energia nuclear ou 9, sobre medicina nuclear) e deve fazer sua leitura coletiva.

A seguir, um grupo deve apresentar ao outro a aplicação sobre a qual leu, ressaltando seus prós e contras. Para isso, os grupos podem se organizar em subgrupos, dividindo os aspectos de sua aplicação. Essa estratégia pode mobilizar um maior número de alunos e deixar a apresentação mais didática.

Para finalizar a atividade, o professor exhibe o documentário sobre acidentes nucleares²⁵. Nessa matéria, são lembrados os acidentes de Chernobyl e de Goiânia; é importante que o professor ressalte alterações que foram realizadas nos protocolos de segurança que lidam com materiais radioativos, exatamente para que esses acidentes não se repitam.

Como conclusão das aulas sobre o tema, o professor pode retomar pontos importantes das últimas aulas, reforçando conceitos que possam ter ficado incompletos e sugerindo outras reflexões.

Organizamos no Quadro 13 uma síntese das atividades programadas para esta aula, na ordem em que sugerimos e com o tempo que estimamos ser necessário para cada uma delas.

Quadro 13: Síntese da aula 6

Conteúdo	Atividades	Minutos previstos
Aplicações: Geração de energia, usos na medicina, Acidentes radioativos	1. Leitura dos Textos 8 e 9	30
	2. Apresentação dos temas pelos grupos	40
	3. Documentário sobre acidentes nucleares	30

Fonte: elaborado pelo autor

No planejamento das aulas, das atividades e dos textos, visamos a alguns objetivos pedagógicos específicos e buscamos trabalhar com determinados conteúdos metacientíficos. Para esta aula, organizamos os objetivos e conteúdos abordados no Quadro 14.

²⁵ Globo News (2011). Relembre os acidentes nucleares de Chernobyl e Césio 137. Disponível em < <https://www.youtube.com/watch?v=vUp5XjvqGow>>. Acesso em 10/07/2015.

Quadro 14: Objetivos pedagógicos e conteúdos metacientíficos da aula 6

Atividade	Objetivo Pedagógico	Conteúdos metacientíficos
Leitura dos Textos 8 e 9	Abordagem histórica sobre o período e conceitos científicos; Estimular a leitura	Relação entre ciência e sociedade
Apresentação dos temas pelos grupos	Estimular capacidade de síntese	
Documentário sobre acidentes nucleares	Retomar alguns pontos e fechar a discussão	

Fonte: elaborado pelo autor

4.3 ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Durante a execução da pesquisa, procuramos associar a ela um eixo complementar que buscava uma reflexão sobre o andamento de seu desenvolvimento. Nossa intenção é tornar claras as estratégias utilizadas para superar ou contornar os desafios não previstos no planejamento do caminho de investigação.

Assim, no decorrer da pesquisa buscamos registrar também os avanços, as dúvidas, as oscilações e a superação de obstáculos pelo pesquisador. Entendemos esse registro como fonte de dados para a análise, pois permitem que avaliemos a progressão da pesquisa pelo amadurecimento do pesquisador. Isso poderia contribuir para uma reflexão adicional sobre o desenvolvimento da pesquisa e para embasamento e norteador para outras pesquisas.

A princípio, utilizávamos um caderno virtual no qual era anotado o diário de pesquisa; entretanto, com o percurso da pesquisa, as revisões subsequentes nos textos, as correspondências eletrônicas trocadas com a orientadora e as reflexões anotadas durante o processo de superação dos obstáculos foram utilizadas como fonte de dados.

Especificamente após o exame de qualificação, passamos a esboçar um parágrafo sobre as dificuldades imprevistas a cada nova ocorrência, fosse a publicação de um recorte da pesquisa em forma de capítulo de livro²⁶, a elaboração de um resumo para congresso ou a constatação de um problema de ordem prática.

Apresentamos abaixo os episódios mais relevantes nesses vinte e cinco meses de mestrado, entraves metodológicos, didáticos e epistemológicos que fizeram parte do desenvolvimento da pesquisa.

²⁶ GOMES, T. G.; FORATO, T. C. M.. Marie Curie e as emissões radioativas: uma proposta para a sala de aula. In: A. P. B. da SILVA & A. GUERRA (orgs). *História da ciência e Ensino: Fontes Primárias e propostas para sala de aula*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015.

4.3.1 O problema com os sites referenciados

Trata-se de um problema detectado pelos idos de março de 2014. Na elaboração do texto sobre o recorte histórico (Apêndice) eu²⁷ escolhi utilizar o site InfoEscola²⁸ para compor a explicação sobre raios catódicos, e mais adiante, o site Brasil Escola²⁹ para a explicação sobre eletroscópios.

Durante a revisão do texto, a orientadora detectou problemas conceituais e didáticos nas explicações compostas a partir dos sites supracitados. No primeiro caso, o texto era vago na explicação dos conceitos, não fornecendo ao leitor que não conhecesse um tubo de Crookes elementos suficientes para a compreensão do fenômeno. Contornamos esse problema selecionando a explicação do site do Grupo de Ensino de Física da Universidade de Brasília (UnB)³⁰, que fornece mais elementos descritivos.

O segundo caso era mais grave; havia um erro conceitual. Na explicação sugeria-se que cargas (negativas e positivas) se movem no eletroscópio, o que poderia levar os alunos a concluir indevidamente que há movimento de prótons. A solução desse problema demandou mais esforço, eu precisei ler e refletir sobre a eletroscopia — resalto que não conhecia a técnica, nunca tinha tido contato com ela e não a havia estudado na graduação — para chegar a uma solução didática e cientificamente correta. Por fim, foi adotada a explicação do *site* e-física (ensino de física on-line, do Instituto de Física da USP)³¹.

Parte da razão para tais problemas vem da natureza de interface do trabalho; a pesquisa é construída entre a química e a física, e, uma vez que minha formação inicial é em química, é natural que eu precise de ajuda para trabalhar com conceitos da física. O que remete a uma reflexão sobre a

²⁷ Nesta seção, escolhermos algumas vezes nos referir ao mestando na primeira pessoa do singular, pois as dificuldades enfrentadas fazem parte do processo individual de aprendizagem. Ressaltamos também que esse capítulo tem, propositadamente, um caráter mais subjetivo, pois pretendemos relatar angústias, sentimentos, conquistas e frustrações, e ao final, identificar reflexões que possam colaborar para outras pesquisas similares.

²⁸ www.infoescola.com. Acesso em 10 fev 2014.

²⁹ www.brasilestola.com. Acesso em 10 fev 2014.

³⁰ IFUnb. Tubo de Crookes. Disponível em: <www.fis.unb.br/gefis/index.php?option=com_content&view=article&id=115&Itemid=227&lang=PT>. Acesso em 20/09/2014.

³¹ Eletroscópio. Disponível em: <efisica.if.usp.br/eleticidade/basico/fenomenos/eletroscopios>. Acesso em 20/09/2014.

complexidade de se trabalhar na interface de dois campos de conhecimento. Não é trivial tentar abordar um tema, simultaneamente, por duas perspectivas. Também cabe observar que uma das explicações problemáticas (relativa ao tubo de Crookes), embora também concernente à física, é muito próprio da química, o que leva a questionar como um Licenciado em Química deixa passar um erro ligado à sua formação inicial. Não podemos nos furtar a esse debate, consideramos sim natural a dificuldade com conceitos ligados à formação básica. Afina-se muito naturalmente ao nosso discurso e à nossa prática a assunção do professor como um ser (ainda) em formação, portanto, com limitações e falhas, mesmo no tocante ao assunto estudado por quatro anos no curso superior.

No processo de solução dos dois problemas aqui relatados, o papel da orientadora foi fundamental, não apenas ao apontar o erro, mas ao propor caminhos para a correção e por auxiliar no aprendizado do mestrando. Damos como certo a tarefa do orientador de detectar falhas nas formulações do orientando, mas nesse caso, o que deve ser destacado é, dada a natureza de interface da pesquisa, a contribuição de termos formações iniciais distintas, em química e física.

Por fim, esse tipo de desafio mostra um dos “paradoxos” da internet. Quantos conceitos falhos de diferentes tipos vêm sendo propagados e reproduzidos, mesmo por sujeitos bastante escolarizados, como é o caso de um Licenciado em Química? Consideramos que esses exemplos podem servir como advertência prática para fundamentar e lidar com esse tipo de desafio.

Além disso, fica a contribuição para a minha prática como professor. Pretendo continuar usando e indicando sites em minhas aulas, mas tenho a consciência do cuidado que essa estratégia demanda. Cabe ao professor se assegurar da credibilidade e da qualidade didática do material que indica como complemento de aprendizagem.

Também é importante ressaltar que esses dois problemas me ajudaram a ampliar a compreensão a natureza desafiadora de se propor uma abordagem transdisciplinar.

4.3.2 Resistência com o transdisciplinar

No tocante à transdisciplinaridade, também enfrentamos um desafio para afinar nossos pensamentos na prospecção de referenciais.

À medida que eu lia sobre o assunto, delimitava os conceitos de multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade, mas notava também que há pouco consenso entre os pesquisadores da área no que tange à definição dos três conceitos. Por vezes, autores diferentes usavam a mesma definição para se referir à transdisciplinaridade e à interdisciplinaridade, por exemplo, Cardona (2010) e Berti (2007).

Todavia, o maior problema era que alguns autores vinculavam o conceito de transdisciplinaridade a uma reformulação curricular (PIRES, 1998), como se a prática transdisciplinar conduzisse à abolição das disciplinas escolares. Daí minha resistência em usar o termo, temendo a associação a uma reforma cuja análise não é o objetivo desta pesquisa.³²

A mencionada dificuldade de afinação dos pensamentos era a seguinte, enquanto eu ainda me prendia a essa busca por definições, a orientadora considerava a questão da disciplinaridade a partir da análise de propostas didático-metodológicas, como a nossa, ou seja, considerava interdisciplinar uma proposta que intercomunicasse os saberes, mas ainda salientasse suas fronteiras; e considerava transdisciplinar uma proposta que, além de propiciar o intercâmbio entre as áreas, superasse a noção das barreiras entre as disciplinas na abordagem de conceitos.

Só superamos o dissenso, após uma das valiosas reuniões de grupo em que dedicamos um tempo ao final para elaborarmos o conceito que mais se adequava à nossa proposta. Desse modo, chegamos à conclusão que a proposta didático-metodológica apresentada busca uma abordagem transdisciplinar (D'AMBROSIO, 2007), mas pode ser adaptada a um contexto interdisciplinar de acordo com o contexto e a necessidade da escola em que ela for utilizada (e não se vincula com as propostas de reforma curricular).

³² Referimo-nos ao Projeto de Lei 6840/2013, em tramitação na Câmara dos Deputados, que propõe a alteração da organização do Ensino Básico, não mais em disciplinas, mas em áreas de conhecimento. Nossa preocupação é com os professores, que, formados para lecionar uma disciplina, podem ser obrigados a lecionar outras.

