CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

CONTROVÉRSIA HISTÓRICA: UMA POSSIBILIDADE DE PROBLEMATIZAÇÃO ACERCA DE ELEMENTOS DE NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO MÉDIO

Fabiano Fernandes de Oliveira

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Orientador:

Andreia Guerra de Moraes

Rio de Janeiro

Abril de 2014

CONTROVÉRSIA HISTÓRICA: UMA POSSIBILIDADE DE PROBLEMATIZAÇÃO ACERCA DE ELEMENTOS DE NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO MÉDIO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Fabiano Fernandes de Oliveira

Aprovada por:

_____

Presidente, Prof.ª Andreia Guerra de Moraes, D. Sc. (Orientador)

_____

Prof. Marco Antônio Barbosa Braga, D.Sc.

_____

Prof.ª Tânia Camel, D. Sc. (FIOCRUZ)

Rio de Janeiro
Abril de 2014

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

O48 Oliveira, Fabiano Fernandes de
Controvérsia histórica : uma possibilidade de problematização acerca de elementos de natureza da ciência no ensino médio / Fabiano Fernandes de Oliveira.—2014.
ix, 69f. : il.color. ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2014.
Bibliografia : f. 65-69
Orientadora : Andreia Guerra de Moraes

1. Ciências (Ensino médio) – Estudo e ensino. 2. Ciência – História. 3. Ciência – Filosofia. 4. Física (Ensino médio). I. Moraes, Andreia Guerra de (Orient.). II. Título.

CDD 372.35

Dedico este trabalho a minha família e amigos. Para todos que contribuíram para que eu seguisse em frente e chegasse ao fim desta jornada. Principalmente a meus pais, pelo esforço feito para que a educação viesse a ser um pilar na minha vida. Tenham a certeza que conseguiram. Afinal, foi observando vocês que aprendi a ter garra para seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que ao longo desta caminhada me apoiaram e sempre me deram força para seguir à diante, principalmente nos momentos mais difíceis e cansativos.

Agradeço a minha família, que sempre me apoiou nesta caminhada. Agradeço aos meus pais, primeiramente pelo esforço empreendido por eles para me dar a melhor formação que estivesse ao alcance deles e, com isso, me guiarem ao longo de toda minha vida educacional e profissional. Agradeço pelas palavras deles que, ao longo deste projeto, sempre me deram forças e tranquilidade para superar as dificuldades e incentivos para seguir adiante. Agradeço à minha irmã que sempre me apoiou e me ofereceu toda o auxílio possível para meus estudos. Agradeço à compreensão dos meus avós pelos dois anos de ausências e afastamentos.

Agradeço à professora D. Sc. Andréia Guerra primeiramente pelas aulas ministradas ao longo do curso que despertaram em mim a paixão pela História e Filosofia da Ciência, me mostrando um novo modo de seguir no magistério. Agradeço também pela dedicação e paciência para me guiar e ajudar na minha pesquisa, sendo sempre atenciosa e tendo todo o carinho nos momentos nos quais era preciso fazer as cobranças.

Agradeço igualmente aos companheiros do grupo de pesquisa Alex Dopazo e Luciana Fiuza, pelas grandes contribuições dadas ao meu trabalho ao longo de nossas reuniões

Agradeço aos meus alunos, que sem dúvidas foram fonte de inspiração e motivação para que eu buscasse sempre dar o meu melhor como professor e com isso, motivavam minha caminhada ao longo do curso.

Por fim agradeço a Deus, por me manter com saúde e me dar capacidade para seguir a diante sempre, superando as dificuldades do caminho.

RESUMO

CONTROVÉRSIA HISTÓRICA: UMA POSSIBILIDADE DE PROBLEMATIZAÇÃO ACERCA DE ELEMENTOS DE NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO MÉDIO

Fabiano Fernandes de Oliveira

Orientador:

Andreia Guerra de Moraes

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programada de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

A presente pesquisa apresenta uma proposta para o ensino de ciências buscando não criar nos estudantes uma visão deturpada da ciência, tendo assim como objetivo fazer das aulas de ciência um ambiente capaz de tornar os estudantes mais reflexivos e críticos a respeito da construção do conhecimento científico. A dissertação apresenta uma análise dos obstáculos enfrentados por professores que buscam seguir uma abordagem pautada em História e Filosofia da Ciência nas aulas do curso de física no ensino médio. Além de analisar os obstáculos, este trabalho apresenta como alternativa para a superação destes através da utilização da controvérsia histórica, no período compreendido entre 1890 e 1910, a respeita da continuidade ou descontinuidade da matéria. Ao longo do texto serão indicados elementos de natureza da ciência que podem ser problematizados em sala de aula junto aos alunos ao longo das discussões da controvérsia. A pesquisa tem caráter teórico, pois devido ao tempo disponível as propostas apresentadas no trabalho não foram aplicadas até o presente momento.

Palavras-chave:

História e Filosofia da Ciência; Controvérsia histórica; Natureza da Ciência; Ensino Médio

Rio de janeiro

Abril de 2014

ABSTRACT

HISTORICAL CONTROVERSY: A CHANCE OF PROBLEMATIZE ABOUT ELEMENTS OF NATURE OF SCIENCE IN SECUNDARY EDUCATION

Fabiano Fernandes de Oliveira

Advisor:

Andreia Guerra de Moraes

Abstract of dissertation submitted to Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e educação at the Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master.

This research presents a proposal for the teaching of science in the quest not to create in students a distorted view of science, having as goal to get the science classes one capable of making students more reflective and critical of the construction of scientific knowledge. The dissertation presents an analysis of the obstacles faced by teachers who seek to follow a class with History and Philosophy of Science in the lessons of high school physics. Besides analyzing the obstacles, this paper presents an alternative to overcome these through the use of historical controversy in the period between 1890 and 1910, regarding the continuity or discontinuity of matter. Throughout the text are indicated elements of nature of science that can be problematized in the classroom with the students during the discussions of the controversy. The survey has a theoretical character, because due to the time available in the proposals were not enforced until now.

Keywords:

History and Philosophy of Science; Historical Controversy; Nature of Science

Rio de Janeiro

April, 2014

SUMÁRIO

Introdução 1

I Física Moderna no Ensino Médio: A História e Filosofia da Ciência Como Um Possível Caminho 7

I.1 O projeto de maneira Interdisciplinar 10

I.2 Em defesa da História da Ciência como caminho a ser seguido 12

I.2.1 Pseudohistória 15

I.2.2 Anacronismo 19

I.2.3 Seleção do conteúdo Histórico 20

I.2.4 Tempo Didático 20

I.2.5 Simplificação e Omissão 21

I.3 A controvérsia como uma ferramenta para trabalhar radiação 22

II Metodologia de Pesquisa 27

III A Controvérsia Histórica como um caminho 31

Considerações finais 62

Referências Bibliográficas..... 65

Lista de Figuras

FIG. Introdução Currículo Mínimo de Física do Governo do Estado do Rio de Janeiro – 2ª Série do Ensino Médio – 4º bimestre

FIG III.1 Laboratório de Röntgen em Würzburg

FIG III.2 Imagem do Raio X obtido por Röntgen

FIG III.3 Charge publicada no final do século XIX

FIG III.4 Nu descendo a escada de Duchamp

FIG III.5 Um domingo de verão na Ilha da Grande Jatte de Seurat

FIG III.6 Candidatas de um concurso de beleza de 1956

FIG III.7 Experimento do tubo de Crookes com a Cruz

FIG III.8 Chapa fotográfica revelada por Becquerel após permanecer protegida do sol

Introdução

Ao longo de toda a minha formação inicial como professor de física alguns conteúdos sempre me pareceram muito desconectados de um contexto e algumas dúvidas sempre rodearam meus pensamentos. Ao terminar minha graduação e iniciar minha caminhada como professor de ensino fundamental/médio tais questões não se apagaram, pelo contrário, a cada dia que passava as dúvidas referentes ao conhecimento que eu deveria transmitir aos alunos tornavam-se cada vez maiores.

Muitas vezes quando lecionamos somos indagados pelos alunos com relação aos motivos que levaram os cientistas a partirem em determinada empreitada intelectual, geradora de certo conhecimento. Questões como essas sempre estiveram presentes na minha mente e a cada novo questionamento, vindo dos alunos, elas passavam a se tornar mais ativas e a gerar uma maior necessidade de entendimento por minha parte. Muitos conteúdos que havia estudado na graduação, continuavam a ser como uma mera representação matemática de algo que, na minha mente, parecia ser muito maior.

Ao longo da graduação tive um breve contato com História da Ciência e me pareceu, naquele momento, que este poderia ser um possível caminho a seguir na busca pelo que faltava na minha concepção de certos tópicos.

Visando, então, sanar esta lacuna que ainda havia na minha formação ingressei no curso de mestrado, quando tive então o primeiro contato mais profundo com a História e Filosofia da Ciência.

Ao longo das aulas, fui percebendo que algumas das questões que estavam abertas em minha mente começaram a ser gradualmente respondidas. Além disso, não só haviam questões sendo respondidas, mas também outras questões estavam a ser geradas nas minhas reflexões.

A partir deste processo, pude perceber que a História e Filosofia da Ciência era uma possível opção para tentar atingir os objetivos necessários nas aulas de física e, assim como a História e Filosofia da Ciência me ajudou a compreender melhor determinados conteúdos científicos, que eu já havia estudado. Esse poderia ser o caminho problematizador que faltava aos meus alunos.

Ao aprofundar meus estudos identifiquei que a História da Ciência indicava que a ciência deve ser entendida como uma única entidade e não mais como blocos separados como apresentado nos currículos do ensino médio. Da mesma forma, percebi que através da História e Filosofia da Ciência era possível fazer conexões com o que os alunos aprenderam nas

diferentes disciplinas, proporcionando a eles a capacidade de utilizar o que foi aprendido nas aulas de ciências na forma de ler o mundo ao seu redor.

O ensino de ciências deveria tornar o aluno capaz de refletir a respeito do mundo que o cerca e a partir daí gerar no aluno a capacidade de dar um novo significado, crítico e consciente, à realidade em que vive.

Fazer com que o aluno tenha conhecimento sobre a ciência, entendendo seus pressupostos, os limites de validade, as influências externas sofridas pelo contexto na qual está imersa e não apenas sobre determinado conteúdo científico faz com que ele seja capaz de ter um pensamento mais maduro e crítico à respeito do dogmatismo comumente encontrado no ensino de ciências (Forato, 2009, p.7).

Freire Junior (2002, p. 27-28) defende que a Educação em Ciências tem como desafio formar um aluno com capacidade de estabelecer uma relação crítica com a ciência e a tecnologia. A educação na área científica deve promover um ensino de forma a inserir esse aluno numa sociedade tecnologicamente modificada, desmistificando a ciência de forma a perceber que ela desempenha um importante papel na sociedade, bem como compreender que a ciência é um elemento da cultura.

Ainda considerando a ciência como uma forma de cultura, Forato (2009) ressalta que a História da Ciência enriquece a cultura geral do aluno, não restringindo assim sua visão do desenvolvimento científico a uma mera resolução de exercícios.

Esses pontos guiaram a minha reflexão na tentativa de conseguir uma maneira de como fazer com que o ensino de ciências fosse capaz de proporcionar aos alunos esta visão e não continuasse a ser apenas um apanhado de informações desconexas que seriam rapidamente descartadas.

Na construção de caminhos, alguns resultados de pesquisa em ensino de ciências destacaram-se. Gil Perez (2001), em um estudo aponta que a educação em ciências atual vem acentuando uma visão empírico-indutivista da ciência. Visão essa que não representa a forma real como se constroem os conhecimentos científicos e acaba por não enriquecer a cultura científica dos alunos, bem como cria um determinado tipo de pressuposto sobre o fazer científico.

Como ressalta Osbourne (2007), o ensino de ciências fica preso entre dois pontos, treinar e educar o futuro cientista. Os alunos que seguirão uma carreira científica, que não é a grande maioria, acabam por aprender cumulativamente os conceitos científicos para que eles tenham base para prosseguir suas atividades. Porém esse fato acaba por gerar especialistas que tem grande conhecimento sobre sua área, mas com um restrito conhecimento sobre a ciência.

Em contrapartida os alunos que não seguirão carreiras científicas ficam restritos a um ensino especializado, sem que discutam como os conhecimentos científicos apreendidos se relacionam com outro conhecimento e como a ciência integra a cultura de forma mais ampla. (Osbourne, 2007)

Essas e outras reflexões mostraram-me que as aulas de ciências estavam criando uma visão deformada para os alunos de como se dá o desenvolvimento da ciência. Os alunos haviam se tornado meros receptores de conhecimentos elaborados, sendo tolhidos do contato com uma ciência que os faz pensar e refletir sobre o que é ensinado.

É importante que os alunos não fiquem com uma visão de ciências rígida, ahistórica, aproblemática e acumulativa que muitos apresentam. Nesse caso, os estudantes percebem a ciência se desenvolvendo independente dos contextos e das crises ocorridas, não refletindo sobre o que está sendo ensinado.

Nesse momento, então, tive a clareza de que o problema que eu buscava resolver estava no fato de que era preciso discutir com os alunos como a ciência se construiu ao longo dos tempos.

Segundo Allchin (2010), para entender alguns casos de ciência, o público deve entender o funcionamento da Natureza da Ciência. Questões como, em que pesquisa acreditar?; até onde as informações divulgadas são confiáveis?; quais fatores externos à ciência são capazes de influenciar as pesquisas?, devem estar presentes na tomada de decisão por parte dos cidadãos.

Porém essas não são questões simples de serem respondidas. Para respondê-las, é necessário grande reflexão, principalmente nos dias de hoje. No mundo em que vivemos a tecnologia, bem como a ciência, avançam em um ritmo cada vez mais acelerado. Todos os dias os jornais, telejornais e revistas noticiam fatos novos em relação à ciência.

As noticias são muitas e indicam mudanças no cotidiano dos cidadãos. Porém o resultado de uma pesquisa, muitas das vezes, contradiz o resultado de outra pesquisa divulgado há pouco tempo. Não é possível simplesmente seguir todas as recomendações dos especialistas.

Dessa forma, é importante que os cidadãos saibam como dar credibilidade para um fato noticiado e ser críticos quanto a fatores que influenciam a credibilidade das pesquisas científicas.

Podemos considerar o ensino de ciências com uma abordagem pautada em História e Filosofia da Ciência como sendo um ensino capaz de possibilitar ao aluno um conhecimento metodológico como uma saída à visão empirico-indutivista da ciência, normalmente transmitida

aos estudantes (FORATO,2009; GUERRA et. al, 2002; BRAGA et al., 2012; ALLCHIN, 2010; ALLCHIN, 2004).

Com essas questões em mente parti para a construção de meu problema de pesquisa. Pesquisas na área (FORATO,2009; BRAGA et al., 2012; FORATO, 2011; ALMEIDA, 2004; MARTINS, 1990) indicam que há lacunas nas discussões sobre como trabalhar a História e Filosofia da Ciência em sala de aula. Muitos caminhos eram indicados por pesquisadores, dentre esses um se destacou: o trabalho com controvérsias históricas. (BRAGA, GUERRA, REIS, 2012)

Com vistas a criar subsídios para trabalhos com controvérsias históricas, desenvolvemos uma pesquisa que buscou responder à seguinte questão: Quais elementos de Natureza da Ciência podem ser problematizados, com a utilização de uma controvérsia histórica, junto aos alunos do ensino médio, em aulas que utilizem um viés histórico-filosófico?

Para discutir junto aos alunos aspectos do desenvolvimento da ciência, optei pela discussão da controvérsia histórica entre a ideia de continuidade e descontinuidade da matéria situada entre a última década do século XIX e a primeira década do século XX.

A seleção do conteúdo histórico a se abordar é sempre um desafio no ensino. Porém, antes de se realizar a seleção é preciso ter definido qual o propósito educacional e quais aspectos epistemológicos se pretende evidenciar com a abordagem de determinados conteúdos históricos. (FORATO, 2011)

O conteúdo histórico deve estar adequado ao ambiente educacional em que será trabalhado. Por mais que determinado tópico seja um caso histórico com inúmeras possibilidades para discutir determinados aspectos epistemológicos, deve-se ter cuidado para saber se está num nível de dificuldade acessível aos alunos.

Para delimitar o tema da pesquisa a ser desenvolvida no mestrado, procurei fazer a opção por um tópico que estivesse presente no meu cotidiano profissional.

No ano de 2012, entrou em vigor o novo currículo mínimo da Secretaria Estadual de Educação do Estado do Rio de Janeiro, para diversas disciplinas do curso de ensino médio, dentre elas, a física. (RIO DE JANEIRO, 2012)

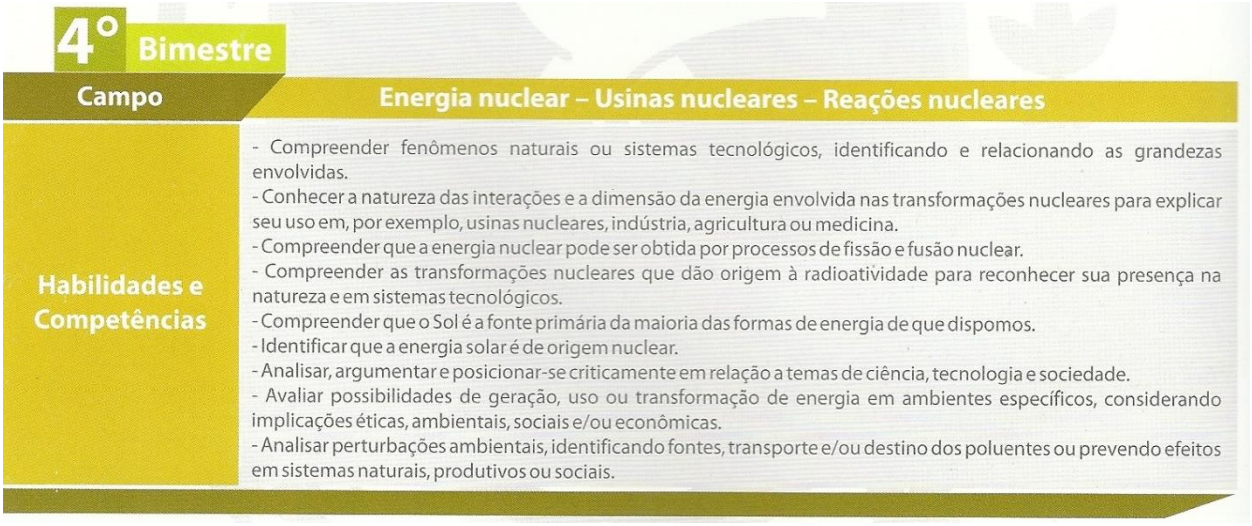
Esse novo currículo para o ensino médio da rede estadual do Rio de Janeiro, que deve ser seguido por todos os professores, traz a proposta de temas que não eram abordados pelo currículo anterior, porém sugere a utilização de uma abordagem com um enfoque histórico-filosófico.

De acordo com o texto do currículo, a proposta é de formar cidadãos:

> *"Isto é, O Currículo Mínimo apresentado busca fornecer ao educando os meios para a progressão no trabalho, bem como em estudos posteriores e, fundamentalmente, visa assegurar-lhe a formação comum indispensável ao exercício da cidadania." (RIO DE JANEIRO, 2012, p. 2)*

Neste mesmo ano da implantação do novo currículo para a disciplina de física, iniciei minha trajetória como professor da rede estadual de Rio de Janeiro. Como professor da rede, me vi então, com uma nova proposta de trabalho que não era parecida com nada do que estava acostumado a trabalhar. A nova proposta apresentava temas de Física Moderna e Contemporânea, como: Relatividade, Radiação, Energia Nuclear e Efeito Fotoelétrico.

Desta maneira, o currículo tornou-se uma espécie de desafio a ser enfrentado por mim, um professor com pouco menos de um ano de formado. Este novo desafio me levou a escolher como conteúdo de Física para desenvolver minha pesquisa um tema de Física Moderna. Dentre os vários apresentados no currículo optei pelo tema radiação. A opção por esse tema específico não se baseou somente no fato destacado anteriormente. Outro fator que foi determinante para a escolha foi o fato de a radiação ser um tema que está muito presente no dia a dia dos estudantes. Porém, mesmo o tema sendo recorrente no mundo atual, muitos alunos ainda encaram a radiação como algo mágico. (DOPAZO; FIUZA ; GUERRA, 2013)



4º Bimestre

Campo	Energia nuclear – Usinas nucleares – Reações nucleares
Habilidades e Competências	- Compreender fenômenos naturais ou sistemas tecnológicos, identificando e relacionando as grandezas envolvidas. - Conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso em, por exemplo, usinas nucleares, indústria, agricultura ou medicina. - Compreender que a energia nuclear pode ser obtida por processos de fissão e fusão nuclear. - Compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos. - Compreender que o Sol é a fonte primária da maioria das formas de energia de que dispomos. - Identificar que a energia solar é de origem nuclear. - Analisar, argumentar e posicionar-se criticamente em relação a temas de ciência, tecnologia e sociedade. - Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas. - Analisar perturbações ambientais, identificando fontes, transporte e/ou destino dos poluentes ou prevendo efeitos em sistemas naturais, produtivos ou sociais.

FIGURA. INTRODUÇÂO - Currículo Mínimo de Física do Governo do Estado do Rio de Janeiro – 2ª Série do Ensino Médio – 4º bimestre

Essas considerações levaram-me a reformular a questão da pesquisa de forma a delimitar melhor o tema escolhido. Assim a pergunta dessa pesquisa é: Quais elementos de Natureza da Ciência podem ser discutidos em sala de aula, utilizando a controvérsia histórica contínuo x discreto ocorrida no período entre 1890 e 1910?

