

## Reflexões sobre o processo de construção da ciência na disciplina de química: um estudo de caso a partir da história dos modelos atômicos

Cristiano Barbosa de Moura<sup>1</sup>, Andreia Guerra<sup>2</sup>

[cristianobmoura@gmail.com](mailto:cristianobmoura@gmail.com), [aguerra@tekne.pro.br](mailto:aguerra@tekne.pro.br)

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação Ciência, Tecnologia e Educação. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ) – Brasil.

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação Ciência, Tecnologia e Educação. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ) – Brasil.

### Resumo

Um dos caminhos apontados para promover discussões sobre o processo de construção da ciência em sala de aula é através da utilização de abordagens histórico-filosóficas. Inspirados em uma proposta denominada três eixos, revista e ampliada neste estudo, desenvolvemos uma intervenção pedagógica com vistas a criar subsídios para identificar ideias sobre o processo de construção da ciência que puderam ser destacados e problematizados por alunos no estudo dos modelos atômicos. Para isso, o trabalho é desenvolvido em duas etapas: a primeira consistiu em uma pesquisa bibliográfica os modelos atômicos sobre propostos na virada do século XIX para o século XX, dentro da perspectiva dos três eixos. A segunda etapa foi um estudo de caso que usou a metodologia qualitativa pesquisa-ação em uma intervenção didática em sala de aula de ensino médio na disciplina de química. Os resultados apontam, entre outras observações, que as principais ideias levantadas pelos alunos estiveram em torno à relação entre a ciência e o contexto sociocultural e a respeito da dinâmica de trabalho do cientista, de maneira que puderam problematizar a imagem do cientista como gênio isolado ou de ciência neutra.

**Palavras chave:** Natureza da Ciência, Modelos Atômicos, História da Ciência, Ensino de Química, Pesquisa-ação

### Reflections on the construction process of Science in chemistry classes: a case study through the history of atomic models

### Abstract

One of the ways to promote discussions about the construction process of science in the classroom is through the use of historical-philosophical approaches. Inspired by a proposal known as three axes, revised and expanded in this study, we developed an educational intervention in order to creating subsidies to identify ideas about the construction process of science that could be highlighted and problematized by students in the study of atomic models. For this, the work is carried out in two stages: the first one consists of a literature research on the atomic models proposed in the late 19th century to the 20th century. The second stage was a case study that used action research qualitative methodology in an educational intervention in a high school classroom in the chemistry discipline. The results show, among other observations, that the main ideas raised by the students stood around the relationship between science and the socio-cultural context and about the scientist's work dynamics, so that they could problematize the image of the scientist as an isolated genius or neutral science.

**Keywords:** Nature of Science, Atomic Models, History of Science, Chemistry Education, Action Research

### Reflexiones sobre el proceso de construcción de la ciencia en la disciplina química: un estudio de caso a través de la historia de los modelos atómicos

## Resumen

Una de las formas destinadas a promover los debates sobre el proceso de construcción de la ciencia en el aula es a través del uso de enfoques histórico-filosóficos. Inspirado por una propuesta denominada tres ejes, revisada y ampliada en este estudio, hemos desarrollado una intervención educativa dirigida a la creación de subsidios para identificar ideas sobre el proceso de construcción de la ciencia que podrían ser resaltadas y problematizadas por los estudiantes en el estudio de los modelos atómicos. Para ello, el trabajo se lleva a cabo en dos etapas: la primera consistió en una búsqueda bibliográfica sobre los modelos atómicos propuestos a finales del siglo XIX hasta el siglo XX. La segunda etapa es un estudio de caso que utilizó la metodología cualitativa investigación-acción en de una intervención educativa en el aula de la escuela secundaria en la disciplina de la química. Los resultados muestran, entre otras observaciones, que las principales ideas planteadas por los estudiantes estaban en pie alrededor de la relación entre la ciencia y el contexto socio-cultural y sobre la dinámica de trabajo del científico, para que pudieran hablar sobre la imagen del científico como un genio aislado o ciencia neutral.