4.3.3 Problemas com a controvérsia da continuidade e descontinuidade da matéria

Nos exemplos anteriores, abordamos dificuldades que enfrentamos e superamos no sentido de buscar a consistência interna entre os objetivos da pesquisa e os objetivos da proposta didático-metodológica e entre esses dois grupos de objetivos e as atividades sugeridas na proposta. No entanto, a dificuldade da qual trata essa seção só foi contornada quando percebemos a impossibilidade de abordar a ideia que a originou.

A proposta era aproximar nosso objeto de investigação inicial, a história da radioatividade, da controvérsia sobre a continuidade e descontinuidade da matéria. Em diversos momentos buscamos encontrar nas fontes primárias e secundárias consultadas elementos que justificassem a relação entre a pesquisa com radioatividade e a compreensão da matéria como contínua ou discreta.

O interesse pela aproximação se deu logo no projeto de pesquisa inicial, em que tentávamos inserir tal debate dentro da concepção de matéria dos pesquisadores estudados no episódio da construção do conceito de radioatividade. Nossa hipótese era se para desenvolver o conceito a partir do fenômeno, os primeiros cientistas envolvidos (Röntgen, Poincaré, Becquerel, Marie e Pierre Curie) adotaram uma concepção de matéria como contínua — formada por um único bloco — ou discreta — constituída por infinitos blocos.

A dificuldade se deu, principalmente, pela minha falta de familiaridade com o assunto, uma vez que eu não tinha tido contato com ele na graduação. Também foi um desestímulo não encontrar menções ao posicionamento dos pesquisadores envolvidos nos primeiros estudos sobre radioatividade, quanto à continuidade ou descontinuidade da matéria. Nas fontes secundárias (CORDEIRO & PEDUZZI, 2010; MARTINS, R., 2004, 2012) a controvérsia não é mencionada, e nas primárias (BECQUEREL, 1986; CURIE, 1898; POINCARÉ, 1896) não conseguimos localizar elementos que justificassem argumentar que a concepção de matéria como contínua ou discreta tenha influenciado nas pesquisas e as conclusões iniciais.

No decorrer do primeiro ano de pesquisa, nos aproximamos e nos afastamos seguidamente da abordagem, mas não conseguíamos chegar a

uma decisão definitiva. Só decidimos excluir a abordagem de nossa metodologia quando já estávamos com o texto sobre o recorte histórico pronto e não conseguíamos incorporar a aproximação com o referido debate.

Hoje entendemos, inclusive, que tal inclusão poderia nos ser problemática no sentido de que estenderíamos nossa proposta didático-metodológica para além do adequado ao tempo didático (FORATO *et al.*, 2011, 2012), que abrange mais do que o tempo cronológico necessário para as aulas, levando em conta também o tempo que os alunos necessitam para interiorizar um conjunto de conceitos para além daqueles específicos da física e química, mas também sobre a física e a química, para compreenderem o assunto e alcançarem o nível de discussão epistemológica que propomos.

4.3.4 O uso dos parâmetros

O contato com os parâmetros propostos por Forato (2009)³³, que propõe reflexões sobre a adaptação de conteúdos da HC para o ambiente escolar, teve início antes mesmo do primeiro encontro com a orientadora, quando, pela primeira vez, li sua tese de doutorado. Na ocasião, ainda estava entre as etapas da seleção para o mestrado, ainda um aluno de graduação, assustado com todo aquele aporte teórico, com toda aquela discussão e com a lista de parâmetros, que naquele momento, sugeriam uma lista a ser mantida na cabeceira da cama para ser consultada toda manhã.

No decorrer dos primeiros meses de pesquisa, já em contato constante com a orientadora, e à medida que me ambientava mais à pesquisa, o susto inicial foi cedendo lugar a uma intrigada ansiedade para por em prática “tudo aquilo”, ainda que eu continuasse com dificuldades para relacionar os vinte parâmetros. Intrigava-me pensar em como seria possível por em prática os vinte ao mesmo tempo; inquietava-me planejar a escrita de um recorte histórico, tendo a todo momento, a cada parágrafo, que voltar e correr a lista de parâmetros para verificar se não estava esquecendo de refletir sobre alguma das ponderações propostas.

³³ Descritos no capítulo 3 sobre as metodologias, no Quadro 2 na página 33. Na seção 3.2.2 descrevemos sua aplicação nesta pesquisa.

Demorei meses para entender que já os estava praticando, a cada leitura em que era guiado pela busca de elementos historiográficos, a cada discussão de texto em que via apontado um novo aspecto epistemológico. A primeira dificuldade na utilização dos parâmetros foi perceber que já os utilizava. A maior dificuldade foi, depois de já tê-los utilizado na elaboração dos resumos sobre os episódios históricos e no roteiro das aulas, analisar essa utilização, pautar a cada parâmetro a reflexão suscitada e o resultado alcançado.

Como é esperado, a análise da aplicação dos parâmetros teve várias etapas. Elaboramos uma primeira versão da análise para o relatório de qualificação, depois uma segunda para submeter como recorte para apresentação em congresso, e ainda uma terceira versão para a dissertação. A ocorrência de diversas versões é natural, até necessária, pois os parâmetros acompanham várias etapas da pesquisa, devem ser revistos e revisitados, servem justamente para nortear e avaliar os riscos das escolhas do pesquisador. A cada etapa, sensação de impasse voltava a se manifestar, e ficava clara a dificuldade para analisar a aplicação em novos textos e atividades propostas para as aulas e para reavaliar a aplicação nos materiais anteriores.

Na superação dessa dificuldade se envolveram as leituras e reflexões sobre os parâmetros, e acompanhar sua utilização em outras pesquisas desenvolvidas pelo grupo de pesquisa. Ter contato com trabalhos que passaram por etapas similares na aplicação dos parâmetros ajudou a evidenciar as etapas pelas quais eu já havia passado. É, por outro lado, claro para nós que fosse a pesquisa estendida por mais tempo ou revisitada meses após a defesa, iria requerer um novo processo de análise, e que esse seria tão desafiador quanto os três realizados no decorrer desta pesquisa.

4.3.5 Dificuldades com a divulgação da pesquisa

Durante o mestrado, por vezes tivemos que preparar e submeter recortes de nossa pesquisa para apresentação em congressos e para publicação. Esse trabalho envolve a capacidade de resumir o próprio trabalho, de falar sobre ele em ambientes diversos e, por vezes, descrevê-lo em idiomas diferentes.

Comumente, os eventos oferecem um modelo segundo o qual os pesquisadores devem apresentar seus trabalhos, padronizando de acordo com as preferências dos organizadores. Muitas vezes, esses modelos exigem que toda uma pesquisa seja apresentada em oito ou doze páginas, abrangendo resumo e palavras-chave em dois idiomas e referências bibliográficas.

Um dos momentos de crise pelos quais passei envolveu a seleção de um recorte para submeter para apresentação no X ENPEC (a ocorrer em novembro próximo).

Tínhamos o limite de oito páginas e precisávamos selecionar qual parte dos resultados seria a mais apropriada. Nós nos preocupávamos bastante com a qualidade de nossos recortes. Estávamos selecionando partes dos resultados para apresentar para diferentes públicos; sabíamos que a divisão era uma necessidade da pesquisa, haja vista termos alcançado quatro resultados distintos (os textos dos recortes históricos, o planejamento das aulas e orientação para o professor, a análise dos parâmetros e esta análise das dificuldades enfrentadas), embora fortemente ligados, e uma necessidade dos meios de apresentação, cada um com sua limitação de espaço disponível. O que nos afligia era a possibilidade de tomarmos parte do produtivismo acadêmico vazio, que divide as pesquisas em inúmeras pequenas doses inócuas e semi-irrelevantes, com a finalidade de engordar o currículo Lattes.

Escolhemos, então, para o ENPEC uma análise sobre nossa aplicação dos parâmetros (de Forato, 2009), um dos pilares teórico-metodológicos da pesquisa. Vínhamos trabalhando com os parâmetros desde o início e já havia uma primeira versão de sua análise no relatório de qualificação, mas não havíamos ainda apresentado fora do nosso grupo de trabalho.

Outro momento de crise ocorreu entre dezembro de 2014 e janeiro de 2015, quando tivemos a oportunidade de escrever um capítulo sobre a

proposta didático-metodológica que construímos. Esse capítulo foi publicado em um livro que reúne propostas similares, elaborada por pesquisadores da área de Ensino de Ciências, na perspectiva da historiografia contemporânea (MARTINS, R., 2001; PORTO, 2010)³⁴.

Tínhamos que apresentar a proposta didática em apenas dez páginas. Assim, o desafio inicial foi o que selecionar; sabíamos que não seria possível relatar a proposta completa, com os textos para os alunos, a orientação metodológica para o professor e a síntese das aulas. Primeiramente, tentamos resumir em um quadro a síntese de todas as aulas e transcrever a íntegra de todos os textos que elaboramos para serem usados pelos alunos, porque entendíamos que eram esses textos que representavam melhor a metodologia didática e o enfoque historiográfico que utilizamos. Não conseguimos, entretanto, nos ater ao limite de páginas e tivemos que buscar outra estratégia.

Tentamos, então, um modelo em que enfatizávamos as orientações metodológicas da proposta, mas ainda conservávamos a parte principal de nossos textos, o relato do período inicial da pesquisa com radioatividade, de 1895 a 1903. Nada feito. O melhor que conseguimos com essa alteração foi um total de dezesseis páginas, seis a mais que o limite. Eu, particularmente, passei por um processo de crise, pois não queria perder a oportunidade da publicação que divulgasse o trabalho, nem, muito menos, deixar de fora uma parte importante do recorte que havíamos escolhido. Para adequar nosso trabalho ao modelo, uma grande parte do que construímos deveria ficar de fora. Tendo a visão global da nossa proposta didático-metodológica, era muito difícil aceitar que apenas uma de suas partes, fossem os textos que elaboramos para os alunos ou o planejamento para o professor, pudesse retratar toda a pesquisa.

Também fez parte desse evento a dificuldade para sintetizar as ideias construídas durante o mestrado. Minha capacidade de resumir partes da proposta se mostrou ineficiente e precisou ser exercitada.

Por fim, depois de catorze versões, dezenas de e-mails, muitas dúvidas, de repensarmos a proposta toda e reavaliarmos a aplicação dos parâmetros,

³⁴ GOMES, T. G.; FORATO, T. C. M. Marie Curie e as emissões radioativas: uma proposta para a sala de aula. In: A. P. B. Da Silva & A. Guerra (orgs). *História da ciência e Ensino: Fontes Primárias e propostas para sala de aula*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015, p. 253-264.

conseguimos chegar a um resultado dentro do limite que fosse condizente com nossos pressupostos teórico-metodológicos e fiel aos resultados dessa pesquisa. O capítulo como publicado relata apenas a terceira aula da proposta, com as orientações metodológicas, os textos didáticos, o quadro com toda a sequência (para localizar aquela aula em um contexto maior) e orientações para discussões metacientíficas daquela aula.

Só conseguimos chegar ao modelo em que propomos, ao fim de cada aula ou de cada texto, duas ou três questões para serem debatidas ou respondidas pelos alunos para arrematar as reflexões metacientíficas por causa da crise que enfrentamos na elaboração desse recorte da pesquisa. Essa pode ser considerada a maior contribuição desse episódio para a pesquisa, além do exercício da capacidade de síntese e da consequente divulgação.