A controvérsia contínuo x discreto é uma controvérsia recorrente na ciência. Desde a Grécia antiga, quando se discutiam questões relativas à composição da matéria, esta controvérsia já se fazia presente. Desta maneira, quando se aborda o tema radiações temos a controvérsia emergindo novamente no cenário científico.

Ao analisar os experimentos com os tubos de raios catódicos podemos perceber que haviam duas leituras para este artefato. A visão continuísta, que defendia a natureza ondulatória e a visão discreta, que defendia a visão corpuscular. Essas interpretações antagônicas levaram a novos experimentos que fomentaram discussões tanto em torno à estrutura da matéria, quanto em torno à radiação.

Desta maneira, a controvérsia será utilizada neste trabalho buscando ser um caminho para problematizar elementos de natureza da ciência junto aos alunos nas aulas relativas ao tema radiações.

Para responder ao problema central utilizando esta controvérsia, o caminho seguido ao longo deste trabalho será dividido em 4 capítulos. No primeiro capítulo será discutida e justificada a escolha de um tema de física moderna bem como a justificativa para a proposta interdisciplinar.

Ainda no primeiro capítulo, será discutida a opção pela História e Filosofia da Ciência como caminho para responder ao problema abordado nessa dissertação pergunta, bem como os obstáculos que devem ser superados ao longo deste caminho e a justificativa da opção pelo uso de uma controvérsia histórica. Além da indicação dos obstáculos, a dissertação tem como um de seus objetivos mostrar como a controvérsia escolhida pode ser útil na superação desses obstáculos.

No segundo capítulo, teremos a apresentação da metodologia utilizada nesta pesquisa. Justificando as opções feitas ao longo do trabalho e o tipo de pesquisa que será desenvolvida nesta dissertação.

No terceiro capítulo, será apresentada a controvérsia e serão indicados os elementos de Natureza da Ciência que podem ser problematizados em sala de aula com os alunos ao longo das aulas.

No quarto e último capítulo, serão apresentadas as considerações finais do trabalho junto das conclusões que foram percebidas no desenvolvimento da pesquisa visando dar resposta à pergunta central do trabalho.

Com este projeto pretende-se fornecer mais uma alternativa para os professores que tenham a intenção de discutir junto aos seus alunos noções de Natureza da Ciência e ainda facilitar esta discussão junto à história e filosofia da ciência.

Capítulo I – Física Moderna no Ensino Médio: A História e Filosofia da Ciência Como Um Possível Caminho

A questão motivadora dessa pesquisa nos levou ao tema radiação. O início dos estudos a respeito da radiação foi um pontapé inicial para o surgimento de diversos novos experimentos que vieram a levantar novas questões dentro do panorama científico do final do século XIX e início do século XX.

Estas questões foram importantes, pois, geraram novas teorias, novas propostas, como aquelas a respeito da estrutura atômica da matéria. Dessa forma, esse tema quando levado à educação básica contempla uma questão importante para a pesquisa em ensino de ciências, que é aquela relativa á inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio.

O apelo pela inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio já é algo recorrente dentro das discussões a respeito do ensino de ciências (ZANETIC; PINTO, 1999; MEDEIROS, 2007 ; MONTEIRO; NARDI, 2007; TERRAZZAN, 1992). Muitos trabalhos surgiram, nas duas últimas décadas, a respeito do assunto, porém isso não impactou as escolas, no que tange ao ensino de Física. O tema ainda está muito distante das salas de aula de Física. A própria matriz de conteúdos do ENEM, para a área de Física, não contempla tais assuntos.

Uma das questões apontadas pelas pesquisas em torno do tema é que ao se introduzir a Física Moderna e Contemporânea na educação básica, é preciso superar as práticas que a apresentem como mera curiosidade. É importante discuti-la como um novo modelo explicativo para fenômenos que a física clássica não é capaz de explicar. (ZANETIC; PINTO, 1999; BAROJAS, 1988; WILSON, 1992; Apud Ostermann e Moreira, 2000).

Para melhor entender o panorama das discussões a respeito da inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, vamos analisar alguns trabalhos que tem por característica apresentar um levantamento de artigos a respeito do tema.

Em OSTERMANN e MOREIRA (2000) são analisados trabalhos desde 1970 até o ano de publicação do artigo. Nessa análise, é encontrada uma lista dos temas mais comuns de serem utilizados nos trabalhos envolvendo Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. Os temas mais comuns de serem abordados nas pesquisas são: Relatividade, Mecânica quântica, Efeito Fotoelétrico e Partículas elementares.

Dando sequência a esse trabalho, PEREIRA e OSTERMANN (2009) analisam artigos publicados em periódicos científicos no período de 2001 a 2006. Nessa nova pesquisa é perceptível o aumento no número de trabalhos publicados referente ao ensino de Física Moderna e Contemporânea.

Esse crescente aumento no número de publicações a respeito do tema só vem a mostrar que existe uma preocupação cada vez mais forte não somente com a divulgação científica de temas de Física Moderna e Contemporânea, mas também com questões educacionais onde os temas são pensados de maneira a serem inseridos na pratica docente da educação básica.

Os temas de Física Moderna e Contemporânea passaram a tornar-se temas discutidos com base em ações pedagógicas, com vistas a refletir sobre como esses temas devem ser ensinados. Este fato foi reforçado pelo fato desses temas já fazerem parte do currículo do ensino de ciências de alguns países.

Trabalhos como os de Lobato e Greca (2005) apresentam discussões sobre alguns currículos de ciências de diversos países como Portugal, Espanha, Reino Unido, França, Dinamarca, Suécia, Canadá e Austrália onde são abordados temas como Relatividade, partículas subatômicas, dualidade onda-partícula e Teoria Quântica.

Mesmo com todas as defesas da implementação da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, muitos obstáculos são apresentados. As principais dificuldades indicadas são a falta de tempo, o complexo formalismo matemático, a abstração de determinados conceitos e a consideração por parte de alguns professores de que os conceitos de Física Moderna e Contemporânea deveriam ser trabalhados somente depois de todos os conceitos da física clássica terem sido abordados. (MONTEIRO, 2009)

Na discussão desses obstáculos, pesquisadores mostram que a abstração dos conceitos de física moderna não é um obstáculo exclusivo deste ramo da física. Muitos conceitos da Física Clássica e Contemporânea também se apresentam abstratos, como por exemplo, o conceito de energia e o conceito de campo. (MEDEIROS, 2007 ; MONTEIRO;NARDI, 2007).

A complexidade dos formalismos matemáticos utilizados na Física Moderna e Contemporânea também é uma dificuldade que pesquisadores apontam que pode ser minimizada, visto que a matematização não é o objetivo da abordagem dos conceitos no ensino médio. A apresentação e discussão destes novos conceitos é o objetivo a ser atingido, de forma a possibilitar que os estudantes tenham uma visão mais atual e menos matematizada da ciência (JUNIOR; CRUZ, 2009).

Se analisarmos a divisão mais comum dos conteúdos de Física no Ensino Médio, podemos perceber que ela segue a mesma ordenação ditada pelos manuais de ensino de Física do século passado. Todos os conteúdos de Física ensinados hoje estão basicamente concentrados entre início do século XVII e final do século XIX. (TERRAZZAN, 1992)

Terrazzan (1992) chama a atenção para a divisão mais comum dos programas de física, relativos ao Ensino Médio, que se reduz à: cinemática, leis de Newton, termologia, óptica geométrica, eletrostática e circuitos simples. Devido a esta divisão, os conteúdos que se referem à Física Moderna e Contemporânea não chegam a atingir os estudantes.

A discussão de temas de Física Moderna e Contemporânea é importante para os alunos entenderem como é o funcionamento do mundo atual, visto que muitas das tecnologias utilizadas hoje baseiam-se em conhecimentos relativos a esta parte da física. Como afirma TERRAZZAN(1992):

> *"A influência crescente dos conteúdos de Física moderna e Contemporânea para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como a inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão neste mesmo mundo, define, por si só, a necessidade de debatermos e estabelecermos as formas de abordar tais conteúdos na escola de segundo grau." (TERRAZZAN, 1992, p. 210)*

Pensando ainda na seleção dos conteúdos a serem trabalhados no Ensino Médio, estes devem apresentar tópicos que privilegiem leis gerais e fundamentais, tomando ainda o cuidado de considerar as possibilidades de abordagem destes tópicos de modo a não demandar cálculos matemáticos muito complexos (TERRAZZAN, 1992).

Para o caso da presente pesquisa, é importante ressaltar que no novo currículo mínimo do Estado do Rio de Janeiro, que já foi citado anteriormente, temas de Física Moderna e Contemporânea estão presentes em todas as séries do Ensino Médio. Os temas indicados para serem abordados são: Relatividade, na primeira série; Radiação, Reações nucleares e Energia nuclear, na segunda série e Efeito Fotoelétrico, na terceira série.

Dentre os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea propostos pelo currículo mínimo, o tema relatividade e o tema efeito fotoelétrico são temas que dentro da literatura são recorrentemente defendidos como importantes de serem trabalhados e são os temas que mais foram explorados nas pesquisas empíricas sobre a introdução de temas de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; PEREIRA;OSTERMANN, 2009)

Devido a este fato, a opção por trabalhar o tema radiação vem da tentativa de produzir reflexões que possibilitem contribuições para o ensino deste tópico, não tão explorado, nas pesquisas de ensino de Física voltadas para o ensino médio, mas presente nos livros de Química de Ensino Médio.

Seguindo ainda as diretrizes estabelecidas pelo currículo mínimo do Estado do Rio de Janeiro, tentamos estabelecer alguma relação entre o tema e outras disciplinas do currículo do

Ensino Médio. Desta forma, esta pesquisa visa apresentar uma proposta de trabalho com o tema de maneira que a interdisciplinaridade esteja presente no projeto.

I.1 – A proposta de maneira Interdisciplinar

A radiação é um tema da física, que dentre tantos outros, apresenta a possibilidade de ser abordado por mais de uma disciplina, como por exemplo, os modelos atômicos, a evolução dos modelos explicativos para o sistema solar e questões relativas a usinas de produção de energia.

Desta forma, conseguir explorar o tema em conjunto com outras disciplinas é uma maneira de enriquecer o aprendizado, fazendo com que o tema possa ser visto pelos alunos de maneira mais ampla.

Esse ponto foi importante para a decisão da escolha da controvérsia a ser utilizada nesta pesquisa, visto que esta não é restrita apenas à Física. A controvérsia em torno à continuidade ou não da matéria, é um tema que passa pela Física, pela Química, pela Biologia e também pelas Artes.

Desta maneira além de fornecer suporte para as aulas de Física, o trabalho tem a proposta de se apresentar como um esboço para um possível projeto futuro interdisciplinar envolvendo as disciplinas já citadas acima.

O apelo por projetos interdisciplinares não é um tema inovador e inédito nos estudos de educação. Desde a década de 70 o tema é discutido. A diferença está no enfoque dado aos trabalhos desenvolvidos ao longo dos anos. (FAZENDA, 1994)

A década de 70 foi marcada pela busca de uma explicação filosófica, epistemológica e uma definição do conceito de interdisciplinaridade. Na década de 80 temos uma discussão mais sociológica enfocada na busca do desenvolvimento de um método interdisciplinar. Já a década de 90 foi marcada pela tentativa da construção de uma nova teoria sobre interdisciplinaridade. (HARTMAN, 2007, p. 35)

O ensino por disciplinas faz uso do raciocínio lógico formal. Desta forma o estudante tende a pensar de maneira excludente, selecionando o que é e o que não é parte da disciplina que lhe é apresentada. O aluno, então, tende a acumular conhecimento de maneira fragmentada (LÜCK, 1994, p. 50).

A ideia de ensino fragmentado vai na contramão do ideal proposto neste trabalho, onde o objetivo é dar subsídios para um ensino integrado entre as disciplinas. Tendo como objetivo mostrar ao estudante que o olhar para o conteúdo a ser aprendido não deve ser restrito e sim ser um olhar mais amplo.

As organizações curriculares que privilegiam a especialização acabam por conduzir o aluno a uma visão limitada e restrita. Com isso o ensino disciplinar restrito acaba por fazer com que o estudante tenha conhecimento sobre determinado tópico, mas não seja capaz de fazer conexão deste ponto com outra área de conhecimento. (Kuhn, 1962)

Como ressalta Japiassu:

> *"Chegamos a um ponto em que o especialista se reduz àquele que, às custas de saber cada vez mais sobre cada vez menos, termina por saber tudo sobre o nada. Torna-se uma ilha de saber, cercada por um oceano de ignorância." (JAPIASSU, 1992, p.83)*

Com isso, partimos do princípio que o projeto interdisciplinar vem justamente com a proposta de romper com essa restrição.

A interdisciplinaridade possui diversos objetivos no ensino. Fazenda(2002) ressalta a diversidade de objetivos que podemos alcançar quando utilizamos uma abordagem interdisciplinar. Desta forma surgem justificativas importantes para a defesa do uso da interdisciplinaridade no ensino.

Primeiramente, a autora destaca a capacidade de preparar o estudante para conhecer o mundo na sua totalidade, dando a ele a capacidade de perceber seus inúmeros aspectos (FAZENDA, 2002).

É destacada também, a capacidade de permitir que os estudantes desenvolvam melhor suas atividades, assegurando uma melhor orientação na definição do papel que cada um deve desenvolver na sociedade (FAZENDA, 2002).

Outro objetivo da abordagem interdisciplinar é dar condições aos estudantes, após terem concluído sua vida escolar, de continuar sua educação. (FAZENDA, 2002)

A interdisciplinaridade também tem a capacidade de fomentar o surgimento de novas áreas de conhecimento permitindo ao aluno uma série de adaptações profissionais futuras. (FAZENDA, 2002)

A interdisciplinaridade prepara os estudantes para lidar com a necessidade de estudar situações mais complexas. Com isso o educando desenvolve uma melhor capacidade para dialogar de maneira mais eficiente com pesquisadores de diversas áreas. (FAZENDA, 2002)

Este trabalho interdisciplinar integrado entre as disciplinas deve sempre abordar aspectos da realidade do estudante, contextualizando os conceitos científicos abordados com aspectos socioculturais buscando promover no estudante a compreensão das diferentes formas de linguagem utilizadas na divulgação científica.

Dada a relação próxima existente nestas disciplinas escolares do Ensino Médio com as disciplinas acadêmicas os projetos interdisciplinares são de grande importância no nível médio. Na reforma curricular do ensino médio no Brasil no fim dos anos 90, a interdisciplinaridade é um dos princípios básicos, porém sempre com a ressalva de que não se trata da superação das disciplinas, apenas uma integração.

De acordo com as ideias apresentadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM):

> *"A interdisciplinaridade não dilui as disciplinas, ao contrário, mantém sua individualidade. Mas integra as disciplinas a partir da compreensão das múltiplas causas ou fatores que intervêm sobre a realidade e trabalha todas as linguagens necessárias para a constituição de conhecimentos, comunicação e negociação de significados e registro sistemático dos resultados" (BRASIL, 2002, p. 89).*

Trata-se de uma religação de fronteiras entre conhecimentos que ao longo do tempo sempre foram interpretados como isolados, sendo capaz de gerar um enriquecimento, e não uma superação, das disciplinas envolvidas na atividade interdisciplinar.

Como caminho a ser seguido para que esta religação entre as fronteiras do conhecimento sejam atingidas é escolhido nesta pesquisa trabalhar com a História e Filosofia da Ciência. No item seguinte, discutiremos a opção por trabalhar com abordagem histórica e como esta abordagem nos permite pensar na viabilização de um ensino interdisciplinar.

I.2 - Em defesa da História da Ciência como o caminho a ser seguido

A defesa da História e Filosofia da Ciência em sala de aula não é algo inovador. Alguns autores (ALMEIDA, 2004 ; ALLCHIN, 2010; KHALICK; LEDERMAN, 2000; ALLCHIN, 2004; FORATO, 2009; MARTINS, 1990; MATTHEWS, 1991; 1995; GUERRA et al., 2002; SILVEIRA e PEDUZZI, 2006) defendem que um ensino com enfoque histórico-filosófico da Ciência é capaz de contextualizar melhor os conteúdos, mostrando aos alunos que o conhecimento científico é construído por pessoas normais e não por gênios. Fora isso, pesquisadores como Forato (2011) defendem que tal abordagem permite aos alunos "uma compreensão mais ampla do papel da ciência na sociedade contemporânea" (FORATO, 2011, p.29).

Um enfoque histórico-filosófico, podemos pensar a ciência não somente de forma tecnicista, desta maneira sendo capaz de transpor a fragmentação do conhecimento gerada pela especialização. Podemos ainda discutir com os alunos questões relativas à outras visões de natureza, diferentes não a visão hegemônica, a percepção de que os modelos e as teorias, são um produto humano, logo devem ser pensados como uma possível descrição da realidade e não como uma realidade concreta.

A utilização de uma abordagem histórica pode conferir significado às noções epistemológicas abstratas. Ela é capaz de contribuir para evitar visões distorcidas sobre o fazer científico, permitindo assim que os alunos desenvolvam uma visão mais ampla dos conhecimentos científicos e sobre sua construção. Dessa forma, ela é uma ferramenta que potencializa no aluno o entendimento dos processos que ocorreram durante a construção dos conceitos a serem elaborados (FORATO, 2011; MARTINS, 2007).

A História da Ciência é uma ferramenta capaz de permitir a problematização a respeito de situações ocorridas na ciência, sendo, assim, uma boa alternativa para se discutir junto aos alunos questões a respeito da Natureza da Ciência (FORATO, 2011). Como defendido por Allchin (2010): “História e perspectiva histórica são indispensáveis para lições completas a respeito de NdC” (ALLCHIN, 2010, p. 8).

De acordo com Khalick e Lederman (2000) os alunos egressos do Ensino Médio possuem visões deturpadas a respeito da Natureza da Ciência. Este fato faz com que os estudantes sigam com estas visões deturpadas, e muitas vezes ingênuas, ao longo de suas vidas deixando de refletir a respeito de situações do cotidiano onde o conhecimento a respeito da Natureza da Ciência se tornaria útil em tomadas de decisões, como por exemplo, decidir entre fazer ou não uma cirurgia, ingerir ou não uma determinada droga como medicamento. (KHALICK; LEDERMAN, 2000)

A discussão a respeito da Natureza da Ciência é um ponto capaz de trazer muitos benefícios para o processo de formação dos estudantes no Ensino Médio. Os principais benefícios da discussão da Natureza da Ciência com os alunos são divididos por Lederman (2000) em cinco parâmetros denominados por ele, como: utilitário, democrático, cultural, moral e aprendizado.

O utilitário se refere à contribuição no dia a dia dos cidadãos, ou seja, no gerenciamento de objetos tecnológicos e na utilização das informações científicas. O democrático se refere ao fato de que a compreensão da Natureza da Ciência se faz necessária em tomadas de decisões conscientes e informadas, sejam elas individuais ou coletivas. O cultural implica que o entendimento da Natureza da Ciência é importante no entendimento da ciência como parte da cultura. O moral refere-se ao fato de que a compreensão da Natureza da Ciência é capaz de ajudar os alunos na compreensão das normas éticas e de validação de conhecimento que existem na comunidade científica. Já o aprendizado indica que a compreensão da Natureza da Ciência é capaz de facilitar o aprendizado dos conteúdos científicos ensinados nas aulas (LEDERMAN, 2000).

No currículo nacional para o ensino de ciências vigente na Grã-Bretanha, alguns pontos específicos a respeito da NdC são enfatizados como primordiais a serem abordados durante o processo de educação dos estudantes. São eles: a impossibilidade de observação inicial sem

ideias pré-existentes; a natureza não apresenta evidencias suficientes para que seja interpretada sem ambiguidades; as teorias científicas são hipóteses imaginadas pelos cientistas que vão além das observações; a impossibilidade de provas de teorias científicas; o fato do conhecimento científico não ser estático e convergente, mas sim mutável e aberto; o pensamento científico é influenciado por fatores sociais, morais, religiosos e culturais; os cientistas não elaboram deduções incontestáveis, fazem apenas julgamentos complexos; o desacordo entre teorias é sempre possível.(PUMFREY, 1991).

Mesmo tendo a clareza das grandes diferenças entre a realidade educacional brasileira e a realidade britânica, estes pontos são aspectos que podem ser discutidos em nossa realidade, de modo a propiciar uma visão mais complexa a respeito da ciência nos nossos estudantes.

Allchin (2010) defende que os alunos devem ser encorajados a uma reflexão explícita, sobre a Natureza da Ciência, sendo levados a problematizar sobre casos históricos, mesmo nos primeiros contatos com as ciências. Este fato pode potencializar a capacidade de o aluno ter uma visão mais crítica sobre o conhecimento científico e, portanto, uma compreensão dos aspectos da Natureza da Ciência.

Uma abordagem pautada em História e Filosofia da Ciência é um caminho para se agregar aos conteúdos científicos trabalhados aspectos formativos, políticos e culturais, mostrando aos alunos que a ciência não se constrói de maneira isolada de um contexto. Podendo ainda favorecer a uma construção mais ampla e complexa do conhecimento científico e, portanto, mostrando que a ciência é uma construção cultural. Desta forma, esta abordagem possibilita ao professor trabalhar a ciência de forma interdisciplinar (FORATO,2011; TAVARES, 2010).

Porém mesmo com essas evidências, trabalhar o ensino de ciências com um enfoque histórico-filosófico não é uma tarefa simples. Alguns autores (ALLCHIN, 2004; FORATO, 2011; MARTINS, 2005; MARTINS, 2007) já indicam que este caminho não é trivial e que alguns obstáculos devem ser superados.