**Palabras clave:** Naturaleza de la ciencia, modelos atómicos, historia de la ciencia, enseñanza de la química, investigación-acción

## Réflexions sur le processus de construction de la science dans la chimie discipline: une étude de cas à travers l'histoire des modèles atomiques

### Résumé

Un des moyens visant à promouvoir les discussions sur le processus de construction de la science dans la salle de classe est par l'utilisation d'approches historiques-philosophiques. Inspiré par une proposition appelée trois axes, révisé et élargi cette étude, nous avons développé une intervention éducative visant à créer des subventions pour identifier des idées sur le processus de construction de la science qui pourraient être mis en évidence et problématisé par les élèves dans l'étude de modèles atomiques. Pour cela, le travail est effectué en deux étapes: la première consiste en une recherche documentaire sur les modèles atomiques proposées dans la fin du XIXe siècle au XXe siècle, du point de vue des trois axes. La deuxième étape est une étude de cas qui a utilisé la méthodologie qualitative de recherche-action grâce à une intervention éducative dans une classe de l'école secondaire dans la discipline de la chimie. Les résultats montrent, entre autres observations, que les principales idées soulevées par les étudiants se tenaient autour de la relation entre la science et le contexte socio-culturel et sur les dynamiques de travail du scientifique, afin qu'ils puissent discuter de l'image du scientifique comme un génie isolé ou la science neutre.

**Mots clés:** nature de la science, modèles atomiques, histoire des sciences, enseignement de la chimie, recherche-action

## 1. INTRODUÇÃO

Vários educadores defendem que o ensino de ciências na educação básica deve proporcionar reflexões sobre a ciência, ou seja, o estudo sobre a Natureza da Ciência (NdC) (ALLCHIN, 2011; LEDERMAN, 2007; McCOMAS, 2008; OSBORNE et al, 2003; LEDERMAN et al, 2002). Um dos caminhos apontados para discussões sobre a ciência em sala de aula é a utilização de abordagens histórico-filosóficas (BRAGA; GUERRA; REIS, 2008; 2012; ALLCHIN, 2011; SEROGLU; ADURIZ-BRAVO, 2012), nas quais a história da ciência é utilizada como eixo condutor à discussão não só sobre os conteúdos científicos, mas também sobre os processos e contextos de produção e publicação<sup>1</sup> da ciência.

Quando o olhar se volta à utilização da História da Ciência nas aulas de química, pesquisas sobre livros didáticos da disciplina apontam ser o tema “modelos atômicos” recorrentemente abordado de forma histórica (AUTORES,

2013). Porém, em geral, esse é praticamente o único conteúdo, onde essa abordagem é utilizada, a despeito de não trazer na abordagem uma visão de ciência de acordo com a historiografia atual da ciência (CHAVES, SANTOS, CARNEIRO, 2014).

Em geral, a apresentação histórica contida nos livros didáticos privilegia uma visão simplista e linear da ciência, onde a mesma é produzida por grandes gênios (AUTORES, 2013). Porém, um olhar mais apurado para a historiografia da ciência contemporânea mostra que a trama do desenvolvimento dos modelos atômicos na virada do século XIX para o século XX é bem mais complexa do que aquela apresentada pelos livros didáticos (KRAGH, 2010). Qual a justificativa de abordar o modelo atômico de Rutherford e esquecer o modelo de Hamtaro Nagaoka, por exemplo, cujo impacto científico foi maior (LOPES, 2009)? Ou ainda, negligenciar o papel fundamental que John Nicholson desempenhou no estabelecimento do modelo quântico para o átomo (LOPES, 2009; LOPES; MARTINS, 2009)? Não é escopo desse trabalho analisar as circunstâncias que levaram à atual abordagem dos livros didáticos para o ensino de modelos atômicos. Nosso objetivo é investigar as possibilidades trazidas ao ensino de ciências por uma abordagem histórica que busca quebrar a

<sup>1</sup> Por “publicização” entenda-se os meios pelos quais a ciência é divulgada tanto no meio acadêmico como para o grande público. Diferencia-se, portanto, da simples publicação acadêmica.

visão linear e pautada em obras de gênios, trazendo às salas de aula discussões sobre contexto sociocultural da produção de modelos atômicos da virada do século XIX para o XX, destacando as controvérsias científicas daquele contexto.