Ambos os momentos de crise forçaram importantes reflexões e levaram ao amadurecimento da pesquisa. Ajudaram a repensar alguns pontos em separado e globalmente, considerando todo o trabalho; constituindo um momento decisivo entre as etapas do exame de qualificação — elaboração do relatório, o exame em si e as primeiras correções e adequações sugeridas pela banca — e a preparação da dissertação propriamente.

Acreditamos, também, que esses dois episódios refletem a dificuldade em organizar e formalizar recortes da pesquisa para apresentação em um formato predeterminado, que nos obriga a repensar etapas metodológicas, refletir sobre os resultados e voltar a analisar o todo, contribuindo não só para divulgação do nosso trabalho, e para divulgação da área, mas também se configura como valorosas e sofridas etapas do desenvolvimento da pesquisa.

4.3.6 Dificuldade na proposição das aulas

Uma parte importante da construção da proposta didático-metodológica é a proposição de aulas, que envolve a seleção do conteúdo científico e metacientífico, de atividades apropriadas, dos textos e suportes didáticos alternativos (vídeos, simuladores, etc). Para ajudar nessa tarefa, tínhamos os parâmetros, que ofereciam subsídios para a reflexão sobre quais conteúdos

abordar, sobre a profundidade e quantidade dos textos e sobre a utilização de suportes diversificados.

É sabido, por outro lado, que também faz parte da proposição das aulas avaliar a quantidade de conteúdo selecionado para cada aula, como mesclar diferentes estratégias didáticas com naturalidade, compondo uma aula em que as diferentes atividades se completem, que tenham ligação umas com as outras, que não pareçam um amontoado de tarefas distribuídas sem critério.

Nessa tarefa a experiência em sala de aula fez muita falta.

Durante a graduação só tive contato com a Escola Básica nos momentos de estágio e por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID) — em que o pibidiano tem oportunidade de participar dos fazeres escolares, mas de modo diferente do vivenciado pelo professor propriamente dito. No subprojeto de Química da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, do qual eu fiz parte entre 2010 e 2013, os pibidianos acompanhavam, em grupo de três ou quatro, o dia a dia do professor supervisor, na preparação de aulas e avaliações, sala de aula, no laboratório e no planejamento de atividades como feira de ciências; auxiliando-o e, em alguns momentos, protagonizando algumas ações educacionais, como elaboração, aplicação e correção de provas, ou organizando mostras de experimentos e palestras.

No último semestre da graduação eu já prestava o processo seletivo para o mestrado, e me formei já com a aprovação neste processo, de modo que, pouco tempo depois de finalizar a graduação, dei início ao mestrado. Uma vez no mestrado, fui contemplado com a bolsa da CAPES, e me dediquei exclusivamente à pesquisa. Essa formação poderia ser a ideal para vários profissionais, mas para o pesquisador em educação científica, deixa, a meu ver, uma lacuna sensível: a falta de experiência em sala de aula.

Esse fator dificultador se reflete no desenvolvimento da pesquisa na forma de um entrave na elaboração de cada aula, de uma angústia maior ao se refletir sobre a pertinência de cada atividade proposta. Faltava-me um balizador para as ideias que me ocorrem, por vezes tive que recorrer à orientadora para checar se certas proposições eram ingênuas ou oportunas. Durante o processo, boas ideias podem ter se perdido, descartadas antes de poderem ser avaliadas pela orientadora.

A superação deste obstáculo envolveu reflexão, leitura, conversas com a orientadora e a participação do grupo de pesquisa³⁵ em que diferentes pesquisadores, entre os quais, outros mestrandos, professores universitários, graduandos e professores da Educação Básica contribuíram com a pesquisa, ajudando a contornar a falta de experiência, oferecendo pontos de vista diferentes e referendando proposições. Foi através do grupo que eu pude contornar minha falta de experiência, usufruindo da riqueza de experiência variadas dos companheiros de pesquisa.

Todos os entraves encontrados forçaram a reflexão, mobilizaram energia e tempo, nos desviaram da rota predefinida de pesquisa, conduziram a uma reavaliação de todo o trabalho. Esse esforço deu uma nova dimensão à pesquisa.

Algumas dessas questões que demandaram nossa atenção podem ser de interesse em outras pesquisas e para outros professores, como: toda a questão de disciplinaridade, que precisa ser cautelosamente analisada no âmbito da formação de professores; o como lidar a dificuldade com o conhecimento específico de formação, seja químico ou físico, de um licenciado; os mecanismos de divulgação dos trabalhos acadêmicos; e a investigação sobre a controvérsia da continuidade/descontinuidade da matéria na pesquisa inicial com radioatividade.

Algumas de nossas conclusões são apontadas no próximo capítulo.

³⁵ Grupo de pesquisas e estudos em História e Filosofia das Ciências no Ensino de Ciências e Matemática HSSE (acrônimo de *History of Science on Science Education*, escolhido em inglês devido à inserção internacional do grupo, por meio do diálogo e parceria com pesquisadores estrangeiros), criado em 2011 e do qual participam professores da escola básica, docentes da universidade, estudantes de pós-graduação, de iniciação científica, bolsistas e ex-bolsistas do PIBID, compondo um grupo em que dialogam as áreas de Ensino de Física, Química, Biologia e Matemática.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em vinte e cinco meses de pesquisa pudemos refletir sobre vários temas importantes para um professor de química ou física. Partindo de um interesse pré-existente sobre a utilização da História da Ciência na Educação Científica, nos aprofundamos no estudo do fazer historiográfico, seus métodos, dilemas consensos e dissensos. Sobre a história da radioatividade tivemos contato com pesquisadores que dedicaram décadas para investigar o período inicial de estudos com o tema; tomamos conhecimento de novas interpretações e revimos passagens já conhecidas.

Expericiamos o desafio de elaborar uma proposta didático-metodológica cuja aplicação não seria feita antes da escrita desta dissertação. Digladiamos com limitações individuais, com ideias divergentes e com nosso próprio aprendizado. Tivemos, ora forçosamente, ora voluntariamente, que rever nossos posicionamentos e certezas.

Aproveitamos a oportunidade para tocar em temas sensíveis e até polêmicos, como a reformulação curricular e a formação de professores. Acreditamos que a questão disciplinar precisa ser pensada mais profundamente, mas discordamos que seja a solução romper com a organização curricular vigente, delegando aos professores tarefas para as quais eles não foram preparados. É importante, por outro lado, desconstruir certezas como a que leva a presumir que um licenciado domina completamente o campo do saber que está habilitado a ensinar; e até mesmo questionar qual a melhor formação para o pesquisador em Ensino de Ciências, no que se refere à experiência em sala de aula. O pesquisador precisa ter experiência no ambiente sobre o qual pretende produzir conhecimento? Quem pretende desenvolver propostas didáticas precisa ter experiência em sala de aula?

Dentre os desafios que enfrentamos, cabe ressaltar a proposição das aulas, que envolveu seleção de conteúdos e de estratégias que atendessem aos objetivos educacionais da proposta — estes, definidos com a ajuda dos parâmetros de Forato (2009). Nessa tarefa buscamos abordar o evento do início da pesquisa com radioatividade e algumas das implicações dessa tecnologia, mobilizando leitura e discussão por parte dos alunos, e

disponibilizando, aos professores que vierem a utilizar a proposta fruto desta pesquisa, atividades didáticas com naturezas distintas.

Fizemos a escolha consciente de propor uma alta carga de leitura. Essa decisão não deixou de levar em conta a resistência que os adolescentes têm em relação à leitura e sua dificuldade na interpretação de textos. Preocupamo-nos, na escrita dos textos a serem disponibilizados para os alunos (Apêndices), em sugerir leituras curtas a cada atividade, proporcionando uma atividade de leitura constante, mas facilitada. No processo de escrita procuramos o equilíbrio entre a clareza na apresentação das ideias e a fartura de indícios e argumentos referentes ao relato histórico da investigação do fenômeno radioativo; e entre o uso de linguagem próxima ao coloquial e da linguagem científica, procurando não abrir mão de uma especificidade da ciência, mas habilitar os alunos em sua compreensão e utilização.

A partir de nossas hipóteses iniciais, verificamos a possibilidade de uma abordagem alternativa para o tema da radioatividade no Ensino Médio, priorizando conceitos científicos e o conteúdo metacientífico; obtendo como resultado uma proposta didático-metodológica com tal enfoque, em perspectiva historiográfica e a análise da elaboração dessa proposta. Defendemos que a proposta construída pode ser utilizada na Escola Básica nas disciplinas de química e física, e que a análise que fizemos do processo, composta pela análise das dificuldades (sessão 4.3) e pela reflexão da utilização dos parâmetros de Forato (2009) (sessão 3.2.2), pode subsidiar e inspirar outros pesquisadores que se interessem pelo tema.

Trabalhamos com ferramentas que foram importantes para o percurso e para os resultados desta pesquisa, como os parâmetros de Forato (2009) para adaptação da história da ciência para a sala de aula. Lidar com os parâmetros exigiu esforço e dedicação, mas por causa da intensa e constante reflexão, conseguimos adaptar ao contexto do Ensino Médio o que há de mais atual nas releituras e reinterpretações sobre os recortes históricos.

Ainda restam ideias inexploradas no cenário da pesquisa, naturalmente, elas ficaram para os desdobramentos, como a avaliação da proposta em diferentes contextos e algum aprofundamento na análise sobre as limitações e os obstáculos encontrados.

Não conseguimos, nem pretendíamos, esgotar a potencialidade dos temas com os quais trabalhamos, mas conseguimos realizar o que propusemos no projeto de pesquisa, testar e verificar hipóteses e indicar possibilidades para desdobramentos desta pesquisa; de modo que ao olhar para trás e analisar o avanço atingido em pouco mais de dois anos de mestrado, ficamos deveras satisfeitos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-EL-KHALICK, F. Nature of Science in Science Education: Toward a Coherent Framework for Synergistic Research and Development. In: Fraser, B.J.; Tobin, K.G.; McRobbie, C.J. (Eds.), *Second International Handbook of Science Education*. V. 24, Part 2, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, p. 1041-1060, 2012.
- ABREU, R. G.; LOPES, A. C. A Interdisciplinaridade e o Ensino de Química: Uma leitura a partir das políticas de currículo. In: *Ensino de Química em Foco*. Ijuí: Ed. Ijuí, 2010.
- ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education*, 13: 179-195, 2004.
- ANDRADE, R. R. D.; NASCIMENTO, R. S.; GERMANO, M. G. Influências da física moderna na obra de Salvador Dalí. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. v. 24, n3, p. 400-423, 2007.
- ARAÚJO, C.; PINTO, E. M. F.; LOPES, J.; PINTO, R. *Estudo de Caso*. Disponível em < http://grupo4te.com.sapo.pt/estudo_caso.pdf>. Acesso em: 21 set 2015.
- BARP, E. Contribuições da História da Ciência para o Ensino da Química: uma proposta para trabalhar o tópico radioatividade. In: *IV Jornada de História da Ciência e Ensino: propostas, tendências e construção de interfaces*. Atas... Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2013.
- BECQUEREL, H. Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescent. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* 122: 501-3, 1896.
- BERMAN, M. *Tudo que é Sólido Desmancha no Ar*. São Paulo: Companhia das Letras. 1986.
- BERTI, V. P. *Interdisciplinaridade: um conceito polissêmico*. Dissertação (mestrado) – USP, São Paulo, 2007.
- BRASIL. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio*. Brasília: MEC; SEMTEC, 1999.
- _____. *Orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais: ensino médio (PCN+)*. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002.
- BOGDAN, R., BIKLEN, S. *Investigação Qualitativa em Educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. Porto: Porto Editora, 1994.
- BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da Transposição Didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna?. *Investigações em Ensino de Ciências* (Online), <http://www.if.ufrgs.br/public/>, v. 10, n.3, p. 387-404, 2005.
- CACHAPUZ, A.; PAIXÃO, F.; LOPES, J. B.; GUERRA, C. Do Estado da Arte da Pesquisa em Educação em Ciências: Linhas de Pesquisa e o Caso “Ciência-Tecnologia-Sociedade”. *Alexandria - Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v.1, n.1, p. 27-49, mar. 2008.