Vários professores sentem-se perdidos em como utilizar uma abordagem histórico-filosófica, ao mesmo tempo em que consideram o conteúdo científico como o objetivo mais importante de seu próprio ensino e a discussão de História da Ciência e Natureza da Ciência como algo periférico não pertencente á sua disciplina (HÖTTECKE; SILVA, 2011). Dessa forma, o desenvolvimento de estrategias para o desenvolvimento de aulas com enfoque histórico-filosófico sofre com a falta de apoio dos professores.

Muitos são os obstáculos para a abordagem histórico-filosófico, neste trabalho destacaremos apenas cinco obstáculos considerados diretamente relacionados com a pesquisa aqui apresentada.

Neste caso, sabemos que o recorte feito fará com que sejam deixados de lado alguns obstáculos existentes, como por exemplo: a qualidade do conteúdo histórico dos livros textos, a cultura didática dos professores, a formação específica dos professores, dentre tantos outros. (FORATO, 2011; HÖTTECKE, SILVA, 2011). Este fato não significa que os obstáculos deixados de lado neste trabalho sejam considerados menos importantes. Esta opção foi feita unicamente buscando focar nos obstáculos cuja discussão irá contribuir diretamente com o presente trabalho.

I.2.1 Pseudohistória

Um dos obstáculos que surge ao se optar por uma abordagem histórico-filosófica é a chamada pseudohistória. Segundo Allchin (2004), a pseudohistória usa fatos seletivos e dramatiza os cientistas, aumentando o caráter romanceado e simplificando o processo de construção da ciência.

Devemos, ainda, considerar sempre que qualquer narrativa histórica seja ela de um texto produzido pelo professor ou um texto retirado de alguma fonte, sempre vai trazer consigo uma visão de ciência. Cada texto carrega consigo a visão de ciência que seu autor possui a respeito da construção do conhecimento científico. (FORATO,2011)

Um dos fatores que mais se faz ausente em casos que se configuram pseudohistórias é a ausência do contexto no qual o trabalho científico está inserido. Sem isso o conhecimento acaba por ser esvaziado e se tornar isolado do seu meio produtor.

Ao se levar a História e Filosofia da Ciência para a sala de aula é preciso tomar cuidado para não cometer este possível erro, pois esta abordagem errônea apenas contribui para dar força aos estereótipos da ciência, como: O grande Isaac Newton ou o Genial Albert Einstein (FORATO,2011, p.39)

Dessa forma, deve-se tomar o cuidado para não construir mitos e alegorias que levassem à sala de aula narrativas que tendem a engrandecer as realizações de determinados personagens desvalorizando assim outros cientistas. (ALLCHIN, 2004,)

Segundo Allchin (2004), a utilização de uma pseudohistória leva a criação de uma pseudociência, uma vez que ao discutirmos ciência baseado em uma pseudohistória da ciência, acabamos por gerar uma imagem deturpada da construção do conhecimento científico. (ALLCHIN, 2004,)

Um dilema que sempre está presente nas atividades desenvolvidas é que apesar de a pseudohistória ser um perigo, devemos considerar também que os professores de ciência não são especialistas em História da Ciência.

Mesmo sem uma formação específica é fundamental que, os professores que se mostrem interessados em utilizar uma abordagem histórica nas aulas de ciências, tenham a capacidade de identificar situações que representem uma pseudohistória. (ALLCHIN, 2004,)

Os livros de ciência estão cheios de casos que representam histórias romanceadas como, por exemplo, o caso de Newton e a maçã, Galileu e a torre de Pizza, Arquimedes e a Eureca, portanto, saber filtrar os casos historicamente incoerentes é fundamental para uma discussão baseada em tópicos sobre a História da Ciência.

Para identificação de pseudohistórias, Allchin (2004) indica algumas características que essas histórias deturpadas apresentam. A primeira característica é a de ressaltar uma descoberta monumental, construindo com isso a visão de que o cientista é uma pessoa com inteligência além do normal.

Podemos ainda com relação ao primeiro aspecto ressaltado perceber a noção de que o conhecimento científico é feito de descobertas, como se tudo estivesse na natureza pronto para ser desvendado.

A segunda característica forte destas histórias é a idealização dos personagens. Nesse ponto, as pseudohistórias tendem a dramatizar a descoberta sempre visando enaltecer algum personagem. Normalmente esses relatos incompletos contém apenas os acertos dos cientistas, ignorando o processo de construção dessas deias. (MARTINS, 2000,2001,2006a; TEIXEIRA e SILVA,2009)

Como terceira característica, temos a presença forte da ideia de um falso método científico, o qual é tido como infalível para o sucesso da ciência. De acordo com essa visão o método universal da ciência é feito com experimentos que ocorrem sem erros, transmitem a ideia de que interpretar as evidências é algo trivial.

Um exemplo comum, já citado anteriormente, de pseudohistória é a lenda da maçã que teria despencado de um galho em direção à cabeça de Isaac Newton. Introduzir certas historinhas como essa, parece ser uma prática corriqueira dos professores, normalmente tentando melhorar a motivação nas aulas. (MARTINS 2006b, p. 170)

A versão mais comum desta anedota ressalta que Newton ao perceber a queda da maçã teria pensado que haveria uma força da Terra, atraindo a maçã. Força esta que ele chamou de gravidade. Essa versão da história da gravidade passa a ideia de que Newton teria sido a primeira pessoa a pensar sobre isso e ainda retrata o fato, como se o próprio Newton nunca houvesse pensado nisso antes. (MARTINS, 2006, p. 172)

Ao contar aos alunos essa história genérica os professores acabam por ressaltar aspectos que tendem a deturpar a visão dos alunos sobre a ciência. O primeiro deles é o fato de que essa “história” passa aos estudantes a ideia de que a ciência se desenvolve ao acaso.

De acordo com essa versão, se Newton não tivesse vivenciado a queda da maçã não saberíamos até hoje como são as leis da Gravitação Universal. (MARTINS, 2006, p.186)

Outro aspecto é o fato de que essa narrativa apresenta a ideia de que a ciência é construída por homens especiais, gênios. De acordo com essa versão, apenas Newton percebeu a Força Gravitacional atuando entre a maça e a Terra. Considerando que objetos caindo é um fato corriqueiro do dia a dia, seria desmerecedor pensar que todas as outras pessoas ao observarem corpos em queda nunca foram capazes de pensar a respeito deste fenômeno.

Ao mostrar aos alunos essas pseudohistórias, descartamos todos os estudos previamente realizados por Newton que foram primordiais para que o fato da maçã, caso seja um acontecimento verdadeiro, pudesse ter sido fator desencadeador de novas ideias.

Em contraposição a lendas como a da maça, devemos sempre mostrar ao aluno o fato de o conhecimento científico ser uma construção coletiva. Considerando que debates sobre certos temas são presentes e fundamentais para o desenvolvimento da ciência.

Uma possível saída para este problema seria o professor confrontar, junto aos seus alunos, diferentes versões de um mesmo caso histórico analisado, fazendo com isso que o aluno comece a desenvolver uma visão crítica a respeito do processo de construção do conhecimento científico e com isso comece a ser capaz de identificar possíveis histórias tendenciosas e/ou equivocadas.

Outra característica das pseudohistórias é a construção linear dos acontecimentos científicos. Esse ponto é de difícil superação visto que o ensino de ciências já tem enraizado uma forte tradição da história em mostrar o conhecimento construído de forma linear, de acordo com a visão adotada pelos livros didáticos (MARTINS, 2001)

Ao debatermos a construção linear do conhecimento científico, não discutimos a relação existente unicamente com a cronologia. Muitas das vezes a ciência é apresentada de forma que os conhecimentos desenvolvidos se mostram como degraus em uma escada. Sendo impossível chegar ao segundo, sem passar pelo primeiro. A construção linear não tem necessariamente uma relação cronológica.

Os livros didáticos utilizados no Ensino Médio tendem a utilizar a História da Ciência apenas em boxes isolados dos contextos e tendendo sempre a simplificar a construção dos conhecimentos científicos. Esta simplificação acaba por passar para os alunos uma pseudohistória, visto que não considera muitos fatores que influenciam no desenvolvimento da ciência. (MARTINS, 2001; SILVA, TEIXEIRA; 2009)

Se olharmos como os livros do Ensino Médio abordam o fenômeno da indução eletromagnética, é perceptível uma apresentação linear, baseada nas sequências de datas

associadas às grandes realizações científicas. Dessa forma a ciência é apresentada de uma maneira desvinculada de fatores externos como a economia, religião, cultura e até mesmo a política. Os desenvolvimentos científicos são apresentados seguindo uma sequência lógica, omitindo-se os debates e questões extras científicas que estiveram ligadas, mesmo que indiretamente, ao pensamento científico da época (CARVALHO, 2007).

Os manuais de física utilizados no ensino básico visam apenas familiarizar os alunos com determinado paradigma, visando ensinar conceitos e principalmente a resolução de problemas. Estes manuais não buscam discutir a epistemologia da ciência, o caminho que foi percorrido até os resultados apresentados por eles, normalmente em forma de "fórmulas", torna-se dispensável e acaba por reduzir a ciência a uma mera utilização de certo conceito, sem problematizar como se chegou até aquele ponto.

No geral, os livros texto utilizados no ensino médio tendem a distorcer e apresentar uma história caricaturada, sempre adotando uma visão empirista. Este fato tende a levar os estudantes a desenvolverem um pensamento de que a ciência se constrói de maneira empírica (SILVEIRA e PEDUZZI, 2006)

Ao buscar uma compreensão mais ampla da construção do conhecimento científico, não estamos desconsiderando que a empiria seja algo importante na construção da ciência, mas concordando com Silveira e Peduzzi (2006) buscamos uma visão maior, que percebe que as relações entre os experimentos e as teorias é mais complexa do que a visão puramente empirista.

I.2.2 Anacronismo

Ao seguir uma discussão que analise casos históricos o professor deve estar sempre atento para que seu discurso, bem como a análise feita dos episódios não seja anacrônica.

Segundo Forato (2011):

> *"Interpretar o passado anacronicamente, com valores, ideias e crenças de outra época, ou mediante normas e padrões atuais é um dos erros mais graves que se pode cometer e, ao mesmo tempo, um dos problemas historiográficos mais corriqueiros, encontrado tanto na divulgação científica quanto no ambiente escolar." (FORATO, 2011,p.37)*

O anacronismo é o erro mais comum. Ele vai na contramão do princípio básico da historiografia que é o respeito ao contexto histórico da narrativa que está sendo apresentada.(FORATO, 2009, p.20)

Vale ressaltar que o anacronismo pode se apresentar de maneiras diferentes. Uma das mais comuns é o chamado whiggismo. Dentro dessa perspectiva ocorre uma interpretação, parcial, de fatos históricos que buscam enaltecer a figura de personagens do passado. Nessa

perspectiva, a história passa a ser utilizada, visando legitimar o poder e exaltar certos grupos. (FORATO, 2011,p. 37)

Na obra The Whig Interpretation Of History, de 1931, Herbert Butterfield destaca que este seria o maior pecado cometido por um historiador. O autor então, caracteriza a história Whig como sendo uma história que considera a existência de um momento de lampejo genial do cientista, desconsiderando o contexto ao seu redor e a crença de que é possível solucionar dilemas científicos de modo simples, direto e impessoal.

Deixando de lado todos seus possíveis erros e o contexto em que ele estava inserido esta abordagem é altamente prejudicial, pois ao mostrar apenas as “vitórias” que determinados cientistas obtiveram, acaba por aumentar o caráter de mito em torno dos personagens da ciência, fortalecendo assim visões deturpadas da ciência por parte dos estudantes.

Uma reconstrução que cometa whiggismo tende a desconsiderar toda a riqueza e complexidade do fazer científico envolvido no processo de elaboração do conhecimento científico. Nesse caso, perde-se a contribuição ocorrida nos debates, nos erros, nas teorias que vieram a ser superadas e também a contribuição de fatores extra científicos. (FORATO, 2011 p.20)

Uma abordagem anacrônica acaba por analisar a história de modo preconceituoso, visando enaltecer teorias similares às teorias utilizadas hoje. A análise deve ser feita levando em conta fatores sócio-culturais da época. Por isso, é importante que ao se utilizar a História da Ciência, as comparações sejam feitas entre teorias do mesmo período, mediante os critérios de validação de cada cultura.

Percebemos perceber a presença deste obstáculo, por exemplo, quando analisamos as obras de Newton e destacamos suas contribuições em mecânica e no cálculo diferencial e integral, descartando assim suas ideias a respeito de alquimia e da luz.

Outra maneira que o anacronismo se apresenta é o que chamamos de hagiografia. Autores como Allchin (2004) e Forato (2011) chamam a atenção para o fato de esta ser um tipo específico de whiggismo.

De acordo com Forato (2011), a hagiografia é a “biografia dos santos e mártires”. Dentro desta perspectiva, romantiza-se certos pensadores da ciência do passado como heróis. A hagiografia busca santificar o pensador em questão, desconsiderando seus erros e o transformando algumas vezes em um mártir. Com isso os cientistas que teriam teorias concorrentes com o personagem defendido acabam por ser ignorados, diminuídos ou ridicularizados. (FORATO, 2011; ALLCHIN, 2004).

Em obras mais superficiais a respeito dos trabalhos de Marie Curie, podemos perceber algumas vezes a presença da hagiografia. A cientista polonesa é comumente tratada como uma mártir, tendo desenvolvido doenças e dado a vida em prol da ciência.

Dentro dessa perspectiva são desconsideradas as contribuições anteriores ao personagem estudado. Dessa forma toda a bagagem histórica que o cientista descrito carregava, e que certamente foi importantes para a construção das suas teorias, é esquecida para enaltecer apenas o indivíduo em questão.

Muitas das vezes, uma narrativa histórica anacrônica, se deve muito mais ao não conhecimento da História da Ciência, do que de uma opção consciente do autor. (FORATO, 2011)

I.2.3 Seleção do conteúdo histórico

A seleção do conteúdo histórico a se abordar é sempre um desafio no ensino. Porém antes de se realizar a seleção é preciso ter definido qual o propósito educacional e quais aspectos epistemológicos pretendem ser trabalhados com a abordagem de determinados conteúdos históricos. (FORATO, 2011)

O conteúdo histórico deve estar adequado ao ambiente educacional em que será trabalhado. Por mais que determinado tópico seja um caso histórico com inúmeras possibilidades para discutir determinados aspectos epistemológicos, deve se ter cuidado para saber se o mesmo encontra-se adequado em termos de abstração e dificuldade ao nível dos alunos.

É importante admitir também a necessidade de adaptações do conhecimento científico ao ambiente escolar. Mas essa necessidade não deve ser entendida de maneira a tolerar uma construção errada ou distorcida de uma narrativa histórica. A distorção de uma narrativa, acaba por afetar de maneira imediata a concepção de ciência que será adquirida pelos estudantes. (FORATO, 2009, p.15)

Nessas situações deve-se escolher outro tema no qual as dificuldades de conteúdo não sejam um fator que limitaria o trabalho a ser desenvolvido.

I.2.4 Tempo didático

Um importante fator a ser levado em consideração na utilização de uma abordagem histórica em sala de aula diz respeito ao tempo disponível para fomentar as discussões. Não estamos falando apenas no número de aulas disponíveis, mas no tempo necessário para a compreensão por parte dos alunos.

Este é um obstáculo que deve ser encarado como um fator característico do contexto onde será desenvolvido o trabalho. Em determinados locais o tempo disponível para a

abordagem indicada pode ser maior do que em outros locais e este fator deve ser levado em consideração. Este obstáculo deve ser superado sempre observando as características e particularidades do local onde o trabalho será desenvolvido.

O problema do tempo didático pode parecer, à primeira vista um ponto óbvio a se pensar e prático de se resolver, porém nem sempre funciona desta maneira. A utilização da História da Ciência para discutir aspectos epistemológicos da ciência não é trivial. (FORATO, 2011)

Mesmo professores experientes, com boa maturidade profissional para distinguir o tempo necessário para tratar determinados conceitos de ciência, devem atentar para o caráter multidisciplinar da discussão, que utiliza uma discussão complexa e não tão previsível quanto em discussões de tópicos científicos específicos.

A complexidade de um episódio histórico poderá requerer mais tempo para que um aluno compreenda os elementos envolvidos na discussão, de modo a que as discussões epistemológicas sejam realizadas de maneira proveitosa. O tempo necessário varia de acordo com cada ambiente educacional e, em geral, implicará numa restrição na quantidade de conteúdo histórico possível de se abordar, visando uma abordagem que não fique na superficialidade.

I.2.5 Simplificação e Omissão

Um fator que deve se ter em mente com relação ao uso de História da Ciência em sala de aula diz respeito ao nível de aprofundamento que deve ser dado aos conteúdos históricos selecionados.

Os perigos desse obstáculo estão no fato de selecionar determinados aspectos a serem omitidos na discussão. A escolha de quais detalhes poderiam ser omitidos, sem afetar a qualidade da narrativa escolhida para a discussão não é uma tarefa trivial, mas sim um desafio bem mais complexo do que se pode pensar à primeira vista.

O problema em se deixar de lado certos fatores reside na seleção de quais fatores são os mais importantes. Esta escolha pode distorcer a ideia que será passada a respeito do funcionamento da ciência. Uma omissão feita sem cuidado pode resultar na transmissão de uma visão simplista, superficial e equivocada de determinado episódio da história da ciência.

Temos sempre que ter em mente que a omissão sempre estará ligada a um posicionamento de valores pessoais dos responsáveis pela omissão. Este é um ponto que sempre estará vinculado a uma escolha que deve ser feita pelo professor e cada escolha feita implicará em um ganho em certo aspecto e numa perda em outro.

Este ponto está diretamente ligado à questão da extensão e do nível de profundidade que se pretende empregar ao trabalho. Esse ponto é evidenciado por Forato (2011) quando a autora defende que se deve:

> *"Conciliar as prescrições historiográficas e didáticas para não se construir uma HC distorcida e, ao mesmo tempo, favorecer uma compreensão da construção da ciência em uma perspectiva histórica mais ampla, de modo que o aluno entenda o tema abordado no tempo histórico." (FORATO, 2011, p. 51)*

A omissão de conteúdos com o intuito de simplificar determinado tema para ser abordado nas aulas deve sempre seguir alguns pontos norteadores como, por exemplo, o objetivo pedagógico e o nível de escolarização envolvido.

Em determinada abordagem, visando algum objetivo específico, certo aspecto histórico pode parecer desnecessário e possível de ser omitido, porém isto deve estar claro na atividade do professor que visa utilizar uma abordagem histórico-filosófica no ensino de ciências.

Assim como, certos tópicos de ciência, que ao serem abordados, podem requerer determinado conhecimento de matemática, o que dificultaria este tema em determinado nível de ensino. Com isso, é necessário que o professor tenha em mente sempre que o nível de escolarização está ligado aos pré-requisitos necessários aos estudantes para entender determinado assunto.

Esta revisão da literatura nos mostra que algumas preocupações devem existir num trabalho pautado em História e Filosofia da Ciência de modo a superar os obstáculos destacados nos itens anteriores. Muitos são os caminhos a serem seguidos para a superação desses obstáculos. Dentre os possíveis caminhos, escolhemos para essa pesquisa estudo de controvérsias históricas nas aulas de ciências, e mais especificamente, nas aulas de Física.

I.3 A controvérsia como uma ferramenta para trabalhar radiação

As pesquisas em ensino de ciências apontam alguns caminhos a serem seguidos para a construção de práticas pedagógicas que visem abordar os conteúdos científicos em um viés histórico-filosófico. O trabalho com controvérsias históricas é uma das possibilidades apontadas. (BRAGA, GUERRA, REIS, 2012)

A História da Ciência apresenta diversos casos onde controvérsias se estabeleceram durante um período, buscando a interpretação de fenômenos. Podemos citar como exemplos de controvérsias históricas: aquela estabelecida no século XVIII em torno da existência ou não de um fluido neuroelétrico nos animais; a controvérsia entre as ideias a respeito da geração espontânea da matéria; a controvérsia em torno da natureza da luz em diferentes momentos da história.

Essas controvérsias podem ser usadas como instrumento para que os alunos adquiram a percepção de como se dá o desenvolvimento científico. (BRAGA, GUERRA, REIS, 2012)

As controvérsias históricas são ferramentas com grande potencial para ajudar os alunos a problematizar a ideia de que o conhecimento científico é feito de verdades inquestionáveis e que foram concebidas de maneira linear ao longo do tempo. Com o auxílio das controvérsias, os alunos podem perceber que determinado conhecimento não foi desenvolvido num caminho único e que ao longo de seu desenvolvimento foram gerados diversos debates entre ideias opostas. (BRAGA, GUERRA, REIS, 2012)

É muito comum que os alunos construam uma visão da ciência apenas pelo lado das teorias vencedoras de embates científicos. Essa abordagem gera problemas, pois ao mostrar apenas as “vitórias” que determinados cientistas obtiveram, acaba por aumentar o caráter de mito em torno dos personagens da ciência e contribuem ainda mais para o estereótipo dos cientistas e para a visão deturpada, por parte dos alunos, de como a ciência funciona. (ALLCHIN, 2004, p. 180)

Desta maneira, temos a controvérsia histórica como sendo uma ferramenta que dá suporte ao professor para superar o histórico de construções lineares.

Por outro lado, a controvérsia histórica tem potencial para mostrar aos alunos ambos os lados dos embates que foram travados ao longo do tempo até a construção de determinado conhecimento.