Para melhor delimitar o problema da pesquisa, teceremos algumas considerações a respeito das discussões trazidas por pesquisadores da área de ensino de ciências a respeito da NdC. Há certo consenso entre os educadores e pesquisadores de ensino de ciências sobre a importância de discussões sobre NdC no ensino, porém existe um dissenso a respeito de qual caminho seguir na efetiva implementação desta proposta.

Alguns pesquisadores defendem que é possível construir uma lista de afirmações, chamada de lista consensual, a respeito da ciência que, se trabalhada com alunos, lhes possibilitaria compreender o que é a ciência (LEDERMAN et al, 2002; McCOMAS, 2008; OSBORNE et al, 2003). Os defensores dessa lista argumentam que apesar das controvérsias acerca do que é ciência por parte de filósofos, sociólogos, historiadores há um conjunto de ideias-chave que são consensuais e que ensinar sobre ciência seria promover um entendimento maior a respeito dessas ideias-chave (LEDERMAN et al, 2002; OSBORNE et al, 2003; McCOMAS, 2008). Nesse caminho, autores como Lederman e colaboradores (2002) defendem que o grau de entendimento sobre NdC poderia ser medido, através de testes específicos<sup>2</sup>.

Estudos recentes, no entanto, criticam a “lista consensual” da ciência. Irzik e Nola (2011), por exemplo, argumentam que existem diferenças entre os diversos campos do conhecimento científico, de forma que nem todas as ciências compartilham de todos os aspectos apontados na lista. Por exemplo, a astronomia e a cosmologia são muito diferentes da química no que diz respeito ao papel da experimentação no seu desenvolvimento. Irzik e Nola (2011) ainda questionam alguns itens específicos da lista, como por exemplo, aquele que destaca ser a ciência autocorretiva. Para esses autores, é difícil sustentar a ideia de que a ciência é autocorretiva, se aceitamos outro item da lista que é a inexistência de um método estrito pela qual se constrói o conhecimento científico. No caminho de crítica, eles destacam, ainda, que a lista consensual passa a ideia de que a NdC é imutável independente do tempo, isto é, que a mudança em sua “natureza” não é possível, o que, segundo os autores, encontra refutação na própria história da ciência (IRZIK; NOLA, 2011, 2014).

Ainda no caminho de crítica, Douglas Allchin (2011, 2014) argumenta que os cidadãos devem aprender como a ciência funciona com o objetivo de interpretar a confiabilidade das informações científicas para a tomada de decisões. O estudo sobre a NdC precisa ser funcional, e não apenas

declarativo como, segundo Allchin, é o ensino pautado na lista consensual. Uma educação científica que segue a lista consensual a respeito da NdC representaria apenas a adição de novos conteúdos no currículo, não contribuindo para a formação de cidadãos (ALLCHIN, 2011, 2014).

Entendemos que Allchin traz um aspecto importante ao propor o trabalho com temas sobre a ciência dentro de uma perspectiva mais funcional e menos declarativa. Por esse motivo, no desenvolvimento dessa pesquisa, buscamos não pautar nossa análise em sentenças presentes na “lista consensual”. Além disso, levamos em consideração as críticas de Irzik e Nola (2011) à lista consensual e suas proposições a respeito de uma classificação das ciências de acordo com suas semelhanças e diferenças, denominado “semelhança de famílias”. Nesta pesquisa, o problema de caracterização da ciência torna-se menos proeminente já que há um foco na ciência química. Ou seja, podemos dizer que esse fato circunscreve nosso universo de aspectos sobre a ciência ao campo restrito da química e, mais especificamente, ao episódio desenvolvimento dos modelos atômicos em fins do século XIX e início do XX, o que, em certa medida, evita o trânsito através de questões metacientíficas conflituosas no campo da filosofia e ensino das ciências.