- CARDONA, F. *Transdisciplinaridade, Interdisciplinaridade e Multidisciplinaridade*. 2010. Disponível em: <<http://www.webartigos.com/artigos/transdisciplinaridade-interdisciplinaridade-e-multidisciplinaridade/34645/#ixzz1J905i8WH>>. Acesso em 22 jan 2015.
- CARDOSO, M.; RODRIGUES, M. L. L.; FORATO, T. C. M. As quatro Leis de Lamarck em seu contexto histórico: construção de uma proposta para a sala de aula. *Revista de Ensino de Biologia da Associação Brasileira de Ensino de Biologia*. Número Especial: *Repensando a experiência e os novos contextos formativos para o Ensino de Biologia (IV Enebio e II Erebio Regional 4)*. 5: 1-9, setembro de 2012.
- CARMO, V. A. *Episódios da história da biologia e o ensino de ciências: as contribuições de Alfred Russel Wallace*. . Dissertação. (Mestrado) – USP, São Paulo, 2011.
- CHASSOT, A. I. Raios X e radiatividade. *Química Nova na Escola*, São Paulo, v. 1, n.2, p. 19-22, 1995.
- 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, p. 473-514, 2010.
- CURIE, E. *Madame Curie*. Trad. Monteiro Lobato. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1941.
- CURIE, M. S. Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium. *Comptes Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* 123: 1101-3, 1898.
- D'AMBROSIO, U. Educação para compatibilizar desenvolvimento e sustentabilidade. *Desenvolvimento e meio ambiente*, n. 15, p. 11-20, 2007.
- ERICSON, F. Qualitative research methods for science education. In: Fraser, B.J. e Tobin, K.G. (Orgs.), *International Handbook of Science Education*, Part One, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- FORATO, T. C. de M. A Filosofia Mística e a Doutrina Newtoniana: uma discussão historiográfica. *ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia* 1 (3): 29-53, 2008.
- _____. *A Natureza da Ciência como Saber Escolar :um estudo de caso a partir da história da luz*. Tese de Doutorado em Educação. São Paulo: FEUSP, 2009. 2vols.
- _____; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. de A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. v. 28, p. 27-59, 2011.
- _____. Enfrentando Obstáculos na Transposição Didática da História da Ciência para a Sala de Aula. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H (Org.). *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino*. Natal: EDUFRN, 2012.
- GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALIS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação* 7

- (2): 125-153, 2001.
- GOMES, J. L. A. M. C. Conceito de Calor: contexto histórico e proposta para a sala de aula. Dissertação de Mestrado. Campina Grande: UEPB, 2013.
- GOMES, L. 1889: Como um imperador cansado, um marechal vaidoso e um professor injustiçado contribuíram para o fim da Monarquia e a Proclamação da República no Brasil. São Paulo: Globo, 2013.
- HÖTTECKE, D; SILVA, C. Why implementing History in philosophy in school science education is a challenge: an analysis of obstacles. *Science & Education*, 293-316. 2010.
- KAWAMURA, M. R. D., HOUSOME, Y. A Contribuição da Física para um Novo Ensino Médio. *Revista Física na Escola*, v. 4, p. 22-27, 2003.
- LEDERMAN, N. G. Nature of science: past, present, and future. In: ABELL, S.K.; LEDERMAN, N.G. (Eds.), *Handbook of research on science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, p. 831-880, 2007.
- LEME, M. A. A. *Investigação das concepções de licenciados em química sobre a história da ciência*. Dissertação. (Mestrado) – USP, São Paulo, 2008.
- LIMA, R. da S., AFONO, J. C., PIMENTEL, L. C. F. Raios-x: fascinação, medo e ciência. *Química Nova*, V. 32, nº 1, p. 263-271, 2009.
- MARTINS, A. F. P. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 24 (1): 112-131, 2007.
- MARTINS, L. P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. *Ciência e Educação* (UNESP), São Paulo, v. 11, n.2, p. 305-317, 2005
- MARTINS, R. de A. Como Becquerel não Descobriu a Radioatividade. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 7, p. 27-45, 1990.
- _____. Como não escrever sobre história da física - um manifesto historiográfico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 23, n.1, p. 113-129, 2001.
- _____. As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, v. 1, n.1, p. 29-41, 2003.
- _____. Hipóteses e interpretação experimental: a conjectura de Poincaré e a descoberta da hiperfosforescência por Becquerel e Thompson. *Ciência e Educação* (UNESP), São Paulo, v. 10, n.3, p. 501-516, 2004.
- _____. Introdução: a história da ciência e seus usos na educação. In SILVA, C. C. (Org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.
- _____. *Becquerel e a descoberta da radioatividade: uma análise crítica*. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2012.
- MARTORANO, S.; FORATO, T. C. de M. Avaliando a Abordagem Histórica de uma Proposta Didática para a Formação Continuada de Professores de Química do Ensino Médio. In: II Congresso Internacional de Educação em

- Ciências, 2014, Foz do Iguaçu. *Anais do II Congresso Internacional de Educação em Ciências*, v. 15. p. 155-155, 2014.
- MATTHEWS, M. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, nº 3, p. 164-214, 1995.
- McCOMAS, W.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. P. The nature of science in science education: an introduction. *Science & Education* 7: 511-532, 1998.
- MEDEIROS, A.; BEZERRA FILHO, S. A Natureza da Ciência e a instrumentação para o ensino de Física. *Ciência & Educação*. Volume 6, número 2, p. 107-117, 2000.
- MEDINA, M.; BRAGA, M. O teatro como ferramenta de aprendizagem da física e de problematização da natureza da ciência. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 27, n. 2, p. 313-333, 2010.
- MERÇON, F.; QUADRAT, S. V. A Radioatividade e a História do Tempo Presente. *Química Nova na Escola*, São Paulo, v. 19, p. 27-30, 2004.
- MORAIS, A. V.; GUERRA, A. História e a filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas física moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física* (Impresso), v. 35, p. 01-09, 2013.
- MOREIRA, I. C. Poesia na sala da aula de ciências? A literatura poética e possíveis usos didáticos. *Física na Escola*, v. 3, n.1, 2002.
- MOURA, B. A. *Formação crítico-transformadora de professores de Física: uma proposta a partir da História da Ciência*. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, 2012.
- MOZENA, E. R. Investigando enunciados sobre a interdisciplinaridade no contexto das mudanças curriculares para o Ensino Médio no Brasil e no Rio Grande do Sul. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.
- NICOLESCU, B. Um novo tipo de conhecimento – Transdisciplinaridade. In: *Educação e Transdisciplinaridade*, NICOLESCU, B. (org.), Brasília: UNESCO, (13-29), 2000.
- OLIVEIRA, C. F.; DIJHINGA, E. A.; SAUER, E.; NEVES, M. C. D.; SILVEIRA, R. M. C. F. Sequência Didática: radioatividade no ensino de química com enfoque CTS. In: *Anais do IV Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia*, Ponta Grossa, 2014.
- PACCA, J. L. A.; VILLANI, A. La competencia dialógica del profesor de ciencias en Brasil. *Enseñanza de las Ciencias*, Espanha, v. 18, n.1, p. 95-104, 2000.
- PAGLIARINI, C. R. *Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física da Universidade de São Paulo/São Carlos, 2007.
- PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLA, M. (Org.). *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora*. Florianópolis: Editora da UFSC; p. 131-170, 2001.

- PEREIRA, A. K. S.; FORATO, T. C. de M. Controvérsias históricas na sala de aula: o princípio da conservação da energia. In: XIV Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física -EPEF, 2012, Maresias. *XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física - EPEF. Atas...* São Paulo: SBF, v. 1, p. 1-9, 2012.
- PIRES, M. F. de C. *Multidisciplinaridade, Interdisciplinaridade e Transdisciplinaridade no Ensino*. Debates, São Paulo, n. , p.173-182, 1998.
- PITOMBO, L. R de M.; LISBÔA, J. F. Sobrevivência humana – um caminho para o desenvolvimento do conteúdo químico no Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, nº 14, p. 31-5, 2001.
- POINCARÉ, H. Les rayons cathodiques et les rayons Röntgen. *Revue Générale des Sciences* 7:52-9, 1896.
- PORTO, P. A. História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. *Ensino de Química em Foco*. Ijuí: Unijuí, 2010. p. 158-180.
- _____. Augusto dos Anjos: ciência e Poesia. *Química Nova na Escola*, São Paulo, v. 11, p. 30-34, 2000.
- PULIDO M. D.; SILVA A. N. Do calórico ao Calor: uma proposta de ensino de Química na perspectiva histórica. *História da Ciência e Ensino*. 2011.
- REIS, J.C.; GUERRA, A.; BRAGA, M.. 2006: Ciência e arte, relações improváveis? *História, ciências, saúde, - Manguinhos*. V. 13 – suplemento. P. 71-87, 2006.
- SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, R. J. A Energia e a Química. *Química Nova na Escola*, São Paulo, v. 8, p. 19-22, 1998.
- SANTOS, M. E. Encruzilhadas de mudança no limiar do século XXI: co-construção do saber científico e da cidadania via ensino CTS de ciências. In: II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. *Atas...* 1999, Valinhos.
- SILVA, C. C. (Org.) *Estudos de história e filosofia das ciências. Subsídios para aplicação no Ensino*. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2006.
- SILVA, J. L. P. B. ; CUNHA, M. B. M. . O modelo atômico quântico em livros didáticos de química para o ensino médio. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009, Florianópolis. VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009.
- SIQUEIRA, M. R. P. *Do visível ao invisível: uma proposta de física de partículas elementares para o Ensino Médio*. 2006. 257 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- STRATHERN, P. *Curie e a Radioatividade em 90 minutos*. Trad. Maria L. X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2000.
- VALENTE, L.; BARCELLOS, M. E.; SALEM, S.; KAWAMURA, M. R. Física Moderna no Ensino Médio: Expectativas e Tendências. In: *Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Atas...* Florianópolis,

2007.