Assim a controvérsia dá suporte ao professor para superar o whiggismo. Isto porque ao mostrar diferentes lados das discussões e ressaltando de maneira imparcial os pontos de cada lado, evita-se que apenas os lados vencedores das controvérsias históricas sejam apresentados aos alunos.

Podemos ainda considerar que a controvérsia histórica tem potencial para dar ao professor subsídios para que ele não caia no erro de apresentar aos alunos uma pseudo-história, uma vez que, ao narrar os acontecimentos da controvérsia, o professor deve apresentar os fatores que influenciaram, em ambos os lados da controvérsia, para os fatos ocorridos.

Nesse contexto, situamos a História e Filosofia da Ciência, para este trabalho mais especificamente as controvérsias históricas, como um conector entre as diversas disciplinas científicas abordadas no Ensino Médio. Desta forma utilizaremos as relações entre as ciências e as outras áreas do conhecimento, discutindo a partir daí a gênese dos conceitos e equações envolvidos no tema discutido.

Desta maneira, podemos discutir os desdobramentos dos embates científicos em diversas áreas, explicitando desta maneira a ciência como um empreendimento humano e,

assim, dar significado aos processos decorridos da construção dos conceitos (FORATO, et. al., 2011).

Podemos caracterizar uma controvérsia científica como sendo um debate em um campo de desacordo, em que as práticas individuais alternativas concorrem como candidatos para a modificação de uma prática de consenso. Nesta busca, todos os participantes tem um objetivo comum, a produção de um conjunto maximamente unificado de explicações para a mais ampla possível classe de fenômenos. (MACHAMER et al., 2000, p.29)

As controvérsias surgem e se instauram, não porque há um grande número de soluções perfeitas, mas porque existem soluções alternativas que apresentam boa capacidade explicativa para o mesmo fenômeno. E muitas das vezes as soluções alternativas que surgem tem maior potencial explicativo que a solução padrão vigente. (MACHAMER et al., 2000, p.29)

Essas controvérsias foram momentos importantes para o desenvolvimento da ciência que temos hoje, e isso é algo já enraizado no nosso conhecimento sobre a ciência. Porém, ao mesmo tempo em que se reconhece que o conhecimento científico é criado num processo no qual as controvérsias estão presentes, a essência das controvérsias não são retratadas no ensino de ciências. Isso acaba por fazer com que seja apresentado apenas o produto final da disputa, desconexo com o processo de disputa realizado. (MACHAMER et al., 2000, p. 3)

Podemos classificar uma controvérsia científica em dois modelos. O primeiro, mais racionalista, propõe que a controvérsia é estabelecida e “resolvida” pela experimentação e evidência. De acordo com o modelo racionalista, toda controvérsia conta com os chamados “experimentos cruciais”, experimentos estes, que a partir de seu resultado, é possível chegar a uma resposta definitiva para a resolução do debate (MACHAMER et al., 2000, p. 21).

O segundo é um modelo mais anti-racionalista, que defende que as evidências não tem poder suficiente para resolver as controvérsias. Esse modelo sugere que a definição de uma controvérsia é atingida tentando se alinhar com os interesses dos personagens que disputam a controvérsia (MACHAMER et al., 2000, p. 21).

É importante ressaltar que o foco de uma controvérsia histórica não é necessariamente alguma hipótese ou teoria explicativa a respeito de algum fenômeno. Em alguns casos, o que está em disputa é o significado de questões particulares ou a confiabilidade de um instrumento. Muitas controvérsias histórico científicas concentram-se em tópicos a respeito do mundo natural, mas outras estão preocupada com diferentes componentes da prática científica.

Há controvérsias históricas sobre a linguagem científica legítima e outras sobre esquemas explicativos, e, também, a respeito das implicações de uma parte da ciência para o bem-estar, dos homens. Em suma, uma controvésia não é um tópico restrito apenas a busca

pela identificação da explicação correta, entre os lados da controvérsia, de determinado fenômeno (MACHAMER et al., 2000, p. 23).

Um ponto que devemos ater nossa atenção é o fato de como se inicia uma controvérsia. Podemos considerar como ponto de partida quando algum indivíduo (ou grupo de indivíduos) dentro da comunidade propõe que um determinado componente da prática de consenso deve ser modificado para se tornar mais alinhado com a sua própria prática individual. Ou então, quando propõe uma explicação para determinado fenômeno que vai contra possíveis explicações que estejam sendo desenvolvidas (MACHAMER et al., 2000,p. 23).

Ao seguir em frente na procura pela melhor solução da controvérsia, cada lado tenta defender uma proposta específica para modificar a prática de consenso mostrando, de uma forma construtiva, que tem o potencial para encontrar soluções para os dilemas que enfrenta e ainda, que as propostas rivais carecem de recursos (MACHAMER et al., 2000,p.31).

Desta maneira, diante de uma situação de inconsistência da teoria rival cada lado da controvérsia tenta tirar proveito, descartando a credibilidade do outro lado do debate e evidenciando os elementos inconsistentes existentes nas teorias concorrentes (MACHAMER et al., 2000,p.31).

A maior parte dos debates em grandes controvérsias históricas consiste em mostrar que se pode encontrar caminhos a serem trilhados nos pontos, nos quais o problema ainda não foi resolvido, enquanto os caminhos sugeridos pelos defensores que estão do lado oposto da controvérsia seguem bloqueados (MACHAMER et al., 2000).

Outros fatores também são capazes de influenciar o começo de uma controvérsia. Da mesma forma que na controvérsia entre Newton e Leibniz, o caráter nacionalista das partes da controvérsia se manifestou de maneira forte.

As questões significativas dos cientistas baseiam-se em seus pontos de vista e sobre como este esquema explicativo unificado será alcançado. O reconhecimento das lacunas aponta o caminho para as perguntas significativas que podem ser um ponto com potencial para iniciar controvérsias.

Se as hipóteses e os trabalhos a respeito de um determinado ponto estão cientificamente coerentes e se a atenção da comunidade está direcionada para as divergências sobre a questão, então podemos esperar que a controvérsia se mostre proveitosa para o crescimento do conhecimento científico.

Em contrapartida, se a atenção da comunidade é muitas vezes desviada para outro ponto e o ponto controverso tem importância mínima, a controvérsia não vai ter o mesmo potencial de despertar discussões que sejam capazes de gerar bons frutos para a ciência.

Em geral, os fatores que causam controvérsias históricas ao entrarem em erupção em uma comunidade são susceptíveis de levar a comunidade para melhorar seu estado epistêmico (MACHAMER et al., 2000,p. 24).

É importante ressaltar que toda controvérsia tem seu tempo de desenvolvimento e isso é uma característica de cada controvérsia. Cada caso de discussões de ideias leva o tempo necessário até que as mudanças que possam vir em decorrência da controvérsia ocorram. A resolução das questões levantadas por Copérnico levou um século, a proposta de Wegener sobre os movimentos dos continentes foi debatida por cinquenta anos, Lavoisier esteve num embate contra os defensores da teoria do flogisto por quase vinte anos (MACHAMER et al., 2000, p.25).

Para este trabalho, nossa escolha foi por uma controvérsia específica. Será explorada a controvérsia que se estabeleceu sobre a continuidade ou descontinuidade da matéria. Como esta controvérsia se estendeu por um período de tempo bastante longo, seria inviável dentro do tempo disponível para essa pesquisa analisar todo o período. Desta forma, para este trabalho centraremos nossas discussões no período compreendido entre a última década do século XIX e a primeira década do século XX.

Capítulo II – Metodologia de Pesquisa

Ao buscar um caminho para responder à questão central desta dissertação muitos pontos foram discutidos dentro do grupo de pesquisa no qual eu estava inserido. Dentre eles, o já citado tempo disponível para realizar a pesquisa, a quantidade de trabalhos semelhantes publicados em periódicos e, também, as possíveis contribuições que este trabalho viria a dar não somente para o grupo, mas também para a comunidade científica.

Devido à falta de tempo disponível para a aplicação das ideias discutidas neste trabalho, foi feita a opção por uma pesquisa puramente teórica, onde serão feitas apenas discussões sobre os caminhos que podem ser seguidos por uma abordagem histórico filosófica. Vale ressaltar que não foi descartada definitivamente a aplicação da controvérsia sugerida, apenas neste momento ela não seria viável.

A previsão para aplicação da proposta apresentada neste trabalho está programada para ser realizada no segundo semestre do ano letivo de 2014, período coincidente com a previsão de apresentação do tema estipulado pelo currículo mínimo.

Junto aos projetos desenvolvidos pelo grupo, este trabalho se apresentou como um suporte teórico para outras pesquisas relacionadas direta, ou indiretamente ao tema central, que estavam sendo produzidas.

Desta maneira, alguns trabalhos foram desenvolvidos com aplicações práticas, buscando perceber as concepções prévias dos alunos a respeito da radiação (DOPAZO; FIUZA; GUERRA, 2013) e esta pesquisa contribuiu para indicar caminhos a serem adotados em práticas pedagógicas futuras. Em contrapartida o encaminhamento desses trabalhos empíricos serviu como guia não apenas para a seleção da controvérsia a ser estudada, mas principalmente dos recortes históricos e filosóficos a serem privilegiados.

Diante do desafio de desenvolver uma pesquisa teórica, o primeiro passo foi considerar as indicações da historiografia da ciência com vistas a não produzir equívocos comuns na prática de uma pesquisa em história da ciência.

Como ressalta Martins (2005):

> *"[...] A História da Ciência apresenta metodologia própria, que não é nem a metodologia da História e nem a metodologia da Ciência, uma vez que é um tipo de estudo de natureza diferente dos dois anteriores. [...] Assim, não basta ser um matemático ou um historiador para fazer uma pesquisa em História da Matemática, pois as técnicas empregadas em um trabalho em História da Ciência são diferentes daquelas utilizadas em matemática ou nas pesquisas históricas de outro tipo." (MARTINS, 2005, p.306)*

Ainda de acordo com Martins (2005), podemos discutir História da Ciência com uma abordagem conceitual e não conceitual. A conceitual discute fatores científicos enquanto a não conceitual discute fatores extracientíficos. Concordando com a autora, foi desenvolvida uma pesquisa com vistas a considerar as duas abordagens. Assim, tomamos como fonte de dados fontes primárias, que seriam as mias apropriadas para a abordagem conceitual e fontes secundárias, mais destinadas ao estudo de fatores extracientíficos (Martins, 2005).

A delimitação do tema, como exposto na introdução desse trabalho, foi feita buscando alinhar o trabalho com as ideias de Martins (2005), onde a autora defende que para uma boa pesquisa em História da Ciência é preciso delimitar nosso objeto de estudo, buscando um melhor domínio do tema, mas sempre tomando cuidado para não restringir muito o objeto e tornar a pesquisa pouco relevante. (MARTINS, 2005)

Nesse caso o tema central desta dissertação é a abordagem dos estudos iniciais sobre a radioatividade. Diante deste tema, o recorte escolhido para este trabalho ocorreu a partir de dois fatores: recorte temporal e recorte conceitual.

Como recorte temporal, o período para ser estudado foi delimitado entre a última década do século XIX e primeira década do século XX. Esse período foi escolhido, baseado nas discussões que foram realizadas no grupo de pesquisa. Desta maneira a delimitação abrangendo as duas décadas se apresentou como uma maneira eficaz de não cair na superficialidade, devido à grande quantidade de informações que deveriam ser exploradas no período.

O recorte conceitual se deu a partir da delimitação de quais estudos à respeito da radiação seriam utilizados. A opção feita foi pelos estudos dos trabalhos de Röntgen com os raios X e dos trabalhos de Becquerel com a radiação do urânio. Estudos estes que foram desenvolvidos dentro do período temporal escolhido para ser analisado.

Esta escolha foi baseada em dois fatores. O primeiro fator levado em consideração na escolha do recorte conceitual que foi feito no tema foi o fato de que muitos livros didáticos que abordam a radiação acabam sempre por colocar os trabalhos de Wilhelm Conrad Röntgen (1845 -1923) e Antoine Henri Becquerel(1852 – 1908) como sendo fruto de um acaso e não mostram como suas pesquisas estavam alinhadas com o pensamento científico de sua época.

Desta forma ao propor um trabalho que fosse centrado apenas nestes dois cientistas, a pesquisa busca dar auxílio ao professor que busca trabalhar com História e Filosofia da Ciência em um tema que para ele não é tão estranho, visto que este conteúdo já é abordado em alguns livros didáticos.

O segundo fator que foi considerado é o fato de que outras pesquisas que eram realizadas dentro do grupo se mostravam mais centradas em outros trabalhos da época a

respeito do tema, como por exemplo, os de Joseph John Thomson(1856 – 1940) e de Marie Curie(1867 – 1934). Desta maneira o recorte foi feito buscando manter o caráter mais original desta pesquisa.

A partir da definição do recorte que seria feito no tema e do tipo de pesquisa a ser desenvolvida, a primeira parte da pesquisa se deu pela realização de um levantamento bibliográfico com vistas a identificar o maior número possível de referências sobre o tema, para depois fazer uma seleção das que seriam usadas nesta dissertação. (MARTINS, 2005)

Alguns fatos foram importantes na escolha das fontes utilizadas. Como destacamos anteriormente a pesquisa ocorreu com base em fontes primárias e fontes secundárias. No caso das fontes secundárias foi feita uma busca por autores com comprovada competência sobre o assunto. Fora isso, buscamos evitar traduções, seguindo as orientações de Martins (2005), quando a autora chama a atenção para “Quanto mais pudermos nos aproximar dos originais de um autor, mais fiéis poderemos ser em relação ao seu trabalho.” (MARTINS, 2005, p. 310)

Outro cuidado tomado foi confrontar as discussões apresentadas pelas fontes secundárias com aquelas oriundas das fontes primárias, sem, entretanto, perder o foco da pesquisa. Desta maneira, as fontes secundárias foram utilizadas para contextualizar as ideias que passariam a ser discutidas, mas sempre confrontando as ideias apresentadas por elas com os textos das fontes primárias.

Ao dar seguimento na pesquisa tomou-se cuidado para não cometer alguns erros historiográficos apontados por Martins (2005) como sendo comuns em trabalhos com História da Ciência.

O primeiro é o de se utilizar a História da Ciência puramente descritiva. De acordo com autora, este erro torna o trabalho repleto de datas e informações que não contribuem de nenhuma maneira para objeto de estudo do trabalho.

O segundo é o que a autora chama de “apudismo”. Neste caso o termo se refere a trabalhos que se utilizam muito de citações de ideias indiretas, ideias citadas sem que se consultem sua fonte. Esta prática é perigosa, uma vez que para se aproximar o máximo possível da ideia original, devemos sempre recorrer aos textos originais.

Sendo assim, a pesquisa foi realizada buscando evitar estes dois possíveis erros que são recorrentes, de modo a não comprometer a qualidade do trabalho, mas tendo como foco sempre moldar a controvérsia para a aplicação na educação básica, mais especificamente numa turma de segundo ano do ensino médio de uma escola da rede estadual do Rio de Janeiro.

Desta maneira a pesquisa desenvolvida para esta dissertação seguiu a linha das pesquisas por investigação teórica, buscando relacionar a controvérsia histórica que será

utilizada como objeto de estudo com os elementos de Natureza da Ciência que poderiam ser destacados para uma problematização em sala de aula junto dos alunos.

Outro ponto a ser destacado é que essa pesquisa não foi desenvolvida com base no modelo racionalista, não considerando, portanto, que experimentos cruciais estabelecem o fim da controvérsia.

Capítulo III - A Controvérsia Histórica Como Um Caminho

Segundo Martins (2007), podemos exemplificar e abordar pontos específicos de Natureza da Ciência através de exemplos de casos históricos. Para atingir os objetivos dessa dissertação utilizaremos a controvérsia histórica que discute a natureza da matéria como algo contínuo ou discreto em fins do século XIX e início do século XX, mais especificamente entre 1890 e 1910.

A História da Ciência apresenta diversos casos onde controvérsias se estabeleceram durante um período, buscando a interpretação de fenômenos. Podemos citar como exemplos de controvérsias históricas: aquela estabelecida no século XVIII em torno da existência ou não de um fluido neuroelétrico nos animais (GERMANO,M.; DE LIMA, I.; DA SILVA, A, 2012) a controvérsia entre as ideias a respeito da geração espontânea da matéria(MARTINS e MARTINS, 1989); a controvérsia em torno da natureza da luz no século XVII (SILVA, B. V. C, 2011).

Essas controvérsias podem ser usadas como instrumento para que os alunos adquiram a percepção de como se dá o desenvolvimento científico. (BRAGA, GUERRA, REIS, 2012)

As controvérsias históricas são ferramentas com grande potencial para ajudar os alunos a problematizar a ideia de que a ciência não é feita com verdades inquestionáveis e que foram concebidas de maneira linear ao longo do tempo. Com o auxílio das discussões em torno às controvérsias históricas, os alunos podem perceber que determinado conhecimento não foi desenvolvido num caminho único e que ao longo de seu desenvolvimento foram gerados diversos debates entre ideias opostas. (BRAGA, GUERRA, REIS, 2012)

Debates esses que muitas vezes não se resolveram no laboratório ou num universo exclusivamente científico, mas que muitos outros fatores influenciaram no desenrolar da controvérsia. (LATOUR, 1989)

Desta maneira, utilizando controvérsias, buscamos evitar que os alunos tenham a visão da ciência apenas pelo lado das teorias vencedoras de embates científicos. Uma vez que consideramos que a visão incompleta gera problemas, pois ao mostrar apenas as “vitórias” que determinados cientistas obtiveram, acaba por aumentar o caráter de mito em torno dos personagens da ciência e contribui ainda mais para o estereótipo dos cientistas e da visão deturpada, por parte dos alunos, de como a ciência funciona. (ALLCHIN, 2004, p. 180)

As controvérsias históricas têm potencial, ainda, de mostrar aos alunos ambos os lados dos embates que foram travados ao longo do tempo até a construção de determinado conhecimento.

Para melhor entendimento da controvérsia selecionada nessa dissertação e de seu potencial no ensino de ciências, começaremos por tentar situar o panorama da física nas últimas décadas de século XIX.

Os anos de 1895 a 1897 foram anos fundamentais para o desenrolar da controvérsia aqui apresentada. Neste período, foram desenvolvidos trabalhos que tornaram a forma de entendimento de alguns fenômenos algo polêmico, dividindo a comunidade científica em dois lados bem posicionados em relação à controvérsia gerada.

Neste contexto, alguns trabalhos se mostraram de grande importância, como os de Röntgen e seus estudos sobre os raios X, J.J. Thomson e seus estudos a respeito do elétron, e a radioatividade com Becquerel e Marie Curie (SEGRE, 1987, p.11).

Para desenvolver este trabalho, foi necessário fazer um recorte no tema tendo por objetivo não comprometer a qualidade da pesquisa desenvolvida. Assim, como já exposto na metodologia de pesquisa, centraremos nossa atenção apenas nos estudos de Röntgen e de Becquerel.

III.1 Os raios X

Para analisarmos a controvérsia destacada, é de extrema importância entender alguns fatores que guiaram os principais personagens até esta discussão.

A identificação dos Raios X foi um fator importante que influenciou diretamente as pesquisas que vieram a ser desenvolvidas futuramente por outros pesquisadores na discussão a respeito da natureza da radioatividade. (SEGRE, 1987)

O ponto de partida para os trabalhos de Röntgen foram os trabalhos já realizados anteriormente com tubos de raios catódicos. Inicialmente Röntgen começou a trabalhar com raios catódicos repetindo os experimentos já realizados por Philipp Lenard(1862-1947), um físico húngaro que tinha forte influência nas pesquisas com os raios catódicos.

É importante ressaltar que todos os tópicos explorados neste trabalho a respeito da controvérsia estão diretamente relacionados com alguns aparatos técnicos que já eram conhecidos no período analisado, são eles: tubos de raios catódicos, bombas de vácuo e a produção, com bobinas, de descargas elétricas em tubos com gases rarefeitos (SEGRE, 1987).

Dentre esses artefatos, o tubo de raios catódicos era o principal deles, uma vez que os outros eram instrumentos que auxiliavam os estudos nesse tubo.

No período analisado, o tubo de raios catódicos era um instrumento conhecido de longa data. Em 1833, o físico inglês Michael Faraday (1791 -1867) fez estudos onde concluiu que os resultados obtidos com os experimentos feitos com tubos de raios catódicos eram afetados pelo nível de rarefação contido dentre do tubo. Cerca de 20 anos depois, o alemão Julius

Plucker (1801 – 1868) fez experimentos envolvendo magnetismo e os tubos de raios catódicos, notando que o feixe era desviado quando um imã era aproximado do tubo.(SEGRE, 1987)

Estes resultados que já haviam sio obtidos com Faraday e foram observados com maior expressão nos trabalhos de Plücker se deram devido ao desenvolvimento e aperfeiçoamento das bombas de vácuo. Uma vez que fosse possível melhorar a evacuação do tubo, os resultados observados seriam mais perceptíveis.

Este fato ocorre devido às influências do gás contido no interior do tubo, que se comportava como um isolante elétrico, impedindo assim uma melhor manifestação das interações elétricas nos raios catódicos.

As pesquisas envolvendo a evacuação de tubos de vidro estavam em alta nesse contexto, visto que nessa atmosfera que se desenvolveu a lâmpada de filamento. Esta lâmpada primitiva, consistia em um filamento de carvão que era inserido dentro de um tubo evacuado. Percebemos assim, uma forte relação existente entre a técnica e as pesquisas científicas.