VÁZQUEZ-ALONSO, A., MANASSERO-MAS, M. A., ACEVEDO-DÍAZ, J. A., ACEVEDO-ROMERO, P. Consensos sobre a Natureza da Ciência: a ciência e a tecnologia na sociedade. *Química Nova na Escola*, nº 27, fev 2008, p. 34-50.

ZANETIC, J. Física e arte: uma ponte entre duas culturas. In: VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2002. *Atas...* Águas de Lindóia, 2002.

_____. Física e literatura: construindo uma ponte entre as duas culturas. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, v. 13, p. 71-87, 2006.

APÊNDICES

Apresentamos como apêndices os nove textos indicados como material didático para os alunos nas aulas da proposta didático-metodológica. Desses nove textos, quatro foram elaborados por nós integralmente, a partir de fontes primárias e secundárias da história da radioatividade (Textos 3, 4, 5 e 6); quatro outros foram adaptados a partir de artigos, livros e sites (Textos 1, 2, 8 e 9); e um é de autoria de outra pesquisadora (Texto 7).

Os Textos 1 e 2 se dedicam à análise do poema *A Rosa de Hiroshima*, constituindo interpretações de perspectivas opostas sobre o bombardeio nuclear. Nosso objetivo de fornecer informações de fontes diferentes e levar ao confronto de ideias.

Os Textos 3, 4, 5 e 6 compõem um recorte do momentos histórico do início da pesquisa com radioatividade, entre 1895 e 1903, período em que houve os primeiros contatos com o fenômeno e a construção de sua definição.

O Texto 7 é um artigo oriundo de uma pesquisa de mestrado que investigou o acidente radiológico com o cézio-137 em Goiânia, na década de 1980. Partindo da ideia de explorar o evento em nossa proposta didático-metodológica, procurávamos por referências e encontramos a dissertação que deu origem ao artigo. Após a leitura, ficamos muito interessados e encontramos também o artigo. Preferimos então sugerir a atividade de encenação do evento com base no artigo, uma vez que já existia uma pesquisa recente sobre o tema.

Por fim, os Textos 8 e 9 tratam de aplicações da radioatividade, na medicina e na geração de energia.

Apresentamos, a seguir, os textos na ordem em que têm as leituras sugeridas a cada aula, mesmo que isso desrespeite a ordem cronológica dos eventos descritos.

APÊNDICE 1

Texto 1: Hiroshima³⁶

Foram os cientistas, os políticos ou os militares os responsáveis pela bomba atômica?

O poeta e compositor Vinícius de Moraes (1913-1980) esteve vinculado à segunda fase do modernismo brasileiro, que foi marcada por um questionamento da realidade e por uma literatura mais politizada. Tal postura se reflete no poema *A Rosa de Hiroshima*, para compreendê-lo melhor, passemos a um relato do momento histórico em que este foi escrito.

A maioria dos historiadores defende que o desfecho da Segunda Guerra Mundial (1939-1945), o bombardeio nuclear nas cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki, foi um ato vazio, de mera agressão e demonstração do poderio militar dos Estados Unidos.

O desenvolvimento de armamentos nucleares que deu origem ao projeto Manhattan, responsável pelas bombas que atingiram o Japão em agosto de 1945, iniciou-se na Alemanha Nazista. Os cientistas alemães estudavam a capacidade de fissão nuclear e a partir dela a possibilidade de uma bomba muito mais potente do que as conhecidas até então.

O movimento contrário, nos EUA, começou com um grupo de físicos judeus que, temendo o poder nuclear em mãos nazistas, convenceu Einstein a interceder junto ao governo norte americano no sentido de desenvolver uma bomba nuclear antes a Alemanha. O projeto Manhattan foi, então, iniciado, como uma tentativa de não deixar em mãos nazistas tamanho poder de destruição, e logo ultrapassou os marcos de toda a história militar até então, como o maior e mais caro empreendimento bélico.

Com a rendição alemã em 7 de maio de 1945, o governo americano tinha em suas mãos três bombas nucleares quase prontas, e foi pressionado pelo exército a não interromper o projeto. Nas fases subsequentes, a bomba Trinity foi testada no deserto do Novo México, nos Estados Unidos, e mostrou aos cientistas e oficiais do exército envolvidos o poder de destruição da bomba.

³⁶ Texto adaptado por Tauan Gomes a partir de MOURÃO, R. R. de F. Hiroshima e Nagasaki: razões para experimentar a nova arma. *Scientiae Studia*, v. 3, n. 4, p. 683-710, 2005, e do site <http://educador.brasilescola.com/estrategias-ensino/a-analise-poema-rosa-hiroxima.htm>, em 21 de janeiro de 2014.

No dia 6 de agosto de 1945, após seis meses de intenso bombardeio em 67 outras cidades japonesas, a cidade de Hiroshima foi completamente destruída pela bomba nuclear chamada *Little Boy*. Segundo relatos de testemunhas e sobreviventes, o primeiro efeito da explosão foi uma bola de fogo de 1 km de diâmetro, resultante da energia térmica liberada na atmosfera. Durante intermináveis segundos, o calor de vários milhões de graus pairou sobre a cidade, tudo num raio de 1 km do epicentro da explosão foi vaporizado e reduzido a cinzas; até 4 km os prédios e os seres humanos sofreram combustão instantânea; e em 8 km as pessoas sofreram queimaduras de terceiro grau. Após o calor uma onda de choque, gerada pela pressão devida à expansão dos gases, progrediu a uma velocidade de 1000 km/h, como um muro de ar sólido. Dos 90 mil prédios da cidade, 62 mil foram completamente destruídos. Por fim, houve o efeito da radioatividade espalhada pela explosão, que provocou câncer, mutações e outras doenças, disseminando um terror ainda maior, porque só se manifestou dias, meses e até mesmo anos após o bombardeio.

O ataque resultou na morte de mais de 140 mil pessoas, no desenvolvimento de enfermidades entre os sobreviventes (queimaduras, cegueira, surdez, câncer) e desastres ambientais (devastação da vegetação, chuvas ácidas, que causaram a contaminação de rios, lagos e plantações). Alguns trechos do poema remetem às consequências dessa exposição, como em “Cegas inexatas”; “Rotas alteradas” “rosa hereditária”.

Essa demonstração seria um prelúdio da Guerra Fria, pois já em 1945 os Estados Unidos iniciavam um confronto ideológico com a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). As explosões nucleares e suas consequências devastadoras levaram o Império do Japão à rendição incondicional em 15 de agosto de 1945, ao fim da II Guerra Mundial e ao início da Guerra Fria, período caracterizados pela corrida armamentista e crescimento dos arsenais nucleares ao redor do mundo.

APÊNDICE 2

Texto 2: Paz Nuclear³⁷

Você entraria em uma briga com seu vizinho faixa preta em caratê? E se você fosse faixa preta em jiu-jitsu?

O poeta e compositor Vinícius de Moraes (1913-1980) esteve vinculado à segunda fase do modernismo brasileiro, que foi marcada por um questionamento da realidade e por uma literatura mais politizada. Tal postura se reflete no poema *A Rosa de Hiroshima*, para compreendê-lo melhor, passemos a um relato do momento histórico em que este foi escrito.

Alguns historiadores defendem uma interpretação que libra o ocidente de boa parte da culpa pelo bombardeio às cidades japonesas. Segundo eles, em julho de 1945 a Segunda Guerra Mundial terminava; na Europa, Hitler e Mussolini já estavam mortos e, no Pacífico, os americanos haviam derrubado as defesas japonesas. Faltava invadir o território central do Japão. No dia 18 de junho, o presidente americano Harry Truman recebeu a estimativa de mortes que essa operação causaria, cerca de 70 mil vítimas americanas e em pelo menos cinco vezes mais entre o inimigo. Então, o presidente Truman resolveu usar uma nova tecnologia.

Ao decidir pelos ataques nucleares contra Hiroshima e Nagasaki, Truman poupou boa parte do povo japonês. É razoável estimar que, se houvesse uma operação anfíbia rumo a Tóquio, morreriam muito mais japoneses que as cerca de 200 mil vítimas das bombas atômicas. Só na invasão ao arquipélago de Okinawa, pelo menos 100 mil civis morreram, além de 70 mil soldados. Depois dessa derrota, prevendo o próximo passo dos americanos, o exército japonês guardava 10 mil aviões camicases, preparava cerca de 800 mil soldados e instruía mulheres e crianças a lutar até a morte com facas e espadas.

O país ainda teria de se defender das tropas soviéticas, que talvez tentassem conquistar Tóquio antes dos americanos, como aconteceu em Berlim. O Japão tinha na época uma população do tamanho da alemã – cerca de 70 milhões. Caso sofresse uma invasão americana e soviética ao mesmo

³⁷ Texto adaptado por Tauan Gomes a partir de NARLOCH, L. *Guia Politicamente Incorreto da História do Mundo*. São Paulo: Leya, 2013.

tempo, provavelmente teria também o mesmo destino da Alemanha, que perdeu cerca de 7 milhões de pessoas. Mas no fim do conflito as mortes de japoneses ficaram na casa dos 3 milhões.

Depois dos ataques nucleares ao Japão, mas, sobretudo, depois que a União Soviética e os Estados Unidos fizeram testes com bombas de hidrogênio, três mil vezes mais potentes que a de Hiroshima, se tornou razoável acreditar num fim do mundo causado pelo homem.

Em 1983, o filme *O Dia Seguinte* cristalizou o sentimento ao mostrar cidades e cidadãos americanos derretendo diante de cogumelos atômicos. Por que nada disso aconteceu? Talvez justamente por causa das bombas atômicas. Elas introduziram no jogo a certeza de destruição mútua: quem atacasse sabia que estaria ao mesmo tempo se destruindo, ao provocar uma retaliação devastadora. Esse poder de intimidação não só evitou um grande conflito entre os Estados Unidos e a União Soviética, mas entre disputas locais, como a Índia e o Paquistão, que construíram suas armas nucleares, respectivamente, em 1974 e 1998. “As armas nucleares fazem o custo de uma guerra parecer assustadoramente alto”, escreveu o cientista político Kenneth Waltz, que foi o principal defensor da tese da paz nuclear. “E, assim, desencorajam os estados de começar qualquer conflito que possa envolver esses armamentos.”

Quando duas nações rivais possuem a bomba, ela aumenta a segurança dos países ao diminuir a duração e o tamanho dos conflitos. O medo de uma guerra atômica dá mais incentivos para políticos e diplomatas negociarem acordos e darem um fim breve ao conflito. Foi assim em 1999, quando a Índia e o Paquistão travaram a Guerra de Kargil, até hoje a única entre duas potências nucleares. Logo depois dos primeiros tiros, a comunidade internacional pressionou os dois governos para que entrassem num acordo. A pressão envolveu o presidente americano da época, Bill Clinton, que telefonou para os chefes de governo pedindo uma negociação. A guerra acabou em menos de dois meses.

APÊNDICE 3

Texto 3: O contexto e o novo problema ³⁸

Como podemos estudar o invisível? Como lidar com uma tecnologia desconhecida? O que era tecnologia de ponta em 1890?

No ocaso do revolucionário século XIX o mundo passava por transformações e embasbacava-se com as próprias mudanças. O século se iniciara com as tumultuadas Guerras Napoleônicas e em seu decorrer fora instaurada a plácida Era Vitoriana. Neste período pós-revolução industrial, os grandes acontecimentos científicos, artísticos e políticos concentram-se na Europa; é um momento em que o mundo se urbaniza e novas tecnologias se sobrepõem, criando um novo cenário, descrito por Berman (1986, p. 12) como *“uma paisagem de engenhos a vapor, fábricas automatizadas, ferrovias, amplas novas zonas industriais; prolíficas cidades que cresceram do dia para a noite”*. Há uma aceleração no desenvolvimento e na institucionalização das ciências (exatas e naturais, mas também nas humanas e sociais). No final do século, no Brasil, finda o longo período escravocrata e cai a mais republicana das monarquias (GOMES, L., 2013).

Paralelamente, iniciam-se os estudos em um novo ramo da ciência, um ramo que será central no século XX, nas salas de aula e nos laboratórios, mas também nos gabinetes diplomáticos, nas corporações energéticas e no imaginário popular. Nessa virada de século acrescentamos ao nosso vocabulário o termo radioatividade, proposto por Marie Curie (1867-1934), para denominar o fenômeno atribuído à peculiar emissão de radiação penetrante por alguns elementos.

Podemos iniciar o estudo sobre a história da pesquisa com radioatividade, a partir dos trabalhos realizados pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), que em 1895 estava procurando detectar uma radiação eletromagnética de alta frequência prevista por Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), quando notou uma fluorescência não esperada. No experimento, os raios catódicos³⁹ (Figura 1) iluminavam uma superfície que tinha recebido

³⁸ Texto elaborado por Tauan Gomes e Thaís Forato.

³⁹ A experiência com os raios catódicos consiste em produzir uma descarga elétrica, através de um gás em baixa pressão, aplicando-se uma grande diferença de potencial entre os dois

uma camada de material fosforescente, e eram ambos (tubo e superfície) embalados com uma caixa de papelão preto. Depois de ligar o instrumento e apagar as luzes de seu laboratório, Röntgen observou algo notável: uma placa no fundo da sala, que continha tetracianoplatino(II) de bário ($\text{Ba}[\text{Pt}(\text{CN})_4]$, um material fosforescente) em uma das faces, se iluminou (LIMA *et al.*, 2009, pp. 265). Esse efeito indicava, para ele, que algo atravessava a caixa de papelão e estimulava a placa.

Fonte: <http://www.fayerwayer.com/2011/04/el-tubo-de-rayos-catodicos-viva-el-ingenio/>

Figura 1: Raios catódicos em um tubo de Crookes.

Röntgen pressupôs que o efeito deveria ser causado pela passagem de algum tipo de radiação, mas desconhecia sua natureza. Ele acreditou não se tratar de nenhuma das radiações conhecidas até então, como a luz visível e os raios ultravioletas; ou seja, poderia haver algo novo (MARTINS, R., 2012).

Tendo em mente essa suposição, Röntgen se debruçou por semanas de investigação para entender quais seriam as propriedades dos novos raios, e chegou à conclusão de que eles se propagavam em linha reta, demonstravam ser capazes de penetrar grandes espessuras de diversos materiais, mas eram absorvidos mais fortemente por metais e também produziam fluorescência em

eletrodos colocados dentro do tubo de Crookes. O tubo contém dois eletrodos em suas extremidades, ligados a uma bateria. Quando a pressão no interior desse tubo é baixa, o gás entre os eletrodos transmite luminosidade (é o processo que ocorre na lâmpada fluorescente). Quando o gás do tubo for conservado a uma pressão muito menor, o efeito observado passa a ser o de uma mancha luminosa na parede do tubo diretamente oposto ao cátodo, causada pelo que hoje denominamos de raio catódico. (texto adaptado do site http://www.fis.unb.br/gefis/index.php?option=com_content&view=article&id=115&Itemid=227&lang=PT).

várias substâncias diferentes (MARTINS, R., 1998). Por não conseguir identificar a natureza de tais raios, Röntgen os denominou “Raios X”.

Os estudos de Röntgen foram publicados na revista da Sociedade Física e Médica de Würzburg, na Alemanha, mas antes mesmo que a revista estivesse pronta, ele enviou, por conta própria, cópias a vários pesquisadores e em poucos dias, seu trabalho já estava sendo estudado em diversas sociedades científicas. Logo, outros pesquisadores passaram a se dedicar à investigação dos raios X. Entre eles, o matemático francês Henri Poincaré (1854-1912), que elaborou uma proposta de explicação para os raios X, conhecida como Conjectura de Poincaré, em que se atribui ao vidro, estimulado pelos raios catódicos, a emissão dos raios X e a propriedade de se tornar fluorescente ao emití-los. Tal hipótese foi testada e tida como certa, pois pesquisadores como Gaston Henri Niewenglowski (1871-?) repetiram os experimentos, variando os materiais e publicaram conclusões que endossavam a conjectura de Poincaré (MARTINS, R., 2004, 2012; POINCARÉ, 1896).

Antoine-Henri Becquerel (1852-1908) baseou-se na conjectura de Poincaré em suas investigações sobre o novo fenômeno. Ele também se apoiou nos estudos de seu pai (Alexandre-Edmond Becquerel, 1820-1891) sobre espectrografia⁴⁰ para eleger os compostos de urânio como objeto de investigação. Essa introdução foi o diferencial de seu trabalho (MARTINS, R., 2012).

Poincaré, Niewenglowski e Becquerel tornaram-se personagens mais conhecidas desses primeiros estudos sobre os fenômenos radioativos. Entretanto, como em todos os saberes construídos pela ciência ao longo de sua história, as explicações sobre os fenômenos naturais são construções coletivas, oriundas de inúmeras conjecturas, experimentos, erros, acertos, debates, dos quais muitos outros pesquisadores fazem parte. Do mesmo modo que Röntgen estava estudando as ondas propostas por Hertz, muitos outros aspectos e ideias anteriores contribuíram para os estudos dos demais pensadores envolvidos nesse tema.

⁴⁰A família Becquerel dedicou-se por quatro gerações ao estudo da Física, Alexandre-Edmond Becquerel, da segunda geração de físicos Becquerel, pesquisou a luminescência, e foi uma das maiores autoridades sobre fosforescência e fluorescência. Ele foi pioneiro no estudo dos espectros (espectrografia) de vários corpos luminescentes, entre os quais, vários compostos de urânio.

Uma vez que o novo fenômeno natural foi encontrado, ou observado de modo significativo, vários pensadores começaram a estudá-lo, levantando hipóteses, comparando com suas respectivas formas de compreender a constituição da matéria, confrontando resultados experimentais com suas conjecturas teóricas, buscando construir uma explicação para ele. Algumas hipóteses são descartadas mais rápido, outras ainda permanecem aceitas quase unanimemente pela comunidade, e acabam por serem refutadas em algum momento posterior. Há ainda ideias que são aprimoradas e contribuem para a elaboração de modelos e teorias.

Questões:

1) Röntgen iniciou seus estudos com os raios X baseados na pesquisa de Hertz, e rapidamente divulgou seus resultados, levando outros cientistas a seguirem sua linha de investigação. Tomando esse exemplo, podemos dizer que o fazer científico é individual ou coletivo? Quais são os outros exemplos de colaboração mencionados no texto?

2) A Conjectura de Poincaré se assemelha ao atual entendimento sobre radioatividade?

3) Você notou algo de novo, ou diferente do que imaginava, em relação aos métodos e aos procedimentos que os cientistas usaram na investigação do fenômeno?

Referências

- BERMAN, M. *Tudo que é Sólido Desmancha no Ar*. São Paulo: Companhia das Letras. 1986.
- GOMES, L. 1889: Como um imperador cansado, um marechal vaidoso e um professor injustiçado contribuíram para o fim da Monarquia e a Proclamação da República no Brasil. São Paulo: Globo, 2013.
- ILIMA, R. da S., AFONO, J. C., PIMENTEL, L. C. F. Raios-x: fascinação, medo e ciência. *Química Nova*, V. 32, nº 1, p. 263-271, 2009.
- MARTINS, R. de A. Como Becquerel não Descobriu a Radioatividade. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 7, p. 27-45, 1990.
- _____. Hipóteses e interpretação experimental: a conjectura de Poincaré e a descoberta da hiperfosforescência por Becquerel e Thompson. *Ciência e Educação* (UNESP), São Paulo, v. 10, n.3, p. 501-516, 2004.
- _____. *Becquerel e a descoberta da radioatividade: uma análise crítica*. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2012.
- POINCARÉ, H. Les rayons cathodiques et les rayons Röntgen. *Revue Générale des Sciences* 7:52-9, 1896.

APÊNDICE 4

Texto 4: A contribuição de Henri Becquerel⁴¹

Pode uma hipótese equivocada contribuir para a solução de um problema? A ciência é feita de erros ou de acertos? Como podemos questionar um conhecimento científico?

Em 1896, um ano após os estudos de Röntgen, Henri Becquerel apresentou as observações sobre os efeitos produzidos por seus cristais de urânio, comparando essas radiações aos raios X, e ressaltando que elas possuíam poderes de penetração diferentes. Até então, as investigações eram conduzidas estimulando os cristais com luz solar, entretanto, Becquerel afirma que em um período, por falta de sol, ele guardara os cristais junto com placas fotográficas em uma gaveta, para continuar seus experimentos quando houvesse outro dia ensolarado. Ainda segundo ele, passados vários dias e não havendo a luz adequada, ele resolveu revelar as placas e foi surpreendido encontrando-as fortemente marcadas por algum tipo de radiação. Essa observação fez com que vários historiadores da ciência concedessem a Becquerel o título de descobridor da radioatividade. Porém, o próprio Becquerel concluiu que a radiação seria apenas uma fosforescência de persistência muito maior. Nada que remeta ao conceito de radioatividade aceito atualmente (BECQUEREL, 1986; MARTINS, 2012).

Becquerel chamou a nova propriedade que encontrara de “raios de urânio”, e como não procurou outros elementos que pudessem emitir raios semelhantes, os historiadores concluem que ele entendia que a propriedade (que hoje chamamos de radioatividade) era exclusividade dos compostos de urânio (MARTINS, 2012).

⁴¹ Texto elaborado por Tauan Gomes e Thaís Forato.

Fonte: <http://www.chemteam.info/Radioactivity/Disc-of-Radioactivity.htm>

Figura 2: Chapa fotográfica marcada com emissão do minério de urânio não exposto ao sol.