Durante a década de 90 do século XIX, os raios catódicos eram uma questão ainda em aberto na ciência. De acordo com Segre (1987):

> *"O que se sabia a respeito dos raios catódicos era que saiam do catodo de um tubo altamente exaurido de ar, atingiam a parede do tubo do lado oposto, tornando-a luminosa, viajavam aparentemente em linhas retas, visto que objetos colocados em seu caminho projetavam sombras nítidas, e eram desviados por um imã, embora ninguém pudesse ter certeza a esse respeito.[...] Surgiram inflamadas discussões com relação à natureza dos raios catódicos. O que eram? Alguns diziam que eram corpúsculos, partículas projetadas do catodo; outros acreditavam tratar-se de ondas." (SEGRE, 1987, p. 12)*

Retornando à controvérsia, alguns livros didáticos apontam que no dia 8 de novembro de 1895 Röntgen trabalhava em seu laboratório, onde realizava descargas elétricas com uma bobina de alta voltagem através de um tubo de gás evacuado totalmente coberto de uma cartolina negra. Em frente à válvula, estava uma tela com platinocianeto de bário utilizada como anteparo. (SEGRE, 1987; MARTINS, 2012)

Röntgen observou que a tela cintilava emitindo luz, como se tivesse sendo atingida por algo que causasse a emissão. Mesmo a face da tela que não estava com o platinocianeto de bário também cintilava ao ser colocada em frente ao tubo.

Um ponto interessante que chama a atenção é o porquê Röntgen estava trabalhando com um tubo de Crookes envolto em papel negro? Como já foi dito anteriormente, Röntgen estava repetindo os experimentos de Lenard. Nesses experimentos, Lenard já havia observado uma fraca luminosidade próxima à “janela” de alumínio e ainda um brilho em materiais luminescentes próximos ao tubo.

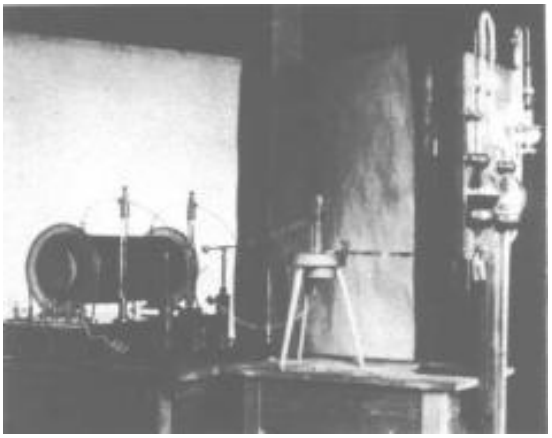


FIGURA III.1 Laboratório de Röntgen em Würzburg

A partir daí, Martins (2012) ressalta a possibilidade de Röntgen estar estudando a luminosidade identificada por Lenard. Isso explicaria o porquê de envolver o tubo em papel negro e realizar os experimentos em uma sala completamente escura.

Neste caso, podemos perceber que Röntgen estava imerso em um contexto e pesquisando sobre o tema em evidência na época, o tubo de raios catódicos. Porém seus estudos apresentaram resultados inesperados, fazendo com que sua pesquisa tomasse um determinado rumo.

O entendimento dos motivos que levaram Röntgen a fazer as experiências que o guiaram até os Raios X é um fator de extrema importância, pois com isso podemos mostrar aos alunos que nenhum trabalho científico se dá a partir de uma ideia isolada de um único cientista.

Para conseguir perceber o fenômeno, ele percorreu um caminho que não era nem um pouco novo nem inovador na época. Repetindo experimentos já realizados anteriormente Röntgen abriu caminho para suas próprias pesquisas.

Outro ponto importante a ser ressaltado é o fato de que as experiências realizadas por ele não tinham por objetivo identificar os raios X. Suas experiências é que o levaram até a identificação dos Raios X. Na exploração de um fenômeno já conhecido, surgiu um novo resultado.

Após obter seus primeiros dados, Röntgen percebeu que estava diante de algo novo e isso fez com que ele buscasse entender melhor o que ele estava estudando. A partir deste

momento, ele realiza modificações nos experimentos iniciais. Röntgen buscou variar a distância do tubo à tela e tentar realizar refrações, reflexões e outras mudanças.

A partir das modificações ele observou que os novos raios não eram defletidos por campos magnéticos. Colocou, então, objetos entre o tubo e a tela para verificar se alguma sombra seria formada na tela. Para sua surpresa cada objeto que ele posicionava entre a tela e o tubo apresentava certo grau de transparência. Alguns se mostravam totalmente transparentes aos raios, enquanto outros se mostravam totalmente opacos e alguns eram parcialmente atravessados pelos raios.

Podemos perceber que após a identificação de um novo fenômeno Röntgen não se ateve apenas às especulações teóricas, mas dedicou-se principalmente ao estudo do experimento.

Todas as experiências realizadas por ele com os raios X caminhavam na tentativa de identificar as características desses raios. Assim, procurou identificar os fenômenos de reflexão, refração, deflexão e a capacidade de penetração dos raios. Experiências estas que tinham por objetivo perceber semelhanças com as radiações já conhecidas.

Röntgen fez todos os experimentos baseados na hipótese de que a natureza dos raios catódicos e a nova radiação que ele estava estudando, ambos eram de natureza ondulatória. Este fato é importante uma vez que ele estava imerso neste contexto da tentativa de achar uma resposta à controvérsia.

Mais uma vez podemos perceber como o contexto da época foi um fator importante para guiar os experimentos realizados. O ponto de partida de Röntgen em suas pesquisas eram os tubos de raios catódicos.

Todos esses testes já haviam sido feitos com os raios catódicos, ele não fez nenhuma experiência inovadora ou revolucionária. Pelo contrário, Röntgen seguiu um caminho extremamente conservador. Afinal, para ele, repetir as tentativas já realizadas anteriormente era o caminho menos desconhecido a ser seguido.

Desta maneira, ele estaria trilhando um caminho no qual ele já conhecia todos os experimentos e já sabia como manuseá-los de maneira mais segura. Sendo assim, ele seguiu realizando os experimentos, visando com isso determinar algumas características dos raios que havia identificado.

Em meio às tentativas de formar sombras na tela, Röntgen deixou sua mão entre o tubo e a tela e para sua surpresa conseguiu ver a imagem de seus ossos no anteparo. Após repetições seguidas dos experimentos ele registra as imagens em chapas fotográficas.



FIGURA III.2 Imagem do Raio X obtido por Röntgen

Nesta busca, Röntgen foi então formulando hipóteses de acordo com as evidências obtidas por ele com os experimentos realizados sobre o que seria essa nova radiação observada. Ele supôs então que estes raios não eram luz, nem nenhuma radiação invisível. Sem dúvidas, era algo novo que ele estava usando. (MARTINS, 2012, p.31)

Apesar dos estudos de Röntgen, uma questão ainda estava em aberto: qual era a natureza daqueles raios que fazia com que muitos materiais se apresentassem transparentes? Esta questão era uma pergunta importante a ser respondida, visto que ela poderia gerar suporte para auxiliar a questão inicial que fomentou todos os estudos de Röntgen sobre a natureza dos raios catódicos. (SEGRE, 1987)

A esta altura, Röntgen já tinha sua hipótese. Para ele os novos raios eram ondas longitudinais que se propagavam no éter. É importante ressaltar que, neste ponto, mesmo depois de todos os estudos feitos, ele continuava sem ter nenhuma prova para corroborar sua hipótese, mas isso não o impedia de defender esta posição. (SEGRE, 1987, p.23; MARTINS, 2012, p. 31)

Novamente, percebemos que o contexto no qual Röntgen vivia influenciava nas suas conclusões. Röntgen já havia se posicionado a respeito da controvérsia, considerando os raios catódicos ondas longitudinais e novamente ele almejava confirmar sua hipótese, considerando a nova radiação também de natureza ondulatória.

A divulgação dos trabalhos com raios X feitos por Röntgen foi um fator que, sem dúvidas, favoreceu a sua aceitação. Röntgen conseguiu a publicação do seu artigo na revista da Sociedade Física e Médica de Würzburg.

Mesmo antes da edição ser publicada, Röntgen conseguiu imprimir certo número de cópias de seu artigo e algumas radiografias de diversos objetos. Estas cópias, Röntgen enviou para alguns cientistas proeminentes do período, como, por exemplo, Poincaré, buscando acelerar o processo de divulgação de seus trabalhos (MARTINS, 2012, p.70).

Essa estratégia de divulgação teve extremo sucesso, visto que em poucos dias seu trabalho já havia sido lido e estava sendo comentado nas sociedades científicas da época. Martins (2012) destaca que, caso ele apenas tivesse publicado no periódico, a repercussão não seria tão imediata e talvez nem sequer fosse a mesma. (MARTINS, 2012, p. 32)

A divulgação independente feita por Röntgen é um fato que nos ajuda a problematizar junto com os alunos como as pesquisas científicas podem ser afetadas de acordo com a divulgação feita. Muitos trabalhos que se publicam podem passar despercebidos dependendo do local onde é divulgado.

A discussão em torno à divulgação dos trabalhos de Röntgen é uma oportunidade de problematizar junto aos alunos o fato de a ciência ser uma construção humana e que sofre influências de fatores externos. Neste caso, a divulgação feita por Röntgen foi um fator crucial.

Ao conseguir a rápida publicação na revista da Sociedade Física e Médica de Würzburg, Röntgen fez com que seu trabalho caísse logo no meio acadêmico. E, tendo por objetivo a rápida divulgação para outros cientistas que levariam mais tempo para ler o artigo, encaminhando as cópias diretamente, ele fez com que em pouco tempo seu trabalho fosse um dos mais discutidos dentro das academias.

Esse fato, sem dúvidas colaborou para a repercussão dos seus estudos e foi um inventivo às novas pesquisas sobre os raios X. Se sua divulgação fosse apenas a publicação da revista, é provável que levasse mais tempo até que seus resultados fossem discutidos e repercutidos.

Após a divulgação desses resultados, os raios X ficaram ainda mais em evidência. É importante ressaltar alguns outros fatores que favoreceram a popularização dos raios X, como, por exemplo, a facilidade de produzi-los com um tubo de raios catódicos bem como a produção das radiografias, que permitiam ver os ossos.

Pela fácil reprodução e pelo baixo custo dos equipamentos, as radiografias foram disseminadas rapidamente pela sociedade e as suas aplicações eram nas áreas mais diversas. Com isso, cada vez mais os trabalhos de Röntgen ficaram mais reconhecidos, fato que

reforçava cada vez mais a atenção da comunidade científica aos seus trabalhos (MARTINS, 2012).

Os raios X geraram um enorme impacto na sociedade, tanto no mundo da arte quanto nas aplicações práticas. Após sua divulgação e aceitação era possível perceber em diversas situações o uso da nova radiação.



FIGURA III.3 Charge publicada no final do século XIX

Percebemos na figura III.3 a imagem da coluna do homem projetada no fundo do desenho, indicando o raio X de seus ossos. Desta forma, percebemos que as radiografias desenvolvidas por Röntgen estavam a cada dia mais em discussão não só nos ambientes científicos, mas também nas discussões do dia a dia da sociedade.

O Pintor Francês Marcel Duchamp (1887 -1968), era um artista que tinha grande interesse por ciência e questões científicas. Ele se interessava por diversos temas como geometria não euclidiana e os raios X. Influenciado pelas questões que permeavam o cenário científico da época Duchamp faz uma série de quadros com referência aos raios X.



Marcel Duchamp: *Nu descendant un escalier nº 2*
(1912-6); aquarela, tinta, lápis e pastel sobre
papel fotográfico, 1,47 × 0,89 m.
Filadélfia, Museum of Art.

FIGURA III.4 Nu descendo a escada de Duchamp

Nesta obra, Duchamp busca o nu com significado maior do que o despido. Na busca pela realidade que não é visível a olho nu, temos uma referência a algo totalmente nu, sem nenhuma camada superficial (REIS; GUERRA; BRAGA, 2006).

Outro ponto onde podemos perceber a influência da controvérsia contínuo x discreto permeando o espaço cultural da época é o movimento artístico do pontilhismo. Esse movimento artístico teve seu início no final do século XIX e sua principal característica é a ausência de traços contínuos nas pinturas.

Dentro do pontilhismo os quadros eram pintados a partir de pontos feitos com o pincel na tela. Era uma pintura descontínua em meio a um universo de pinturas contínuas. Seurat foi um dos representantes deste movimento.

Sua obra, Um domingo de verão na Ilha de Grande Jatte, de 1885, inaugurou esse movimento, num período onde a discussão em torno à natureza dos raios catódicos se partículas ou onda, estava em alta (REIS; GUERRA; BRAGA, 2006).



FIGURA III.5 Um domingo de verão na Ilha da Grande Jatte de Seurat

O pontilhismo foi um movimento artístico que estava bem alinhado com os dilemas científicos da época onde, a discussão em torno da continuidade ou não dos raios catódicos, contidos no tubo era um ponto de fortes discussões na ciência.

Da maneira similar, podemos reparar que nesta obra, o autor consegue criar as imagens apenas com pontos. Uma técnica interessante, vista pelo contexto científico-cultural da época. Seja contínua ou discreta, a imagem é formada e conseguimos ver, sem dificuldades, a paisagem.

Neste caso novamente temos a ciência e a arte dialogando com as questões que estavam em voga na época. Desta maneira podemos problematizar junto aos alunos como as discussões não se restringem apenas ao contexto científico, mas permeiam mais esferas da sociedade.



FIGURA III.6 Candidatas de um concurso de beleza de 1956

A figura mostra as três primeiras candidatas de um concurso de beleza intitulado “Miss Postura Correta”, realizado em Chicago, de 1956. Ao lado de cada candidata temos a

radiografia de sua coluna vertebral. A candidata que recebia mais pontos nesse quesito era aquela eleita entre médicos e quiropráticos, a partir da analise da estrutura corporal da candidata.

Percebemos, neste caso, novamente a influência dos raios X, na busca pela beleza não só externa, mas também interna das candidatas. Qualquer escoliose ou desvio discreto poderia acabar com as chances da candidata em se tornar a vencedora.

As aplicações práticas das radiografias deixaram os raios X ainda mais em evidência. Rapidamente, no final do século XIX, surgiram trabalhos que utilizavam os raios X na identificação da destruição óssea, na identificação de projéteis, fragmentos de vidro e outros corpos que pudessem ficar alojados em pessoas feridas, buscando a retirada cirúrgica. Somente no primeiro semestre de 1896, foram publicados cerca de 100 trabalhos sobre possíveis aplicações médicas. (MORGAN, 1995 apud MARTINS, 2012)

Além das aplicações médicas, foram desenvolvidas técnicas para detecção de falhas em peças metálicas, e ainda a identificação de imitações de diamantes. As imitações eram opacas aos raios X enquanto os verdadeiros eram transparentes. Desta forma os raios X passavam também a ter uma aplicação comercial e econômica, visto que se tornaram um meio de validação da autenticidade da pedra (MARTINS, 2012, p.79).

Como relatado acima, os estudos a respeito dos raios X, realizados por Röntgen, foram guiados por experimentos num contexto que podemos chamar de pré-teórico. Muitas das vezes esse episódio científico é interpretado como uma descoberta ao acaso, como se por uma eventualidade casual Röntgen tivesse identificado os raios X.

É importante problematizar junto aos alunos que por mais que o acaso tenha alguma influência no processo do desenvolvimento científico, ele não é o ponto principal que guia as pesquisas.

O fenômeno pode ter sido observado sem que se fosse esperado, porém todo o caminho percorrido desde o início dos experimentos até a divulgação dos trabalhos foi guiado pelos conhecimentos já adquiridos pelo cientista e por inquietações geradas nos debates científicos.

Como ressalta Martins(2012)

> *"A descoberta ao acaso não é totalmente aleatória - ela não ocorre a qualquer pessoa, mas sim as pessoas que possuem o conhecimento e treino adequados para reconhecer o significado do fato observado – e, para ser útil, deve ser guiada por uma investigação do novo fenômeno."(MARTINS, 2012, p. 41)*

No momento em que a observação dos raios X foi feita, Röntgen estava voltado para fenômenos produzidos por raios catódicos relacionados à luminosidade produzida. Nesse caso, a observação casual de um fenômeno inesperado provocou no cientista a associação com

vários fenômenos já observados na época. A partir daí, ele foi levado a seguir suas pesquisas buscando outros aspectos comuns às radiações já conhecidas por ele.

Após a divulgação dos trabalhos de Röntgen muitos cientistas, como Johann Wilhelm Hittorf (1824 – 1914), Gotthilf-Eugen Goldstein (1850 – 1930) e o próprio Lenard manifestaram que em pesquisas anteriores já haviam percebido o mesmo fenômeno. O próprio físico inglês William Crookes (1832-1919), na década de 1880, já relatara que quando trabalhava no tubo de raios catódicos com chapas fotográficas muitas das vezes percebia, com certa irritação, que estas mesmo antes de serem expostas à luz já estavam veladas. Crookes creditou esse fato a problemas de fabricação. Provavelmente ele já estaria observando efeitos dos raios X, mas estes não foram interpretados pelos cientistas da mesma maneira que por Röntgen (MARTINS, 2012, p.35).

Para Crookes, o tubo de raios catódicos não era um artefato estranho. Ele possuía vasta experiência com o artefato e já havia feito diversos experimentos buscando achar a resposta para a pergunta de qual seria a natureza dos raios.

Crookes, então, fez uma experiência onde colocou uma cruz feita de material opaco, no interior do tubo e percebeu que ao ser posto em funcionamento, os raios projetavam uma sombra no mesmo formato da cruz.



FIGURA III.7 – Experimento do tubo de Crookes com a Cruz

Os resultados obtidos foram usados para defender a ideia de que os raios catódicos eram compostos de partículas materiais. Talvez por isso ele não tivesse percebido as chapas veladas em seu laboratório como um efeito dos raios X. Afinal para uma visão corpuscular não é coerente que esta radiação penetre e atravesse o material que protegia as chapas, chegando assim a marcar as mesmas.

Esse fato torna possível a problematização em torno à ideia de que nenhuma observação feita simplesmente ao acaso é capaz de proporcionar por si só o entendimento de um novo fenômeno. Nesses casos, o cientista, bem como o contexto em que este está

inserido, têm papel fundamental no momento de fazer hipóteses sobre o fenômeno, teorização bem como na continuação das experiências a fim de melhor compreender o fenômeno observado (GUERRA, REIS, BRAGA, 2012).

Após a divulgação dos resultados do trabalho de Röntgen, os estudos dos raios X passaram a ser um tema em alta no cenário científico da época e diversas repetições e variações dos experimentos de Röntgen começaram a ser realizadas, buscando o melhor entendimento daquela nova radiação.

Foram feitas experiências para a determinação do ponto de origem dos raios X, para verificação de fenômenos como reflexão, refração, polarização, absorção, difração, bem como a possibilidade de uma interação dessa radiação com um campo magnético.

Mesmo com tantos experimentos sendo refeitos e até mesmo sendo feitos com certas variações, ainda não era possível determinar a natureza daquela radiação que passava a ser um dos temas centrais da física do final do século XIX.

Algumas hipóteses, como citamos anteriormente, haviam sido levantadas na época acerca de qual seria a natureza desse fenômeno. A primeira era de que se tratavam de ondas eletromagnéticas transversais de pequeno comprimento de onda, semelhante à radiação ultravioleta.

Esta hipótese foi rejeitada por Röntgen, devido às observações feitas a respeito da refração desses raios. De acordo com a teoria conhecida na época o índice de refração de uma dada substância era diretamente proporcional a sua frequência. Com isso, ondas com pequeno comprimento de onda, alta frequência, deveriam apresentar um alto índice de refração e, portanto, o fenômeno da refração seria facilmente observado. Portanto, os raios X, segundo Röntgen, não podiam ser ondas transversais de pequeno comprimento de onda (MARTINS, 2012, p.83).

Neste caso, podemos perceber que para tentar chegar a uma resposta para a pergunta da natureza dos raios catódicos, os cientistas seguiam à luz do conhecimento que eles já tinham a respeito das radiações conhecidas. Desta maneira, podemos perceber que nenhum conhecimento é desenvolvido sem relação aos conhecimentos anteriormente já adquiridos.

Outro ponto importante que tornou as pesquisas com raios X mais fortes e veio lançar novos olhares foi a investigação a respeito da capacidade de estes raios para eletrizarem ou para descarregarem eletroscópios carregados. Este fato não surge no meio das pesquisas com os raios X por acaso, visto que já era conhecida a capacidade da radiação ultravioleta para descarregar eletroscópios (MARTINS, 2012, p. 85).

A interação da radiação ultravioleta com eletroscópios foi conhecida por volta de 1887, com Henrich Hertz(1857 – 1894) e seus trabalhos de produção de ondas eletromagnéticas.

Posteriormente, Lenard também observou que um eletroscópio poderia ser descarregado por raios catódicos que emergiam através de uma janela de alumínio. (MARTINS, 2012, p .86)

Ainda no contexto da busca por uma possível semelhança entre os raios X e a radiação ultravioleta, os cientistas foram levados à investigação sobre o potencial dos raios X de descarregar eletroscópios eletrizados.

Após investigar se os raios X apresentavam interação com os eletroscópios carregados, foi observado que estes raios, assim como a radiação ultravioleta, também eram capazes de descarregar eletroscópios que se apresentassem inicialmente carregados. Muitos pesquisadores, como o físico romeno Dragomir Hurmuzescu (1865 – 1954), J.J. Thomson investigavam essas evidências e perceberam que este fenômeno poderia ser mais útil do que uma mera característica dos raios X (MARTINS, 2012, p.87).