Becquerel usava em suas investigações apenas o método fotográfico, em que a radiação marca chapas fotográficas (Figura 2). Todavia, logo após a divulgação da descoberta dos raios X, muitos pesquisadores notaram que esta radiação era capaz de tornar o ar condutor de eletricidade, e por isso eram capazes de descarregar eletroscópios⁴² (Figura 3). Joseph John Thomson (1856-1940) e seus colaboradores propuseram a explicação que é aceita até hoje: os raios X rompem as moléculas neutras do ar e produzem espécies carregadas positiva e negativamente (íons positivos e negativos), capazes de conduzir eletricidade. Entretanto, esses íons de sinais opostos se atraem e tendem a se recombinar, tornando o ar isolante novamente (MARTINS, 2012).

É interessante observar que as explicações que cada cientista conjecturava estavam pautadas por uma visão peculiar sobre a constituição da matéria. Becquerel, por exemplo, por utilizar o método fotográfico não pode

⁴²O eletroscópio de folhas é o instrumento mais comum que pode ser utilizado para detectar cargas elétricas (figura 3b). Ele é constituído por uma esfera condutora, fixada em uma das extremidades de uma barra de metal, também condutora, e duas finas folhas de metal fixadas na outra extremidade da barra. O eletroscópio funciona de acordo com o processo de indução elétrica; assim, ao se aproximar um material eletrizado da esfera condutora, os elétrons se movimentam pela barra metálica, se afastando da esfera caso o corpo esteja carregado negativamente, ou se aproximando dela caso ele esteja carregado positivamente. Na eletroscopia, carregamos o eletroscópio com carga elétrica de sinal conhecido, por exemplo, positiva. Quando se aproxima à esfera um corpo carregado positivamente a distância entre as folhas aumentará. Se o corpo estiver carregado negativamente, a distância diminuirá. Texto adaptado de <http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/fenomenos/eletroscopios/>.

obter certas informações que levaram às conclusões de Marie Curie, que utilizava o método elétrico, como será descrito na seção seguinte.

Fonte: <http://www.brasilecola.com/fisica/eletroscopia.htm>

Figura 3: a) Eletroscópio de folhas b) Representação de um eletroscópio de folhas sendo estimulado.

Questões:

- 1) Em que se baseava o método usado por Becquerel?
- 2) Você se surpreendeu com algum método ou procedimento utilizados pelos pesquisadores descritos no Texto 3 e no Texto 4? Você esperava que fosse diferente?
- 3) Que aspecto sobre o desenvolvimento da ciência pode ser compreendido a partir desta narrativa histórica?

Referências

- BECQUEREL, H. Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescent. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Academie des Sciences de Paris* 122: 501-3, 1896.
- MARTINS, R. de A. *Becquerel e a descoberta da radioatividade: uma análise crítica*. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2012.

APÊNDICE 5

Texto 5: A contribuição de Marie Curie⁴³

Você sabia que no início do século XX, quando as mulheres não tinham ainda nem o direito ao voto, uma mulher ganhou duas vezes o prêmio Nobel? Que em seu campo de atuação, ela ganhou mais prestígio que o próprio marido? E que essa mesma mulher morreu de câncer em função de suas pesquisas com radioatividade?

É comum imaginarmos Marie Curie como uma mulher demasiadamente séria e rígida, quando apenas a conhecemos por seu admirável trabalho científico, ou pelas fotos em que ela aparece sisuda ou até tristonha (Figura 4). Mas no livro *Aulas de Marie Curie*⁴⁴, percebemos uma Marie preocupada com a educação de suas filhas, uma mãe dedicada e amorosa. Marie também é descrita como uma mulher muito apaixonada por seu marido e teria sofrido muito com sua morte precoce, em 1906.

Fonte: <http://www.biography.com/people/marie-curie-9263538>

Figura 4: Marie Curie.

Nascida Maria Sklodowska, em 1867, numa Polônia subjugada pelo Império Russo, Marie teve de lutar desde a infância para progredir em seus

⁴³ Texto elaborado por Tauan Gomes e Thaís Forato.

⁴⁴ CHAVANNES, I. *Aulas de Marie Curie: anotadas por Isabelle Chavannes*. Trad. Waldyr M. Oliveira. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2007.

estudos. A lei russa proibia o acesso de mulheres às universidades, e restringia a educação indistintamente entre os poloneses. Marie, entretanto, era filha de professores e sempre mostrou aptidão para o aprendizado. Como resultado de um árduo trabalho, alcançou o reconhecimento que a levou a ser a primeira mulher laureada com um Nobel, e a primeira pessoa a receber a honraria duas vezes. Foi também a primeira mulher a ocupar uma vaga na renomada Universidade Sorbonne, Paris, França, quando já era viúva e criava duas filhas pequenas (CURIE, 1898).

No final do século XIX, quando ela começou a estudar a “estranha” radiação que era objeto de interesse de físicos e matemáticos por toda a Europa, já eram conhecidos os raios X e os raios de urânio, emissões de alta energia relatadas por Antoine-Henri Becquerel (1852-1908). Portanto, ela passava a atuar em um campo de pesquisa ocupado por renomados pesquisadores que buscavam explicar a nova radiação.

Marie, diferentemente de Becquerel, usava o método elétrico para estudar os raios X; ela utilizava o eletroscópio para detectar emissão de radiação ionizante no ar e media a intensidade da corrente com um eletrômetro, estabelecendo uma relação direta entre intensidade da corrente e quantidade de radiação emitida. Assim, em 1898 relata suas conclusões de pesquisa: ela examinara uma grande quantidade de compostos de urânio e observara que em compostos com maior teor de urânio, a emissão radioativa era maior do que em compostos com baixos teores de urânio (Cordeiro & Peduzzi, 2010). Ela afirma que o fenômeno dependia da quantidade de átomos de urânio, não da estrutura cristalina ou molecular dos compostos. Prosseguindo em sua investigação, ela notou que compostos de outros metais (tório, cério, nióbio e o tântalo), também emitiam radiações ionizantes (CURIE, 1898; MARTINS, 2012).

Mais do que isso, ela identificou que alguns compostos emitiam radiação mais forte do que a do urânio puro, o que contrastava com os resultados anteriores que indicavam que a intensidade da radiação era proporcional à quantidade de urânio nos compostos. Para averiguar a que se devia a anomalia, ela sintetizou um dos minerais discrepantes, a calcolita, e percebeu que essa substância artificial não era tão ativa quanto o mineral natural. Marie conjecturou que esses minerais poderiam conter algum outro elemento

desconhecido, mais ativo que o urânio. Ao encontrar que o tório também emitia radiações semelhantes às do urânio, Marie propôs um novo nome para o fenômeno, radioatividade (MARTINS, 2012; STRATHERN, 2000).

É necessário ressaltar que no mesmo ano, independentemente, Gerhard Carl Nathaniel Schmidt (1865-1949), também utilizando método elétrico, identificou que o tório emitia radiação ionizante semelhante à do urânio. Ele, porém, não continuou suas investigações no ramo da radioatividade (MARTINS, 2012). O fato de outro pesquisador ter chegado às mesmas conclusões não diminui a relevante contribuição de Madame Curie, principalmente por ela ter dado seguimento à sua pesquisa e chegado a resultados revolucionários, mesmo tendo vivido em um contexto desfavorável às mulheres que faziam ciência, e com o agravante de ser estrangeira (CORDEIRO & PEDUZZI, 2010).

O marido de Marie, Pierre (1859-1906), já era um conceituado pesquisador quando ela ainda buscava seu doutorado, entretanto, em 1898, ele abandona suas próprias investigações para se dedicar apenas à pesquisa de Marie. Nesse momento, ela havia identificado que um mineral chamado pechblenda emitia radiação mais forte do que qualquer outra substância, o que, a exemplo do calcolita, indicava que havia ali um novo elemento. Assim, o casal Curie passou a um exaustivo trabalho de refinar o minério de pechblenda e depois de repetida destilação, eles isolaram pó de bismuto contendo o novo elemento. Esse novo elemento foi batizado polônio, por Marie, em homenagem à sua pátria (MARTINS, 2012; STRATHERN, 2000).

Após anunciarem a descoberta do polônio, os Curie foram obrigados a se afastarem do trabalho por motivos de saúde, estavam pagando o preço da longa exposição à radiação. Porém, no mesmo ano, eles voltaram ao laboratório, pois suspeitavam que havia um segundo elemento desconhecido na pechblenda. Eles realizaram um trabalho de separação semelhante ao usado na separação do polônio e isolaram o rádio (CURIE, 1941; MARTINS, 2012).

Nesse período, os pesquisadores começavam a compreender os efeitos da radioatividade, e ainda não sabiam o quão perigoso eles eram para o nosso organismo. Marie se expôs por longos períodos e por muitos anos a fortes emissões radioativas, e sofreu muito em consequência. Ela morreu em 1934, aos 67 anos, e sua doença não pode ser diagnosticada apropriadamente na

época, mas hoje entende-se que ela sofria de mais de uma doença derivada da exposição a radioatividade, sendo leucemia a mais grave.

Questões:

1) Quais foram os pontos de partida para a pesquisa de Marie Curie? Ela teria alcançado os mesmos resultados sem a colaboração dos outros cientistas citados no texto?

2) Marie teria encontrado hoje as mesmas dificuldades para estudar na Polônia, devido a seu gênero?

3) Na época de Marie, ainda não se conheciam os danos biológicos causados pela radioatividade, diferente de hoje em dia. Atualmente, alguém poderia ser exposto inadvertidamente à radiação?

4) Há algum aspecto sobre o desenvolvimento da ciência do período retratado no texto, que parece ser diferente nos dias de hoje?

Referências

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, p. 473-514, 2010.

CURIE, E. *Madame Curie*. Trad. Monteiro Lobato. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1941.

CURIE, M. S. Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium. *Comptes Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* 123: 1101-3, 1898.

MARTINS, R. de A. *Becquerel e a descoberta da radioatividade: uma análise crítica*. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2012.

STRATHERN, P. *Curie e a Radioatividade em 90 minutos*. Trad. Maria L. X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2000.

APÊNDICE 6

Texto 6: Desdobramentos⁴⁵

Depois de entendida a natureza da radioatividade, sua utilização deixa de oferecer riscos? Conhecendo a teoria que explica o fenômeno, sabemos como nos proteger de seus efeitos?

Após anunciarem a descoberta do polônio, os Curie foram obrigados a se afastarem do trabalho, pois estavam pagando o preço da longa exposição à radiação; porém, no mesmo ano, eles realizaram uma separação semelhante à usada na obtenção do polônio e isolaram o rádio. Em reconhecimentos a seus trabalhos sobre radioatividade, Marie recebeu em 1903 (juntamente com Pierre e Becquerel) o prêmio Nobel de Física daquele ano; em 1911 ela voltou a ser laureada com um Nobel, desta vez em Química, pela descoberta do polônio e do rádio (MARTINS, 2012; STRATHERN, 2000).

Georges Sagnac (1869-1928) também tem seu lugar na história da radioatividade. O físico francês estudou os chamados raios secundários, ou raios menos penetrantes emitidos por um material atingido por raios X. Esses raios, embora sejam mais facilmente absorvidos pela matéria, produzem radiação ionizante mais forte e são mais facilmente detectados. Em 1903, tendo como base os raios secundários e a radioatividade induzida, descobertas pelos Curie, Ernst Rutherford (1871-1937) e Frederick Soddy (1877-1956) apresentaram evidências de que a radioatividade era um processo de desintegração atômica, como entendemos ainda hoje (MARTINS, 2012).

Desse modo, Martins (2012, p. 382) afirma que

“[...] a pergunta ‘Quem descobriu a radioatividade?’ não pode ser respondida indicando-se nenhum indivíduo. Ela só pode ser respondida informando-se os muitos pesquisadores [entre eles, Röntgen, Poincaré, Becquerel, Niewenglowski, Rutherford, Schmidt, Marie e Pierre Curie] que deram sucessivas contribuições que levaram, depois de vários anos [1895-1903], ao esclarecimento das propriedades e da natureza da radioatividade.”

É importante salientar que o que hoje se conhece por radioatividade tem natureza diferente dos raios X. Chassot (1995, p.21) explica que

⁴⁵ Texto elaborado por Tauan Gomes e Thaís Forato.

“[...] atualmente, são considerados raios X as radiações eletromagnéticas com comprimento de onda no intervalo aproximado de 10^{-11} a 10^{-8} m (0,1 a 100 Å), resultantes da colisão de elétrons produzidos em um cátodo aquecido (ocorre uma emissão termoiônica) contra elétrons de um ânodo metálico. Ao contrário, portanto, das radiações, originadas nos núcleos atômicos [radioatividade], com as quais se assemelham em intensidade, os raios X têm origem extranuclear.”

A descoberta do fenômeno da radioatividade, e a construção das explicações para ele, causou uma reviravolta no âmbito científico, mobilizou pesquisadores de várias áreas e nacionalidades, levou tempo para ser assimilada e continua sendo um ramo de interesse para os pesquisadores. A radioatividade foi e é utilizada para fins diversos, desde sua aplicação na medicina e na agricultura, passando pela análise da arte, até a construção de armamentos nucleares, e ainda divide opiniões. Assim, é natural que as circunstâncias de sua descoberta continuem sendo objeto de estudo e debate entre os historiadores da ciência. É importante, tanto no estudo da história da radioatividade quanto nas ponderações sobre sua utilização, o embasamento do conteúdo científico, a análise historiográfica apropriada e das implicações éticas envolvidas.

Questões:

- 1) Por que, segundo os textos lidos nas últimas aulas, não é correto dizer que foi Becquerel o descobridor da radioatividade?
- 2) Se Becquerel não foi o descobridor da radioatividade, que importância teve sua pesquisa?
- 3) Considerando todos os textos lidos nas últimas aulas, algum aspecto do desenvolvimento da ciência foi descrito diferentemente do que você imaginava?

Referências

- CHASSOT, A. I. Raios X e radiotividade. *Química Nova na Escola*, São Paulo, v. 1, n.2, p. 19-22, 1995.
- MARTINS, R. de A. *Becquerel e a descoberta da radioatividade: uma análise crítica*. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2012.
- STRATHERN, P. *Curie e a Radioatividade em 90 minutos*. Trad. Maria L. X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2000.

APÊNDICE 7

Texto 7: Césio-137, um drama recontado

VIEIRA, S. de A. Césio-137, um drama recontado. *Estudos Avançados*, v. 27, p. 217-236, 2013.

APÊNDICE 8

Texto 8: Energia Nuclear⁴⁶

Só usam energia nuclear os países que têm intenção de construir bombas atômicas?

A energia nuclear é gerada em um processo que se inicia nos reatores nucleares, que usam a fissão produzida por nêutrons para gerar energia. Durante a fissão, os átomos de urânio se desintegram emitindo radioatividade e calor. A energia térmica produzida é absorvida pela água, cuja temperatura chega a alcançar 320°C, se vaporizando. O vapor, então, movimenta as turbinas da usina gerando energia analogamente ao procedimento utilizado em usinas hidroelétricas (ROSA, 2007).

Atualmente os Estados Unidos lideram a produção de energia nuclear, porém, os países como França, Japão, Suécia, Finlândia, Ucrânia e Bélgica são os mais dependentes da energia nuclear, por terem poucos recursos hídricos (necessários para a geração de energia hidroelétrica) ou minerais (necessários para a geração de energia termoeletrica). A França é uma exceção, pois embora conte com um vasto sistema hídrico, ele já está saturado, forçando o país a utilizar outros métodos para gerar energia, de modo que mais de 70% de sua eletricidade é de origem nuclear (ENERGIA NUCLEAR, 2015; INFONUCLEAR, 2015).

No fim da década de 1960, o governo brasileiro começou a desenvolver o Programa Nuclear Brasileiro, destinado a implantar a produção de energia atômica. O país possui a central nuclear Almirante Álvaro Alberto, constituída por três unidades, chamadas Angra 1, Angra 2, e Angra 3. Entretanto, atualmente apenas Angra 2 está em funcionamento, pois Angra 1 está desativada e Angra 3 não foi concluída (CARVALHO, 2012).

Essa fonte energética é responsável por muita polêmica e desconfiança. A falta de segurança, a destinação do lixo atômico e a possibilidade de acontecerem acidentes nas usinas, geram reprovação por grande parte da população (ENERGIA NUCLEAR, 2015).

⁴⁶ Texto adaptado por Tauan Gomes a partir dos referenciais citados.

A energia nuclear apresenta vários aspectos positivos e negativos, assim como os demais métodos de geração de energia elétrica.

Aspectos positivos da energia nuclear:

- As reservas de energia nuclear são maiores que as reservas de combustíveis fósseis;
- As usinas nucleares requerem áreas menores para sua instalação, possibilitam maior independência energética para os países importadores de petróleo e gás e não demandam a alteração de cursos de rios ou inundação de grandes áreas para sua construção;
- Essa forma de geração de energia não contribui para o efeito estufa.

Aspectos negativos da energia nuclear:

- Os custos de construção e operação das usinas são muito altos e há necessidade de mão de obra qualificada;
- Aumenta a possibilidade de construção de armas nucleares, além de exigir precauções sobre a destinação do lixo atômico e para se evitar os acidentes que resultam em liberação de material radioativo;
- O plutônio 239 leva 24.000 anos para ter sua radioatividade reduzida à metade, e cerca de 50.000 anos para tornar-se inócuo.

Referências

CARVALHO, J. F. de. O espaço da energia nuclear no Brasil. *Estudos avançado*, vol.26, n.74, pp. 293-308, 2012.

ENERGIA NUCLEAR. Disponível em <http://www.brasilecola.com/geografia/energia-nuclear.htm>. Acesso em 21 de fev de 2015.

INFONUCLEAR. *Energia Nuclear*. Disponível em: <http://www.ifsc.usp.br/~eletronuclear/wordpress/>. Acesso em 11 fev 2015.

ROSA, L. P. Geração hidrelétrica, termelétrica e nuclear. *Estudos avançados*, vol.21, n.59, pp. 39-58, 2007.

APÊNDICE 9

Texto 9: Medicina Nuclear⁴⁷

Como pode algo tão perigoso quanto a radioatividade servir para uma finalidade tão benéfica quanto a medicina?

Na medicina nuclear a radioatividade é usada no diagnóstico e no tratamento de doenças, para isso, são introduzidos no organismo dos pacientes radioisótopos artificiais, denominados radiotraçadores. Eles recebem esse nome porque, ao serem transportados pelo corpo da pessoa, emitem radiações que permitem seu monitoramento, sabendo por onde passaram e onde se depositaram, possibilitando o mapeamento de órgãos (FOGAÇA, 2014).

Para optar por um tratamento ou diagnóstico que utilize tecnologia nuclear, os médicos têm que levar em conta diversos fatores, pois em alguns casos, a radiação também pode danificar células boas. Mesmo quando o tratamento é indicado, os radioisótopos devem atender a certas condições especiais, como a absorção seletiva da radiação, que garante que o agente nuclear terá ação apenas no órgão de estudo, e meia-vida curta, para que o organismo receba o mínimo de emissões radioativas (TOLENTINO & ROCHA-FILHO, 1996).

Um exemplo de radioisótopo é o iodo-131 que é usado no tratamento de câncer de tireóide, pois, por se acumular nesse órgão, suas radiações gama destroem as células cancerígenas. A Figura 1 mostra exemplos de outros radioisótopos e sua utilização na medicina (FOGAÇA, 2014; SNMN, 2015).

Quando os radioisótopos são utilizados para o tratamento de tumores cancerígenos, a emissão que tem efeito é a do tipo gama que possui alta energia e age destruindo as células doentes. Embora o método seja considerado de baixo risco para o paciente, há que se tomar sérios cuidados ao se lidar com materiais radioativos, por exemplo, fazer uso de blindagens especiais, para evitar uma exposição generalizada à radioatividade. Descuidos podem levar a consequências sérias, como ocorreu em Goiânia, em 1987, quando uma fonte de cézio abandonada teve a sua blindagem destruída e o

⁴⁷ Texto adaptado por Tauan Gomes a partir dos referenciais citados.

material radioativo foi indevidamente manipulado (TOLENTINO & ROCHA-FILHO, 1996).

Radioisótopo	Uso médico
Cromo-51 (^{51}Cr)	Imagem do baço e volume das hemácias
Tecnécio-99 (^{99}Tc)	Estudo do cérebro, pulmões, fígado, baço e ossos
Sódio-24 (^{24}Na)	Lesões vasculares e volume do sangue
Estrôncio-85 (^{85}Sr)	Imagem de ossos para verificar a ocorrência de fraturas ou osteoporose
Samário-153 (^{153}Sm)	Tratamento de câncer ósseo, atua como analgésico e diminui a dor causada pela metástase no tecido
Tálio-201 (^{201}Tl)	Deteção de obstruções nas artérias coronarianas
Gálio-67 (^{67}Ga)	Diagnóstico e avaliação de tumores, é útil em processos infecciosos e inflamatórios, avalia a extensão da doença

Fonte: <http://www.mundoeducacao.com/quimica/aplicacao-radioatividade-na-medicina.htm>

Figura 5: Radioisótopos e sua utilização na medicina

É possível, também, utilizar radioisótopos na produção de imagens para os médicos analisarem, pois as radiações beta e gama incidem sobre filmes fotográficos. Outro método usa imagens geradas por emissores de pósitrons e assim é possível detectar se a lesão em questão é benigna ou maligna. Para isso, emprega-se o um tomógrafo chamado de PET, sigla que vem do inglês, *pósitron emission tomography*, isto é, Tomografia por Emissão de Pósitron. O paciente submetido a esse exame recebe o radioisótopo emissor de pósitron ligado a uma molécula que tem afinidade com um órgão específico (SNMN, 2015).

Referências

- FOGAÇA, J. R. V. *Aplicação da radioatividade na medicina*. Disponível em <http://www.mundoeducacao.com/quimica/aplicacao-radioatividade-na-medicina.htm>. Acesso em 23 de Janeiro de 2014.
- SNMN. *O que é medicina nuclear?* Disponível em http://www.sbm.org.br/site/medicina_nuclear. Acesso em 12 fev 2015.
- TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C. O átomo e a tecnologia. *Química Nova na Escola*, São Paulo, n.3, p. 4-7, 1996.