Rapidamente, os pesquisadores perceberam que a descarga de eletroscópios e de placas metálicas carregadas seria um meio quantitativo de se estudar a intensidade da radiação, mais eficiente do que as medidas qualitativas feitas com chapas fotográficas, a partir das quais eram medidas a intensidade desta radiação.

Como toda pesquisa científica, temos a percepção de que muitas das práticas feitas ao longo da investigação são planejadas e realizadas de acordo com os resultados obtidos nas etapas intermediárias.

Neste ponto, é importante perceber que nem sempre as pesquisas seguem o caminho previsto. Nem todos os resultados são esperados pelos pesquisadores. Algumas medidas e consequências dos fenômenos observados não são previamente esperadas. Muitas pesquisas científicas apresentam essa característica, de ao longo de seu desenvolvimento acabar por guiar um passo inesperado a ser dado.

Esse fato é importante de ser trabalhado junto dos estudantes, pois mostra a eles a visão de que nem toda pesquisa científica está com o caminho a ser percorrido traçado desde o início de sua elaboração teórica. As pesquisas científicas podem tomar rumo diferente do que era previsto antes de sua execução, dependendo do desenrolar das investigações.

Os fatos apresentados até este momento a respeito da controvérsia contínuo e discreto nos permite iniciar uma discussão à respeito de alguns elementos de Natureza da Ciência, bem como algumas características do andamento de pesquisas científicas.

Podemos começar a problematizar junto aos alunos a influência de pesquisas anteriores nas pesquisas científicas que estão sendo realizadas. Para muitos alunos, os resultados obtidos com os estudos dos raios X parecem um fato que ocorre ao acaso.

Nenhuma das experiências que foram feitas com os raios X, tentando um melhor entendimento destes, foi feita ao acaso ou então elaborada por um cientista num lampejo de

ideias. Todas as práticas feitas, e descritas até aqui, sempre seguiam alguma ligação cronológica ou analógica com os estudos que vinham sendo desenvolvidos desde as primeiras investigações. Nenhuma experiência foi feita sem que estivesse baseada em algum conhecimento já concebido ou então em alguma observação feita com alguma radiação semelhante aos raios X.

Esse mesmo fenômeno que foi estudado exaustivamente por Röntgen havia sido considerado uma anomalia anteriormente por outros pesquisadores, como já discutido anteriormente. Logo, não era um fenômeno novo, mas apenas um novo olhar sobre um fenômeno que já estava presente anteriormente.

Neste caso podemos perceber ainda que Röntgen está situado em um dos lados da controvérsia a respeito da natureza dos raios catódicos, dividida entre os que defendiam a continuidade, grupo no qual Röntgen está inserido, e os que defendiam a ideia da descontinuidade.

Na realidade, ao caminhar com suas pesquisas, Röntgen buscava sempre os resultados obtidos, mesmo os inesperados, de acordo com suas hipóteses de que os raios X tinham natureza ondulatória.

Todas as suas pesquisas focavam na tentativa de fortalecer sua ideia de que os raios X eram ondas, visto que obteve resultados com experimentos buscando reflexão, refração, polarização e difração (MARTINS, 2012, p.63).

Desta maneira, podemos perceber o posicionamento de Röntgen a favor de uma visão continuista para a natureza dos raios X, visto que uma onda não é uma representação discreta, e sim a representação de uma entidade contínua .

Continuando a controvérsia

Um dos cientistas que veio a receber uma das cópias do trabalho desenvolvido por Röntgen, junto a algumas radiografias, foi o francês Henri Poincaré (1854-1912). Poincaré apresentou o trabalho de Röntgen à Academia de Paris em um relato verbal, mostrando, no entanto, algumas radiografias produzidas por médicos franceses. (MARTINS, 2012, p. 72, 91)

De acordo com as conclusões a que já se havia chegado, os raios X eram emitidos na região onde os raios catódicos atingem a parede de vidro do tubo. Poincaré publicou um artigo posteriormente ressaltando a importância do fenômeno para a ciência e mostrou-se interessado sobre o tema. (MARTINS, 2012, p. 92)

De acordo com as conclusões da época, era o vidro que emitia os raios X ao ficar fluorescente. Trabalhando sobre o fenômeno que despertava sua atenção, Poincaré se perguntou se não seria uma característica de todos os corpos com intensa fluorescência emitir

os chamados raios de Röntgen, simultaneamente com a radiação luminosa visível. (POINCARÉ, 1896, p.56)

Dando continuidade, Poincaré levanta a seguinte questão: no caso desta hipótese ser verdadeira, o fenômeno não teria relações com causas elétricas, como era suposto anteriormente, devido à sua origem com as experiências em tubos de raios catódicos.

Poincaré era um cientista extremamente influente. Desde de 1881 era professor da Universidade de Paris. Nessa época ele já fazia parte da Academia Francesa de Ciências, onde veio a se tornar presidente 9 anos depois. Tinha grande destaque nas áreas de Matemática e Física. Por isso sua conjectura foi de extrema repercussão e chamou mais atenção da sociedade científica da época para a relação entre luminescência e emissão de radiação penetrante.

Após ser lançada diante da academia francesa, a conjectura de Poincaré, a busca pelas suas possíveis respostas e consequências passou a ser um dos principais temas de pesquisas científicas, colocando ainda mais em evidência os fenômenos envolvendo os raios X.

Esse fato reforça a ideia de que as pesquisas científicas têm capacidade de guiar os passos futuros a serem tomados de acordo com os resultados obtidos e com as hipóteses levantadas para explicar determinados fenômenos.

Nesse caso, a relação entre luminescência e emissão de raios X não era um fato que estava em vista de ser investigado mais a fundo. Esta investigação só teve início após a conjectura feita por Henri Poincaré.

Rapidamente surgiram respostas para a conjectura feita. O primeiro resultado a ser divulgado foi o obtido por Charles Henry. Nesse trabalho, Henry buscou identificar alguma relação entre o sulfeto de zinco fosforescente e os efeitos dos raios X produzidos em um tubo de Crookes. De acordo com seus relatos, ele concluiu que o sulfeto de zinco teria a capacidade de potencializar a emissão dos raios X provenientes do tubo (MARTINS, 2012, p.97).

Após esse resultado inicial, Henry testou se o sulfeto de zinco teria a capacidade de emitir os raios X, quando excitado pela luz na ausência de um tubo de Crookes. Ele relata que ao cobrir um objeto com uma camada do sulfeto de zinco, sobre uma chapa fotográfica, e excitando o sulfeto de modo que ele apresentasse fosforescência era possível obter uma radiografia do objeto coberto por essa camada da substância.

Outra confirmação da conjectura de Poincaré veio a ser apresentada na academia na reunião seguinte a que Charles Henry apresentou seus resultados. Gaston Henri Niewenglowski apresentou um trabalho que confirmava os resultados obtidos por Henry. Nesse trabalho ele fez experimentos semelhantes aos de Henry, mas utilizando o sulfeto de cálcio (MARTINS, 2012, p. 99).

Niewenglowski testou ainda se o sulfato de zinco teria a capacidade de emitir raios X no escuro, após receber a radiação solar. O sulfeto de cálcio, após receber as radiações do Sol, apresenta-se luminescente por um longo período de tempo. Como as pesquisas motivadas pela conjectura de Poincaré seriam pela relação entre luminescência e emissão de raios X, era natural investigar se mesmo sem estar sendo excitado pela luz solar o sulfeto continuaria a emitir raios X enquanto estivesse luminescente.(MARTINS, 2012, p.99)

Niewenglowski, então, observou que essa substância permanecia emitindo radiações penetrantes no escuro, após ter recebido a luz solar, reforçando assim as respostas iniciais para a conjectura de Poincaré, que relacionava diretamente a emissão de luminescência com a emissão de radiação penetrante, os raios X (NIEWENGLOWSKI, 1896, p.386).

Passada uma semana das comunicações de Henry e Niewenglowski, D. Piltchikof tornou público, numa sessão da academia de ciências de Paris, um trabalho onde ele observara que era possível aumentar a emissão dos raios X emitidos por um tubo de Crookes, ao se colocar dentro do tubo, no local onde os raios catódicos atingem a parede do vidro, um material fosforescente. Com esse dispositivo era possível obter uma radiografia em menos de um minuto, diferente do tubo comum que necessitava de vários minutos de exposição (PILTCHIKOF, 1896 apud MARTINS, 2012)

Esses três trabalhos reforçam a conjectura de Poincaré e esta se tornava uma hipótese cada vez mais forte na comunidade científica. A relação entre luminescência e emissão de raios X tornava-se cada vez mais direta e esperada.

O próprio Röntgen, em um de seus trabalhos iniciais, descreve ter observado a emissão de raios X ao fazer os raios catódicos incidirem sobre uma placa de alumínio, ao invés de incidirem no tubo de vidro (RÖNTGEN, 1895, p.140).

Esse resultado, porém, discorda daquele que foi obtido por um físico francês que também estava imerso na controvérsia estudando os raios catódicos: Jean Perrin (1870-1942). Perrin investigando as mesmas relações obteve resultados que negavam a existência de qualquer relação entre luminescência e a emissão dos raios X (PERRIN, 1896).

Outro cientista que estava imerso na controvérsia dos raios catódicos era o físico britânico J.J Thomson (1856-1940). Thomson também testou a relação entre luminescência e emissão de raios X chegando à conclusão que não havia relação alguma entre os fenômenos. De acordo com seus relatos: “Observa-se que pode haver uma fosforescência vívida, sem qualquer produção desses raios.” (THOMSON, 1896).

É importante discutir, nesse ponto, como efeitos tão diferentes foram identificados por diversos pesquisadores. Henry e Niewenglowski buscavam uma resposta positiva para a conjectura de Poincaré e conseguiram. Outros pesquisadores como J.J. Thomson, Perrin e o

próprio Röntgen, também investigavam a mesma relação e chegaram a resultados que negavam a conjectura de Poincaré.

Novamente podemos perceber com esse ponto uma evidencia de como os cientistas realizam experiências condicionados a olharem para os dados obtidos tentando encontrar neles os resultados que são esperados por suas provisões teóricas.

Henry e Niewenglowski encontravam-se em Paris, juntamente com Poincaré e estavam trabalhando na tentativa de uma confirmação para as hipóteses levantadas por ele. Enquanto J.J. Thomson e Röntgen que não estavam trabalhando diretamente com Henri Poincaré, e nem tinham conhecimento da conjectura obtiveram resultados que demonstravam exatamente o oposto.

Este fato é realmente importante para ressaltar a questão de como os cientistas fazem observações a partir de experimentos condicionados a buscar determinados resultados. Uma vez que levando em consideração o conhecimento científico atual a respeito da emissão dos raios X, este não considera nenhuma relação entre a emissão de radiação penetrante com a emissão de luminosidade visível, resultado que contraria a conjectura de Poincaré.

Esta situação é capaz de nos levar a pensar a respeito de quais fatores poderiam ter influenciado nos resultados obtidos pelos cientistas que estavam na França buscando a confirmação da conjectura de Poincaré.

Desta forma, este fato tem potencial para gerar uma rica discussão junto aos alunos sobre possíveis motivos para que tanto Charles Henry, quanto Niewenglowski tenham chegado a resultados que confirmavam as hipóteses de Poincaré.

Diversos fatores poderiam influenciar nos resultados obtidos por eles. O primeiro seria possíveis erros experimentais, afinal toda investigação científica está sujeita a erros experimentais, erros estes que poderiam surgir decorrentes da falta de habilidade no manuseio da aparelhagem ou até mesmo falha humana por parte dos pesquisadores.

De maneira similar, a precisão dos equipamentos é um fator capaz de influenciar os resultados. Ao se realizar os experimentos, os aparelhos deveriam ter certo grau de precisão para detectar resultados mais refinados que talvez possam ter passado despercebido por eles e este fato pode ter influenciado nas suas conclusões (MARTINS, 2012, p. 129).

E por último, a observação condicionada, uma vez que tanto Henry quanto Niewenglowski estavam realizando experimentos buscando a confirmação da conjectura de Poincaré. Uma vez considerada a impossibilidade de observação neutra em pesquisas científicas, este fator sem dúvidas exerce forte influência nas conclusões tiradas pelos cientistas ao observar determinado experimento.

Esse ponto específico da controvérsia analisada é rico para gerar este tipo de discussão em sala de aula. Podemos com isso mostrar aos alunos como resultados antagônicos são obtidos em pesquisas que investigam as mesmas questões científicas. Este fato tem o potencial de mostrar aos estudantes que nem toda observação é feita livre de condicionantes teóricos previamente adquiridos pelos cientistas.

Este ponto da controvérsia ajuda, ainda, a discutir junto aos alunos a questão do desenvolvimento científico ser um trabalho de construção coletiva dos conhecimentos. Como ressalta Martins (2012):

> *"O desenvolvimento da ciência é sempre um trabalho coletivo, envolvendo as contribuições de dezenas ou centenas de pesquisadores; mas apenas alguns poucos cientistas e poucos trabalhos se tornam conhecidos mais popularmente." (MARTINS, 2012, p. 89)*

As conclusões que foram tomadas e que guiaram a continuidade das pesquisas envolvendo os raios X basearam-se em resultados obtidos por diferentes cientistas que trabalhavam em diferentes lugares. A discussão em torno da construção coletiva da ciência torna-se ainda mais rica, quando aliamos essa característica ao fato de que muitas vezes os cientistas desconhecem os trabalhos e hipóteses que são levantadas em outros lugares.

Além da questão da ciência ser um trabalho coletivo, outro ponto a respeito da Natureza da Ciência que pode ser discutido com os alunos é o fato de a ciência ser, como toda construção humana, influenciada pelo contexto sócio cultural em que está inserida.

Com isso as conclusões em que chegaram os cientistas ao investigar fenômenos que relacionavam luminescência com emissão de raios X se mostraram diferentes. Henry e Niewenglowski observaram resultados confirmando a conjectura de Poincaré, enquanto Perrin e Thomson obtiveram resultados que negavam a conjectura. Este fato mostra como a construção do conhecimento científico é um processo rico e dinâmico, que não pode ser considerado linear e feito de maneira padrão dentro da ciência.

III.2 Henri Becquerel e os sais de urânio.

Outro cientista que também trabalhava em Paris e estava imerso na controvérsia contínuo x discreto era o também francês Henri Becquerel (1852-1908). Henri Becquerel era um cientista com grande familiaridade com as questões relativas à luminescência.

Henri foi o representante da terceira geração dos Becquerel que estava na academia. Desde seu avô, Antoine César Becquerel, a ciência já era uma atividade familiar.

Henri começou sua carreira científica seguindo os passos de seu pai. Por isso, ele estudou radiações ultravioletas e infravermelhas e sua relação com a liberação de luz por substâncias fosforescentes, para isso teve um bom contato com diversas substâncias que continham urânio, da coleção de seu pai (MARTINS, 2012, p.104).

Nessa época, estudar o urânio era algo bastante frutífero para as pesquisas de luminescência. Em primeiro lugar, porque as diferentes substâncias luminescentes manipuladas apresentavam urânio em sua composição e em segundo lugar porque sua luminescência se mostrava particularmente mais forte do que as demais.

É importante ressaltar que os estudos que analisavam a relação entre a emissão de raios X e a luminescência era algo muito em voga no período. O ponto de partida para os trabalhos de Becquerel com o tema foi a tentativa de confirmar a conjectura de Poincaré (MARTINS, 2012, p. 105).

No seu primeiro trabalho (BECQUEREL, 1896a) a respeito da relação entre luminescência e emissão de raios X, influenciados pela conjectura de Poincaré, Becquerel reconheceu que o tema em que está trabalhando não era inédito, e fez referências aos trabalhos de Charles Henry e Niewenglowski. Nesse trabalho, a principal contribuição de Becquerel foi a descrição dos resultados obtidos por ele com as mesmas experiências feitas anteriormente pelos dois cientistas, porém em sua pesquisa Becquerel substituiu o sulfeto de Zinco pelo sulfato duplo de uranila e potássio (MARTINS, 2012, p.107).

No seu segundo trabalho (BECQUEREL, 1896b) sobre o tema, Becquerel relatou a emissão de radiação penetrante ocorrida quando a substância fosforescente estudada recebia luz solar diretamente, ou luz refletida por um espelho, ou luz derivada de uma refração.

Desta maneira os experimentos realizados por Becquerel faziam a radiação incidir no sal por diferentes maneiras. Segundo Martins (2012) este fato indica uma busca pela existência de alguma faixa específica do espectro solar que seria responsável pela excitação da emissão de radiação penetrante.

O ponto central do segundo artigo produzido por Becquerel a respeito da radioatividade é o trecho onde relata o fato de ter feito a observação de emissão de radiação penetrante por substâncias que não haviam sido expostas à luz do Sol. (SEGRE, 1987; MARTINS, 2012, p.109)

Becquerel relata que uma amostra do mesmo material, que havia sido exposto ao sol nas experiências anteriores, foi colocada próxima a uma chapa fotográfica, sob as mesmas condições, porém mantida isolada da radiação solar.

Conforme Becquerel relatou em seu artigo, após a realização de alguns experimentos, ele guardou os experimentos que havia preparado e colocou as chapas com seus envoltórios no interior de uma gaveta de um móvel. Após alguns dias, ao revelar as chapas, ele esperava encontrar uma fraca silhueta dos cristais, porém o que ele encontrou foram silhuetas bem definidas (BECQUEREL, 1896b)

Como o próprio Becquerel relata:

> *"Os mesmos focos cristalinos, colocados juntos às chapas fotográficas, nas mesmas condições, isolados pelos mesmos anteparos, mas sem receber a excitação pela incidência de radiação e mantidos no escuro ainda produzem as mesmas impressões fotográficas. Esse foi o modo pelo qual fui levado a fazer essas observações: entre os experimentos precedentes, alguns foram preparados na quarta-feira, 26, e na quinta-feira, 27 de fevereiro;e como, nesses dias, o Sol apareceu apenas de modo intermitente, guardei os experimentos que havia preparado e coloquei as chapas em seus envoltórios na obscuridade da gaveta de um móvel, deixando os flocos de sal de urânio em seu lugar. Como o sol não apareceu novamente nos dias seguintes, no dia 1 de março eu revelei as chapas fotográficas, esperando encontrar imagens muito fracas. Pelo contrário, as silhuetas apareceram com uma forte intensidade. Eu logo pensei que a ação devia ter continuado na escuridão[...]".(BECQUEREL, 1896b, p.502)*

Na realidade, não era o fato de ter sido emitida radiação penetrante que chamou a atenção de Becquerel, esse fato já era esperado. A observação que causou a surpresa no pesquisador foi o fato de a emissão de radiação penetrante ocorrer no escuro, fora do alcance da radiação solar (MARTINS, 2012).

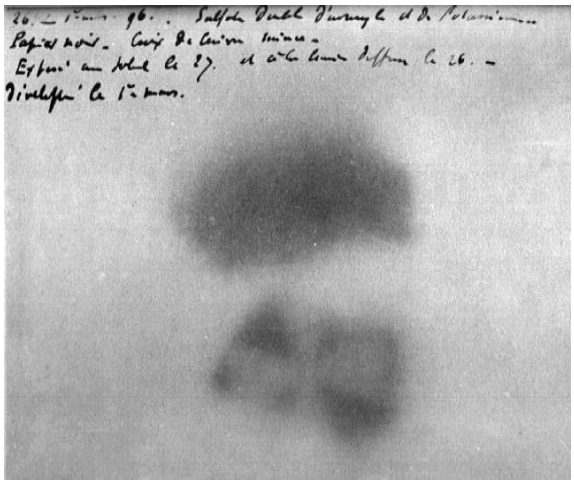


FIGURA III.8 – Chapa fotográfica revelada por Becquerel após permanecer protegida do sol

Para Becquerel, os corpos luminescentes emitiriam os raios X enquanto estivessem luminescentes. Os compostos de urânio, apresentam luminescência de curta duração, logo Becquerel investigava a emissão de raios X pelos compostos de urânio após perderem a luminosidade e longe do Sol, para que não fossem estimulados a emitir nenhuma luminosidade.

A observação, após a revelação, das manchas na chapa fotográfica que não foram expostas ao Sol normalmente é interpretada como um exemplo de "descoberta ao acaso".

Porém, um estudo mais aprofundado mostra que isso não é verdade. Anteriormente, no mesmo ano, Niewenglowski já havia estudado a luminescência de substâncias em ambientes escuros. A única diferença entre o trabalho de Niewenglowski e o de Becquerel foi a substância utilizada. (Martins, 2004)

Niewenglowski utilizara na época o sulfeto de cálcio, buscando investigar a emissão de raios X dessa substância quando a mesma não recebia luz do Sol. Ele já havia confirmado a emissão no escuro, mas o sulfeto de cálcio tem a capacidade de emitir a fosforescência visível por um longo período de tempo, fato que corroborava com a conjectura inicial de Poincaré. (MARTINS, 2012)

No experimento feito por Becquerel era esperada uma emissão fraca de raios X, visto que a emissão de fosforescência do sal de urânio diminuía muito rapidamente quando este estava num local escuro.

Apesar do efeito obtido por ele ser, a princípio, inesperado, o conhecimento científico sobre o assunto na época era capaz de explicar o fato. De acordo com a explicação de Becquerel esse fato ocorria, pois os cristais de sal de urânio emitiriam fosforescência visível de curta duração acompanhada de uma fosforescência invisível de longa duração, esta acompanhada de radiação penetrante (MARTINS, 2004).

Ao buscar a emissão de radiação penetrante com substâncias que eram excitadas pela luz do Sol, podemos considerar que Becquerel, mesmo que não explicitamente, posicionava-se ao lado continuista da controvérsia.

Isto porque, ao pensar na interação como algo que chegava à substância por meio da luz que era absorvida para ser emitida posteriormente, Becquerel admitia que este se tratava de um fenômeno que era baseado nas ondas eletromagnéticas, que são elementos contínuos.

É importante ressaltar que Henri Becquerel não estava fazendo nenhuma hipótese revolucionária ao cogitar a emissão não visível. Seu pai, Edmond Becquerel, já havia levantado esta hipótese em um trabalho publicado praticamente 40 anos antes.(BECQUEREL, 1859)

De acordo com seu pai:

> *"Por outro lado, mesmo supondo que os corpos não são visíveis no aparelho [fosforoscópio], não se pode afirmar que eles não sofreram nenhuma modificação, pois a luz poderia excitar vibrações que tenham uma velocidade [frequência] diferente daquela dos raios de luz, com um comprimento de onda maior do que o dos raios ativos; essas vibrações poderiam dar origem a efeitos térmicos e outras ações moleculares ainda desconhecidas." (BECQUEREL, 1859, p.117).*

A tão falada descoberta ao acaso de Henri Becquerel ocorreu ao revelar um filme que estava exposto aos compostos num ambiente livre da luz do Sol. Porém, uma vez que Becquerel tinha se disposto a revelar aquele filme, podemos considerar que a descoberta não foi feita tão ao acaso.

Caso Becquerel realmente desacreditasse que as substâncias que estavam ali teriam o potencial de provocar as marcações nas chapas fotográficas, ele muito provavelmente nem se daria ao trabalho de revelar aquelas chapas.

É importante perceber isso, pois cada atitude tomada por Becquerel ao longo de suas pesquisas foi guiada pela crenças que ele tinha nos conhecimentos que já havia absorvido em seus estudos anteriores. Seus atos foram todos pautados nesse saber e não em atitudes tomadas ao acaso que por sorte o levaram a achar determinados resultados. (MARTINS, 2012; SEGRE, 1987)

Inclusive a escolha de compostos de urânio não foi uma escolha corriqueira que, por sorte, rendeu-lhe bons resultados. Segundo Becquerel, ele começou suas pesquisas em busca de substâncias luminescentes que emitissem raios X, no dia seguinte à explanação feita por Poincaré na academia francesa (BECQUEREL, 1903, p.3).

Ao iniciar seus estudos, Becquerel buscou as respostas para a conjectura de Poincaré com diversas substâncias que ele já possuía em seu laboratório, só vindo a utilizar os compostos de urânio após estes retornarem de um período de empréstimo com seu amigo Gabriel Lippman (1845 – 1921), físico Franco-Luxemburguês (MARTINS, 2012, p.135).

De acordo com o próprio Becquerel:

> *"...apesar dos experimentos negativos com outros corpos, eu tinha grande esperança na experimentação com sais de urânio, cuja fosforescência eu tinha estudado anteriormente, seguindo os trabalhos de meu pai. Esses corpos, que emitem e absorvem toda uma série de radiações luminosas harmônicas, parecem ter uma constituição molecular particularmente notável, pelo menos sob o ponto de vista de absorção" (BECQUEREL, 1903a, p.8)*

A característica que chamou a atenção de Becquerel em atentar bastante para os compostos de urânio nas suas pesquisas está relacionada com o espectro de faixas de absorção e emissão destes compostos.

O pai de Henri Becquerel já havia estudado diversos compostos de urânio e, em todos os casos, o espectro de fosforescência havia mostrado uma série de faixas brilhantes, finas, com espaçamentos bem regulares. Essa característica era bem diferente das características de outras substâncias luminescentes que apresentavam faixas largas e irregularmente distribuídas (MARTINS, 2012, p. 137).

Uma das motivações para Becquerel prosseguir com a investigação a respeito da relação entre a emissão de raios X e a luminescência dos compostos de urânio era que, de

acordo com o modelo teórico aceito por Becquerel, para que a emissão e absorção da luz nos fenômenos de fluorescência e fosforescência pudessem ocorrer, a violação da Lei de Stokes, nesse fenômeno, era necessária. (SEGRE, 1987)

De acordo com esta lei, as substâncias luminescentes só emitiriam radiação com menor frequência do que a da radiação recebida como sendo fator excitante da emissão. Portanto, era estranho se considerar que um corpo emitisse radiação penetrante de alta frequência quando excitada pela luz visível. (MARTINS, 2012, p. 141)

O físico alemão Eugen Lommel (1837-1899) e Edmond Becquerel(1820 – 1891), pai de Henri, não aceitavam a Lei de Stokes como uma lei geral. Ambos já haviam encontrado evidências experimentais que mostravam que a lei não era tão geral. No final do século XIX, a ideia de uma fluorescência contrária à Lei de Stokes já era mais bem aceita e até mesmo justificada pelo conhecimento estabelecido na época. Desta maneira, a conjectura de Poincaré podia ser interpretada aceitando a existência de uma fluorescência singular que produzisse os raios X (MARTINS, 2012, p. 143).

Nesse contexto, Eugen Lommel desenvolveu uma teoria onde ele interpretava a fluorescência como um resultado do movimento vibratório das partículas materiais com oscilações amortecidas. De acordo com esta teoria as partículas que eram componentes da amostra luminescentes eram interpretadas como osciladores, semelhantes a um sistema massa-mola.

A interação da luz com o material fosforescente seria equivalente à interação entre ondas, no caso a luz, com osciladores mecânicos, no caso das partículas. Desta maneira a radiação incidente era interpretada como uma força periódica externa, tornando o sistema um oscilador forçado. (MARTINS, 2012, p. 144)

A partir desta teoria, as amostras que emitiriam luminosidade e a radiação penetrante estariam fazendo essa emissão pois suas partículas estavam interagindo com a luz. Desta forma, microscopicamente, os osciladores idealizados estariam sendo forçados a oscilar com uma maior amplitude, emitindo assim uma radiação de maior frequência que a incidente.

De acordo com essa teoria, era possível que a partícula apresentasse vibração com uma frequência que fosse o dobro da frequência fundamental, desde que estimulada por uma força externa com frequência ligeiramente maior do que sua frequência fundamental. Este fato explicava muito bem uma violação à Lei de Stokes. (MARTINS, 2012)

A teoria de Lommel era de extrema concordância com as faixas de absorção já identificadas por Becquerel. De acordo com ela, os harmônicos de ressonância estão separados por uma diferença de frequência constante. De modo análogo, Henri Becquerel já

havia notado um espaçamento constante no espectro de absorção e emissão do urânio (MARTINS, 2012, p.145).

Desta forma, podemos discutir com os alunos um fato interessante dentro das concepções apresentadas por Becquerel. Ele concordava com uma explicação para a emissão de radiação após a absorção da luz, visão contínua para o fenômeno, porém a explicação para esse fato era baseada num modelo de absorção discreto. De acordo com as faixas de absorção já observadas por Becquerel e descritas pela teoria de Lommel, a radiação era absorvida de maneira descontínua.

Isso tudo faz a escolha de Becquerel não parecer algo ao acaso. Na realidade, a excitação por luz visível desempenharia o papel da força externa capaz de fazer a emissão de alta frequência que violaria a Lei de Stokes.

Este fator é mais uma justificativa para o fato de Becquerel ter desenvolvido toda a sua pesquisa unicamente com os compostos de urânio. A teoria mecânica para o fenômeno da luminescência se aplicava muito bem a estes compostos. (MARTINS, 2012, p. 152)

Becquerel ainda pensava que a emissão da radiação penetrante de urânio estava associada à luminescência visível, porém nem todos os compostos de urânio são luminescentes. Com isso ele começa a distinguir os efeitos obtidos utilizando compostos de urânio e os obtidos com outros corpos luminescentes (MARTINS, 2012, p. 147).

Dando seguimento às suas pesquisas, Becquerel observou que o urânio metálico puro também emitia radiações penetrantes. Observou ainda que ele era mais ativo do que o sulfato de uranila e potássio, que ele utilizara anteriormente.

Com isso, Becquerel concluiu que o urânio era o primeiro metal, observado até aquele momento, que tem a característica de emitir fosforescência invisível. Fato que contrariava os estudos de seu pai, que não havia identificado nenhum metal com a característica da fosforescência.

Becquerel já sabia que os compostos de urânio luminescentes possuíam uma estrutura regular nas suas faixas espectrais. Posteriormente, ele notou que os compostos de urânio não luminosos também tinham faixas de absorção bem definidas e regularmente espaçadas, assim como os compostos de urânio luminescentes, com algumas semelhanças entre as faixas destes compostos (BECQUEREL, 1885).

Com isso ele concluiu que todos os compostos de urânio, sejam eles luminosos ou não, bem como o urânio metálico deveriam ter a mesma estrutura interna de vibração. Desta maneira, todos os compostos de urânio poderiam ser excitados por uma radiação externa e emitiriam radiações penetrantes, sendo eles luminescentes ou não (MARTINS, 2012, p.150).

Como ressalta Martins (2012) a construção dos conhecimentos científicos não é feita ao acaso. Mas quando as condições para o surgimento de determinado conhecimento são favoráveis, ocorrem casos em que pesquisadores independentes descrevem simultaneamente explicações para determinados fenômenos. Esse fato ocorreu também com o fenômeno da radioatividade que sempre é creditado a Becquerel, mas que também teve as mesmas explicações elaboradas por Silvanus Thompson.

O inglês Silvanus Thompson (1851 – 1916) foi um cientista proeminente no final do século XIX principalmente na área da eletricidade e tinha também bastante experiência com fenômenos que envolvessem luminescência. No período em que realizou suas pesquisas, este era um tema que estava em alta devido às repercussões dos trabalhos de Röntgen.

Thompson, nos anos de 1897 e 1986, testou vários materiais luminescentes bem conhecidos como sulfeto de cálcio, espato de islândia, sulfeto de zinco, fluoreto de urânio e de amônio e alguns platinocianetos notando que alguns dos materiais eram capazes de criar uma silhueta em filmes sensíveis. Seguindo com os testes, Thompson, em 1896, então colocou uma folha de alumínio entre a substância e o filme e percebeu que apenas o nitrato de urânio e o fluoreto de urânio e amônio afetavam a chapa. (MARTINS, 2012)

Sendo mais um imerso nas pesquisas a respeito da relação entre luminescência e emissão de raios X, Thompson foi levado pelas suas observações a perceber que alguns compostos de urânio possuem uma emissão persistente de radiações penetrantes mesmo quando não estão expostos ao Sol. Conclusão esta que também foi tirada por Becquerel de acordo com seus experimentos.

Buscando divulgar sua conclusão, Thompson entrou em contato com George Gabriel Stokes (1819 – 1903), presidente da Royal Society e especialista em luminescência, para falar de seus resultados. Stokes ao receber a carta de Thompson reconheceu a relevância do trabalho e encorajou Thompson a seguir em frente, porém poucos dias depois enviou outra carta para Silvanus Thompson dizendo que seus resultados haviam sido antecipados por Becquerel. (MARTINS, 2012)

Thompson deu o nome de hiperfosforescência ao fenômeno da persistência de emissão após cessar a fosforescência. Esse nome foi utilizado recorrentemente por autores para designar os trabalhos com emissão de radiação, semelhantes aos de Becquerel.

É interessante ressaltar que assim como Becquerel, Silvanus Thompson também conjecturou que o urânio metálico tivesse a capacidade de emitir radiação penetrante, mas no seu trabalho isso acontecia quando estimulado por um tubo de raios catódicos. (MARTINS, 2012, p. 150)

Após as pesquisas iniciais publicadas por Becquerel, os periódicos científicos da época receberam uma grande onda de artigos relacionados a radiações emitidas por um tubo de Crookes e, também, artigos que se referissem a outras formas de radiação.

Todas essas pesquisas que foram desencadeadas pelos trabalhos de Becquerel foram, na realidade, tentativas de se responder a conjectura de Poincaré. As primeiras pesquisas foram na tentativa de relacionar a emissão de luminescência por animais com a emissão de raios X (MARTINS, 2012, p. 120).

É interessante, também, ressaltar que neste período algumas evidências foram apresentadas a respeito da emissão de radiações penetrantes por animais fosforescentes. Alguns cientistas, como o francês Raphael Duboid (1849-1929), apresentaram evidências que os animais que emitiam luminosidade também emitiriam radiação penetrante (MARTINS, 2012, p. 124).

Outra pesquisa que havia sido divulgada como positiva para a emissão de radiações penetrantes foi a realizada por McKissick, em 1897, onde o pesquisador descrevia ter obtido imagens de radiografias nítidas com a utilização de açúcar. (MARTINS, 2012, p.127)

A partir deste momento, uma série de questionamentos começou a ser feita em função dos resultados apresentados por Duboid e McKissck. Desta maneira, vários trabalhos começaram a ser desenvolvidos investigando as relações obtidas por esses dois pesquisadores.

Dentre os trabalhos que foram publicados na época, um em especial, o de Muraoka, em 1898, mostrou uma forte relação entre a umidade e seus efeitos sobre chapas fotográficas. Muraoka pôde perceber que diversas substâncias, quando nas proximidades de chapas fotográficas, afetavam as chapas causando manchas escuras.

A principal conclusão que foi tirada a partir deste artigo foi de que os resultados obtidos anteriormente com relação à emissão de radiação penetrante proveniente de animais eram resultados provenientes de vapores emitidos por algumas substâncias e não de radiação emitida pelos animais. (MARTINS, 2012, p. 125)

Todas essas pesquisas mostram o quanto era difícil diferenciar manchas produzidas por radiação em chapas fotográficas de efeitos espúrios causados por fatores externos.

A discussão, em torno aos trabalhos publicados nos estudos com luminescência, permite destacar com os alunos alguns pontos importantes relacionados a aspectos de Natureza da Ciência.

Primeiramente, podemos discutir o contexto técnico em que estes trabalhos foram desenvolvidos. As observações em chapas fotográficas ocorriam de forma predominantemente

qualitativa. Com isso as conclusões tiradas seriam diferentes das conclusões feitas a partir de experimentos realizados com uma abordagem quantitativa.

Esse fato permite discutir com os alunos que os cientistas realizavam experimentos onde o próprio método de validação dos resultados não poderia dar a confirmação desejada. Com isso, podemos problematizar a ideia de que os experimentos nem sempre trazem verdades como resultado. Sendo assim, podemos continuar problematizando a respeito das condições técnicas dos instrumentos ser algo extremamente importante para os resultados obtidos.

A forma como se obtém as informações a partir dos experimentos é de extrema importância para conseguir analisar os resultados obtidos. Estes resultados, obtidos a partir das investigações com animais capazes de emitir luminescência, inicialmente confirmavam que eles emitiam raios X. Somente em pesquisas posteriores, como a de Muraoka em 1898, foi percebido que, na realidade, eram efeitos espúrios que estavam afetando as chapas fotográficas utilizadas pelos pesquisadores. Só foi realmente possível descartar os efeitos de supostas radiações de animais e de objetos que não têm essa capacidade após o desenvolvimento do método elétrico pelo casal Curie (MARTINS, 2012, p.129).

Ao se pensar nas conclusões que os cientistas chegaram ao seguir os estudos das radiações baseados na observação de chapas fotográficas, podemos também perceber que suas expectativas teóricas influenciavam nas observações dos resultados obtidos.

Ao analisar as chapas fotográficas reveladas, os cientistas não cogitaram estar encontrando efeitos de fatores externos capazes de influenciar nas experiências, mas sim acreditaram estar encontrando resultados positivos a respeito da emissão de raios X pelos animais.

Diante deste fato, podemos ainda problematizar junto com os alunos como a técnica tem relação direta na construção do conhecimento científico. Para que resultados mais precisos fossem atingidos pelos cientistas, as técnicas que se tinham para analisar determinado fenômeno acabaram sendo aprimoradas e até mesmo novas técnicas foram desenvolvidas para que fossem atingidos resultados mais apurados.

Isto não é um aspecto que se restringe a esse episódio. Se pensarmos nas observações astronômicas, para que os telescópios fossem aprimorados e as imagens formadas fossem mais nítidas, as técnicas para polimento e construção de lentes foram fundamentais.

Para utilizar de um exemplo mais atual, no acelerador de partículas do LHC para realizar os experimentos e obter os dados que os cientistas precisam para seguir a diante com determinadas hipóteses para o modelo padrão das partículas, é preciso a cada dia detectores,

sensores e aparelhos mais refinados. Sem o desenvolvimento de técnicas mais refinadas, não seria possível captar, para análise, determinados dados dos experimentos.

Temos ainda a possibilidade de discussão de casos de “descobertas simultâneas” que acontecem na ciência. Analisando o caso dos trabalhos de Becquerel e Silvanus Thompson, podemos problematizar junto aos estudantes esse aspecto da Natureza da Ciência.

Muitas das realizações feitas por Becquerel foram também atingidas por Silvanus Thompson, simultaneamente. Nesse caso, temos cientistas que trabalhavam independentemente e em locais distintos. Becquerel realizou suas pesquisas na França, enquanto Silvanus estava na Inglaterra. O fato de ambos chegarem a um ponto comum, ponto esse de que muitos estavam próximos, mostra o quanto o contexto científico da época é capaz de influenciar o desenvolvimento da ciência.

Apoiado nessa descoberta simultânea, podemos mostrar aos alunos que não existem gênios na ciência e que não se pode considerar essa descoberta como tendo ocorrido ao acaso. Na realidade, se analisarmos os trabalhos de Becquerel em meio ao contexto em que ele estava inserido, seus trabalhos eram apenas sobre um dentre muitos dos novos fenômenos que estavam sendo observados e investigados pela comunidade científica da época.

Com isso, também podemos retomar a discussão de que a ciência é uma construção coletiva. Este episódio nos mostra que não existe um homem genial, sem o qual a ciência não se construiria. Na realidade, esse fato mostra que na ciência vários caminhos podem ser traçados por pesquisadores independentes entre si e que esses caminhos, mesmo que não sejam totalmente iguais, estão sempre alinhados com os dilemas científicos vividos pelos cientistas da época.

É possível perceber ainda que tanto Becquerel quanto Thompson não realizaram uma descoberta ao acaso. Pelo contrário, as conclusões a que eles chegaram com suas pesquisas foram conclusões que eram perfeitamente alinhadas com as teorias científicas do contexto em que estavam inseridos.

Outro ponto importante de ser destacado e problematizado junto aos alunos é o fato de como as pesquisas que eram desenvolvidas buscavam auxiliar no entendimento de um fenômeno que, para os cientistas da época, ainda estava em aberto.

Becquerel e os outros cientistas se lançaram em uma pesquisa, sobre o que não havia nada consolidado. Ele refez experimentos anteriores feitos por Henry e Niewenglowski e, a partir daí, começou a traçar o caminho que percorreria até buscar suas próprias conclusões. Desta maneira, ele seguiu seu caminho explorando todas as possibilidades que para ele fossem interessantes de serem investigadas.

Outro ponto importante a ser discutido neste ponto da controvérsia é o fato de que, ao voltarmos nossa atenção para alguns resultados de Becquerel, veremos que ele também seguiu um caminho com resultados de observações que não é coerente com o conhecimento físico estabelecido hoje (MARTINS, 2012, p. 155).

Dentre os resultados obtidos por Becquerel estão a reflexão e a refração da radiação do urânio. Ao observar a reflexão, Becquerel utilizou um cristal de urânio e um espelho côncavo muito bem polido capaz de gerar imagens ópticas sobre uma placa de vidro, que estava protegendo uma chapa fotográfica. Ao revelar a chapa, ele observou uma pequena mancha triangular preta que ele concluiu ser o floco de cristal que teve sua imagem projetada pelo espelho (MARTINS, 2012, p. 156).

Ao observar a refração, Becquerel colocou uma amostra de nitrato de urânio em uma cuba de vidro fechada por um lâmina fina de vidro na base, deixando o conjunto isolado da entrada de ar ao vedar o contato da chapa com o tubo, com parafina. Esta vedação se fazia necessária para evitar que o sal absorvesse a umidade. O conjunto foi colocado sobre uma chapa fotográfica envolta por papel negro e revelado após dois dias. O resultado foi uma mancha circular circundada por uma faixa em forma de anel, ligeiramente escura. (MARTINS, 2012, p. 158)

Ambos os resultados são estranhos, pois, de acordo com o conhecimento físico atual, a radiação do urânio não é refletida em superfícies metálicas, nem refratada pelo vidro.

Esse fato é importante para ressaltar junto aos alunos como as expectativas teóricas dos cientistas influenciam as observações feitas por estes em determinadas experiências. Desta maneira, podemos levantar uma discussão em torno da questão do anacronismo pois, dentro de seu contexto, Becquerel obteve resultados que não são compatíveis com as teorias existentes no contexto atual.

Becquerel pensava que as radiações de urânio fossem semelhantes à radiação ultravioleta, com isso ele já esperava que ela seria refletida e refratada. As observações feitas por Becquerel foram influenciadas por suas expectativas teóricas previamente estabelecidas.

Outro ponto que podemos discutir com os alunos com vistas a destacar a importância da concepção teórica de Becquerel para os resultados obtidos refere-se à persistência da emissão de radiação invisível.

De acordo com suas observações, os compostos de urânio utilizados emitiam raios penetrantes por um longo período de tempo mesmo após estarem por um longo tempo guardados no escuro, longe do estímulo da luz. Becquerel, mesmo observando que uma de suas amostras após mais de 160 horas mantidas no escuro continuava a emitir radiação penetrante sem variação na intensidade da emissão não suspeitou que pudesse estar diante

de um novo fenômeno. Ainda buscava explicar esses fenômenos com base na emissão provocada pela excitação fornecida pela luz visível.

Becquerel ainda observara esses fenômenos à luz de seus conhecimentos a respeito da luminescência dos materiais estimulados pela luz. Sua interpretação para o fenômeno foi de que o corpo emitiria radiação ao ser aquecido. Esse mesmo tipo de fenômeno já havia sido estudado por seu pai onde substâncias que haviam sido expostas à luz após perderem a capacidade de emitir luminosidade, recuperariam esta luminescência ao serem aquecidas. (MARTINS, 2012. P. 167).

Novamente temos uma situação onde Becquerel tem suas observações influenciadas pelas suas expectativas teóricas. Com base nos trabalhos que ele já tinha conhecimento, ele acaba por chegar a uma conclusão que o impede de perceber que o fenômeno que ele observava era um fenômeno novo e diferente dos outros que ele já estava acostumado.

Ao iniciarmos esta discussão com os alunos devemos sempre tomar muito cuidado para não levarmos a discussão para uma visão anacrônica, visto que estamos analisando resultados obtidos pelos cientistas baseados no conhecimento que temos estabelecido hoje.

A ideia não é levar o aluno a julgar se as conclusões que foram atingidas a partir das observações estão certas ou erradas, e sim, analisar como essas conclusões que foram construídas com base nas expectativas teóricas já previamente existentes nos cientistas estavam alinhadas com o conhecimento teórico da época.

Esta discussão se faz importante, pois mostra que podemos ainda discutir junto com os estudantes o fato de que, quando um cientista prepara um experimento visando observar certo fenômeno ou então, visando obter uma determinada conclusão, o cientista não consegue se despir de suas expectativas e analisar o fenômeno imparcialmente. Toda observação feita de um fenômeno não é totalmente neutra. (GUERRA; REIS; BRAGA, 2012; ALLCHIN, 2004, FORATO, 2011)

De acordo com o que foi apresentado até aqui, temos diversas possibilidades de problematizar com os alunos alguns elementos de Natureza da Ciência, levando-os a refletir mais a respeito de certas concepções equivocadas à respeito da construção do conhecimento científico que eles possam vir a carregar ao longo de sua vida escolar.

Considerações Finais

Diante das ideias presentes nesta dissertação é importante termos a clareza de que a intenção deste trabalho é levantar reflexões sobre ideias, que, ao serem aplicadas, sejam capazes de contribuir para o desenvolvimento de uma concepção mais complexa edos alunos.

O objetivo deste trabalho é apresentar contribuições para atividades a serem construídas por professores que tenham como objetivo fazer com que os alunos, ao participarem de discussões a respeito da controvérsia, sejam capazes de ter um pensamento mais complexo e com isso tragam mais elementos para suas discussões a respeito de temas científicos.

Sendo assim, a dissertação busca dar respostas à seguinte questão: quais elementos de natureza da ciência poderiam ser levados para um problematização junto aos alunos do ensino médio, através de uma abordagem histórica, com a utilização da controvérsia histórica entre a continuidade ou descontinuidade da matéria.

Além de buscar os elementos de Natureza da Ciência que seriam problematizados, as questões referentes ao trabalho sobre a Natureza da Ciência apontadas pela literatura pesquisada levaram-nos a discutir junto aos elementos de Natureza da Ciência que poderiam ser trabalhados a partir da controvérsia histórica selecionada, em que medida tal controvérsia potencializaria a superação dos obstáculos apontados para a inserção de uma abordagem histórica no ensino, indicados no segundo capítulo desta dissertação.

Ao recortar o tema central da dissertação, acabou por ser feita uma seleção de conteúdo histórico. Desta forma diversos trabalhos tiveram de ser abandonados em função da necessidade de ter um conteúdo que fosse acessível ao nível educacional que analisado e que estivesse dentro do tempo didático disponível para a elaboração e aplicação futura da proposta.

Desta forma, as análises apoiaram-se nos resultados de pesquisa de Forato (2011), quando a pesquisadora defende que a simplificação e a omissão de certos pontos é um obstáculo que deve ser superado com vistas a possibilitar os estudantes a entender o tema que é discutido no tempo histórico que é apresentado.

Com os recortes feitos no tema a dissertação mostra que é possível trabalhar um tema de física moderna nas aulas do ensino médio, sem que este tema seja encarado com uma curiosidade a mais nas aulas e sim como um conteúdo que pode ser discutido e trabalhado mais profundamente através de um viés histórico-filosófico.

Ao se discutir a controvérsia em sala de aula, temos então uma saída para contornar a pseudohistória, visto que ao mostrarmos ambos os lados do embate ocorrido e discutirmos a maneira como cada ideia estava alinhada com o conhecimento científico da época e com o

contexto em que estava inserida. Desta forma, evitamos criar estereótipos, induzir a ideia de que temos um único método científico universal, capaz de levar sempre as pesquisas ao sucesso e tornar a ciência algo isolado do seu contexto.

Mostrando aos alunos a controvérsia da forma mais completa e abrangente possível, como foi descrita nesta dissertação, evita-se também romancear a história, criando assim imagens de cientistas mártires ou gênios. Desta forma a dissertação se mostrou eficaz em apontar caminhos de como contornar o Whiggismo e a Hagiografia.

Pensando a respeito da Natureza da Ciência, percebemos então que a proposta demonstra potencial para levantar discussões acerca de alguns elementos, como por exemplo:

1- A ciência não é construída linearmente, com uma evolução de teorias, onde a seguinte é sempre um aperfeiçoamento da anterior. É possível chegar em determinadas conclusões por diversos caminhos e não por uma única sequência lógica de acontecimentos. Com a apresentação da controvérsia podemos mostrar aos alunos que alguns pontos, como o ponto de origem dos raios X, a natureza dos raios catódicos foram discutidos em diferentes momentos e que nenhum conhecimento era abandonado nas discussões por ser considerado já estabelecido.

2- Problematizar a ideia de que alguns conhecimentos científicos não são construídos a partir do acaso. Este ponto é importante para que os alunos tenham a percepção de que nenhum conhecimento é feito sem que haja uma bagagem de conhecimentos prévios e o acaso não é o fator chave para o desenvolvimento da ciência. Mesmo quando algum resultado inesperado chama a atenção e é capaz de despertar novas ideias, sempre temos que considerar que todo o conhecimento prévio exerce influência sobre as teorias que virão a ser desenvolvidas.

3- Discutir a neutralidade das observações e dos experimentos científicos. Ao trabalhar junto com os alunos a controvérsia, podemos discutir com eles a questão das observações condicionadas. Ponto evidenciado nas observações de experimentos feitas por Henry e Niewenglowski, que eram contraditórias com as feitas por Thomson e Perrin. Assim podemos levá-los a refletir a respeito das observações serem feitas a partir dos pressupostos que cada cientista carrega consigo.

4- Discutir que a ciência é uma produção coletiva. Ao longo dos fatos destacados no corpo desta dissertação, podemos perceber que diversos cientistas estavam envolvidos na construção daqueles conhecimentos e não apenas um cientista. Esse fato tem seu ponto forte ao abordarmos o caso de Silvanus Thompson e a radioatividade, simultaneamente a Becquerel.

5- Podemos também levar os alunos a problematizar a respeito das questões técnicas que estão envolvidas ao longo do desenvolvimento de certo conhecimento. Nem sempre os aparatos técnicos necessários para que se obtenha determinado resultado estão disponíveis no momento. Este ponto foi evidenciado nos

experimentos com os tubos de raios catódicos, onde o desenvolvimento de bombas de vácuo mais eficientes e a produção de descargas elétricas mais fortes foram fundamentais para a observação de determinados resultados. Desta forma, buscamos levar os estudantes a analisar os fatos de acordo com o contexto da época, sem que eles sejam anacrônicos.

6- Discutir com os alunos a respeito de como a ciência dialoga com o contexto onde ela está inserida sendo influenciada por este contexto e sendo fator que é capaz de influenciá-lo. As implicações dos trabalhos de Röntgen mostram que a ciência não se desenvolve a parte do contexto.

7- Problematizar com os alunos ao longo das discussões sobre a controvérsia escolhida o fato de que a ciência caminha buscando responder a questões que estão em aberto nas pesquisas. Podemos chamar a atenção para o fato de que as perguntas que não eram respondidas se tornavam motivações para novas pesquisas. Pesquisas estas que nem sempre respondiam completamente os questionamentos que eram feitos, mas que independente disto levantam novas questões. Percebemos isso com Röntgen, ao buscar entender a natureza dos raios catódicos ele observou a emissão dos raios X.

Outro resultado da pesquisa foi a indicação da possibilidade de se trabalhar o tema de maneira interdisciplinar integrando assim as disciplinas Física, Química, Biologia e Artes. Com as ideias indicadas por esta dissertação, foi possível apontar caminhos a serem seguidos com vistas a realizar discussões conjuntas entre as disciplinas, integrando melhor o conhecimento apresentado e enriquecendo o processo de aprendizagem.

Os resultados obtidos com esta pesquisa se mostraram satisfatórios em fornecer subsídios para possibilitar a inserção não somente de conteúdos de física moderna no ensino médio, mas também de como seguir uma abordagem histórica do conteúdo.

Referências Bibliográficas

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. “The influence of history of science courses on students views of nature of science”. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 37, n. 10, p. 1057-1095, 2000.

ALMEIDA, Maria José. “Historicidade e Interdiscurso: pensando a educação em Ciências na Escola Básica”. *Ciência e Educação*, v.10, n.33 333-341, 2004

ALLCHIN, D. “Pseudohistory and pseudoscience.” *Science & Education*, 13: 179-195, 2004 .

ALLCHIN, D. “Evaluating Knowledge of the Nature of (whole) Science”, *Science Studies and science education*, 2010.

BECQUEREL, H. Relations entre l’absorption de la lumière et l’émission de la phosphorescence dans les composés d’uranium. Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l’Académie des Sciences de Paris 101: 1252-1256. 1885.

BECQUEREL, H. “Sur les radiations émises par phosphorescence”. *Comptes Rendus Hebdomadaires dês Séances de l’Académie dês Sciences de Paris* 112 : 420-1, 1896a

BECQUEREL, H. “Sur les radiations invisibles émises par lês corps phosphorescent”. *Comptes Rendus Hebdomadaires dês Séances de l’Académie dês Sciences de Paris* 112 : 501-3, 1896b.

BECQUEREL, E. “Recherches sur divers effets lumineux qui résultent de l’action de la lumière sur lês corps”. *Annales de Chimie et de Physique* [3] 55: 5-119, 1859a

BECQUEREL, H. “Recherches sur une propriété nouvelle de la matière – activité radiante spontanée ou radioactivité de la matière”. *Mémories de l’Académie dês Science de l’Institut de France* 46: 1-360, 1903

BRAGA, M ;GUERRA, A ; REIS, J.C . “The Role of Historical-Philosophical Controversies in Teaching Sciences: The Debate Between Biot and Ampère”. *Science & Education*, v. 21, p. 921-934, 2012.

BRASIL, *Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio.* Brasília: SEB/MEC, 2002.

CARVALHO, Cristiano. A história da indução eletromagnética contada em livros didáticos de física, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná (UFPR). 2007

DOPAZO,A. ; FIUZA,L. ; GUERRA,A. “O uso de imagens como um caminho capaz de problematizar questões a respeito de Natureza da Ciência em torno ao Tema Energia Nuclear.” In: anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. Pag:1-. 2013

FAZENDA, I. C. A. . Revisão Histórico-Crítica dos Estudos Sobre Interdisciplinaridade No Brasil.. In: I Congresso Internacional sobre Formação de Professores de Língua Portuguesa, 1994. Anais do I Congresso Internacional sobre Formação de Professores de Língua Portuguesa. Portugal. v. 1. p. 30-40.

FAZENDA, I. C. *Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: efetividade ou ideologia?* 5. Ed. São Paulo: Loyola 2002.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello. *A Natureza da Ciência como saber escolar: um estudo de caso à partir da história da luz*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo (USP). Faculdade de Educação. 2009.

FORATO, Thaís C. M. ; PIETROCOLA, Maurício ; MARTINS, Roberto de A. “Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, p. 27-59, 2011.

FREIRE JR., O. “A relevância da Filosofia e da História das Ciências para a formação dos professores de ciências”. In: Waldomiro José da Silva Filho. (Org.). Epistemologia e Ensino de Ciências. Salvador: Arcadia, 2002, v. , p. 13-30.

GERMANO, Marcelo Gomes; DE LIMA, Isabelle Priscila Carneiro; DA SILVA, Ana Paula Bispo. “Pilha voltaica: entre rãs, acasos e necessidades”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, p. 145-155, 2012.

GIL PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. Ciência & Educação, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001

GUERRA, Andréia et al. “Um Julgamento no Ensino Médio – Uma Estratégia para Trabalhar a Ciência sob Enfoque Histórico-Filosófico.” *Física na Escola,* v. 3, n. 1, pp. 8-11, 2002.

HARTMANN, Ângela Maria. *Desafios e possibilidades da interdisciplinaridade no ensino médio*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília (UNB). 2007.

HÖTTECKE, Dietmar; SILVA, Cibelle Celestino. “Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: An analysis of obstacles”. *Science & Education*, v. 20, n. 3-4, p. 293-316, 2011.

JAPIASSU, H. “A atitude interdisciplinar no sistema de ensino”. *Revista Tempo Brasileiro*. Rio de Janeiro: n°108, p.83-94. 1992

JO NYE, M. “Before Big Science: The Pursuit of Modern Chemistry and Physics”, 1800-1940, 1999

JUNIOR, Mikael Frank Rezende, CRUZ, Frederico Firmo de Souza. “Física Moderna e Contemporânea na Formação de Licenciandos em Física: Necessidades, Conflitos e Perspectivas.” *Ciência & Educação,* v. 15, n. 2, pp. 305-321, 2009.

KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1962.

LATOUR, Bruno. “Pasteur et Pouchet: hétérogenèse de l’histoire des sciences”. *Eléments d’histoire des sciences*, Paris, Bordas, p. 423-445, 1989.

LOBATO, Teresa; GRECA, Ileana María. “Análise da inserção de conteúdos de teoria quântica nos currículos de Física no Ensino Médio”. *Ciência & Educação*, v. 11, n. 1, p. 119-132, 2005.

LÜCK, H. *Pedagogia interdisciplinar: Fundamentos teórico-metodológicos*. Petrópolis: Vozes 1994.

MACHAMER, Peter K.; PERA, Marcello; BALTAS, Aristeidēs. *Scientific controversies: philosophical and historical perspectives.* New York-Oxford: Oxford University Press, 2000.

MARTINS, L.; MARTINS, R.A. “Geração espontânea: Dois pontos de vista”. *Perspecillum* 3(1): 5-32, 1989

MARTINS, L. “História da Ciência: objetos, métodos e problemas”. Ciência e Educação (UNESP), São Paulo, v. 11, n.2, p. 305-317, 2005.

MARTINS, R. A. “Sobre o Papel da História da Ciência no Ensino”. Boletim da sociedade Brasileira de História da Ciência, (9), pp. 3-5, 1990.

MARTINS, R. A. “Arquimedes e a Coroa do Rei: Problemas Históricos”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 17, n. 2, pp. 115-121, Ago. 2000.

MARTINS, R. A. “História e história da ciência: encontros e desencontros.” In: Actas do 1° Congresso Luso-Brasileiro de História da Ciência e da Técnica, pp. 11-46, Évora: Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência da Universidade de Évora, 2001.

MARTINS, R. A. Hipóteses e interpretação experimental: a conjectura de Poincarée a descoberta da hiperfosforescência por Becquerel e Thompson. Ciência & Educação 10(3): 501-516, 2004

MARTINS, R. A. “Introdução: a história das ciências e seus usos na educação”. In: SILVA, Cibele Celestino (Org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para aplicação no ensino.* São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006a. pp. xvii-xxx.

MARTINS, R. A. “A Maçã de Newton: História, Lendas e Tolices”. In: SILVA, Cibele Celestino (Org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para aplicação no ensino.* São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006b. pp. 167-189.

MARTINS, Alexandre Ferrer P. “História e Filosofia da Ciência no Ensino: há muitas pedras nesse caminho...” *Caderno Brasileiro de Ensino de Física,* v. 24, n. 1, pp. 112-131, 2007.

MARTINS, Roberto de Andrade . Becquerel e a descoberta da radioatividade: uma análise crítica. 1. ed. Campina Grande. São Paulo: EDUEPB. Livraria da Física, 2012. v. 1. 475p .

MATTHEWS, Michael R. “Um Lugar para la História y la Filosofia em la Enseñanza de las Ciências.” *Comunicación, Lenguaje y Educación.* v. 11-12, pp. 141-155, 1991.

MATTHEWS, Michael R. “História, Filosofia e Ensino de Ciências: A Tendência Atual de Reaproximação.” *Caderno Catarinense de Ensino de Física,* v. 12, n. 3, pp. 164-214, Dez 1995.

MCCOMAS, W. F. “Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science”. *Science & Education*, v. 17-1/2, Springer, 2008.

MEDEIROS, Alexandre. “Eric Rogers e o Ensino de Física Moderna.” *Física na Escola,* v. 8, n. 1, pp. 40-42, 2007.

MONTEIRO, Maria Amélia, NARDI, Roberto. “A Utilização da História da Ciência no Ensino de Física: investigando o contexto da construção do espectroscópio de chamas”. In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física - XVII SNEF, São Luís, Maranhão, 2007.

MONTEIRO, Maria Amélia et al. “A Sistemática Incompreensão da Teoria Quântica e as Dificuldades dos

Professores na Introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.” Ciência &

Educação, v. 15, n. 3, pp. 557-580, 2009.

MOZENA,E ; et al . A história e a filosofia da ciência nos manuais didáticos sobre o problema da radiação de corpo negro (PRCN): por que não oferecer a física como cultura?. In: André Ferrer P. Martins. (Org.). Física ainda é cultura?.1°ed.São Paulo: Livraria da Física, 2009, v. , p. 231-258.

NIEWENGLOWSKI, G. H. Sur la proprieté qu’ont les radiations émises par les corps phosphorescents, de traveser certains corps apaque à la lumière solaire, et sur les experiences de M.G. Le Bon, sur

la lumière noire. Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris. 122: 385-6. 1896

OSBORNE, J. "Science education for the twenty first century." *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education* 3.3 (2007): 173-184.

OSTERMANN, Fernanda, MOREIRA, Marco Antônio. "Uma Revisão Bibliográfica sobre a Área de Pesquisa 'Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio'." *Investigações em Ensino de Ciências,* v. 5, n. 1, pp. 23-48, Jan. 2000.

PEREIRA, Alessandro P., OSTERMANN, Fernanda. "Sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: Uma Revisão da Produção Acadêmica Recente." *Investigações em Ensino de Ciências,* v. 14, n. 3, pp. 393-420, 2009.

PERRIN, J. Quelquer propriétés des rayons de Röntgen. COmptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Siences de Paris 122(4). 186-188, 1986.

PUMFREY, Peter David; REASON, Rea; PUMFREY, Peter D. "Specific learning difficulties (dyslexia): Challenges and responses". NFER-Nelson, 1991.

SILVA, B. V. C . "O modelo vibracional da luz de Huygens e o ensino de Física: equívocos, desafios e possibilidades". *Latin American Journal of Physics Education*, v. 5, p. 467-474, 2011.

REIS, J. C.; GUERRA, Andreia ; BRAGA, M. "Ciência e arte: relações improváveis?". *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, v. 13, p. 71-87, 2006.

RIO DE JANEIRO. Secretaria de Estado de Educação. Currículo Mínimo 2012 - Física. Rio de Janeiro: SEEDUC, 2012.

RÖNTGEN, W. C. Über eine neue Art von Strahlen(Vorläufige Mittheilung). Sitzunsberichte der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg (9):132-141, 1985.

SILVA, Cibelle. C. ; MOURA, Breno A . "A Natureza da Ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana". *Revista Brasileira de Ensino de Física* (São Paulo), v. 30, p. 1602.1-1602.10, 2008.

SEGRÉ, E. Dos raios X aos quarks. Físicos modernos e suas descobertas, 1987.

SILVA, Erman Naum, TEIXEIRA, Ricardo Roberto Plaza. "A História da Ciência nos Livros Didáticos. Um Estudo Crítico sobre o Ensino de Física pautado nos Livros Didáticos e o uso da História da Ciência." In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2009, pp. 1-12, Vitória, 2009.

SILVEIRA, Fernando Lang, PEDUZZI, Luiz. O. Q. "Três Episódios de Descoberta Científica: Da Caricatura Empirista a uma Outra História." *Caderno Brasileiro de Ensino de Física,* v. 23, n. 1, pp. 26-52, Abr. 2006.

SMITH, G. E. J.J Thomson and the electron. In: Zed J. Buchward and Andrew Warnick (Org). Histories of the Electron: The Birth of Microphysics. England, The MIT press, 2004 p. 21-76

TERRAZZAN, E. A. "A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de segundo grau". *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, SC, Brasil, v. 9, n.3, p. 209-214, 1992.

THOMSON, J.J. "Cathode rays", Philosophical Magazine 44, 293. 1987.

THOMSON, J.J. "Longitudinal electric waves, and Röntgen's X-rays" *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 9:49-61, 1986.

ZANETIC, J; et al . Física ainda é cultura! In: André Ferrer P. Martins. (Org.). Física ainda é cultura?.1°ed.São Paulo: Livraria da Física, 2009, v. , p. 281-300.

ZANETIC, J. ; PINTO, A. “É possível levar a física quântica para o ensino médio?”. *Cadernos Catarinense de Ensino de Física*, v. 16, p. 7-34, 1999.