Outra questão controversa em relação ao trabalho com NdC em aulas de ciências refere-se à abordagem implícita versus explícita deste tema. Alguns autores (LEDERMAN et al, 2002; ACEVEDO DIAZ, 2009) apontam resultados empíricos que destacam ser a abordagem explícita mais apropriada, na medida que evidencia questões específicas de NdC com o objetivo de discuti-las. Os estudos desses autores apontam que inserir os estudantes em atividades científicas, sem explicitar as questões a respeito da NdC que emergem dessas atividades, como propõe a abordagem implícita, contribui pouco para uma apreensão por parte dos alunos de questões a respeito da NdC (ABD-EL-KHALICK, 2013).

Mais recentemente, há uma terceira proposta que, como a abordagem implícita, também se utiliza do engajamento dos alunos em atividades de investigação, porém sob outra perspectiva epistemológica, denominada por Abd-El-Khalick (2013) “ensinar com NdC”. Para o autor, professores que possuem conhecimentos sólidos a respeito de NdC estão melhor habilitados a criarem ambientes de investigação mais próximos da pesquisa científica autêntica, sendo esses ambientes férteis para promover a discussão explícita de aspectos de NdC.

A respeito destes caminhos, partimos dos resultados empíricos comentados por Lederman et al (2002) e Acevedo (2009) e optamos neste trabalho pela abordagem explícita de conteúdos de NdC, porém observadas as recomendações de Allchin (2011) para evitar o ensino meramente declarativo.

Levando em conta essas considerações, essa pesquisa visa criar subsídios para responder à seguinte questão: que elementos a respeito do processo de construção da ciência podem ser levantados pelos alunos e problematizados no estudo dos modelos atômicos desenvolvidos no final do século XIX e início do XX, que privilegie uma abordagem histórico-contextual?

<sup>2</sup> Lederman e colaboradores propõem testes como o V-KNOS, que é composto por formulários contendo de 7 a 10 questões com resposta aberta destinados a avaliar os conhecimentos de estudantes e professores de diversos níveis sobre as proposições da lista consensual sobre NdC. Os questionários são validados a partir da resposta de especialistas e necessitam de uma avaliação conjunta com uma entrevista semiestruturada para elucidar o conteúdo e as intenções das respostas dos entrevistados.

Denominamos de abordagem histórico-contextual um tipo de abordagem que explicita com os alunos aspectos da construção do conhecimento científico, destacando tanto as questões epistemológicas relacionadas ao conteúdo científico tratado, como aquelas vinculadas ao contexto sociocultural da produção do tema estudado. Nesse sentido, um dos objetivos desse trabalho é analisar se a abordagem histórico-contextual relacionada à construção dos modelos atômicos em finais do século XIX e início do século XX permite criar em sala de aula um espaço capaz de suscitar reflexões que permitam aos alunos discutir que aquele conhecimento se construiu a partir da obra de diferentes atores que, direta e indiretamente, participaram daquela produção (LOPES, 2009; KRAGH, 2010).

Para responder à questão central da pesquisa e desenvolver os objetivos propostos, elaboramos uma pesquisa, a partir de uma intervenção em aulas de Química do Ensino Médio regular de uma escola pública do Estado do Rio de Janeiro (Brasil). Os caminhos seguidos para a coleta de dados, assim como o perfil das turmas e dos alunos que participaram da pesquisa serão descritos na sessão metodologia. Por ora, descreveremos quais referenciais guiaram a construção da intervenção citada.

## **2. UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-FILOSÓFICA PARA O ENSINO MÉDIO: A FERRAMENTA DOS TRÊS EIXOS**

Na construção da intervenção pedagógica, desenvolvemos a abordagem histórico-contextual a partir de um estudo de caso histórico, que, inspirados em Porto (2010) definimos aqui como: uma análise de um episódio da história da ciência, com um recorte espaço-temporal bem delimitado e justificado, a partir do qual devem ficar evidentes o contexto sócio-histórico-cultural em que ocorre o episódio, as disputas e controvérsias presentes na aceitação ou rejeição de hipóteses e teorias e os demais fatores que ajudem a compreender as particularidades do empreendimento científico.

Consideramos em nossa pesquisa que além de atenção para os obstáculos na construção de abordagens históricas já ressaltadas na literatura (FORATO; MARTINS; PIETROCOLA, 2011), precisávamos de um caminho para delinear a abordagem histórico-contextual. Nesse caminho, assumimos que ao criar uma abordagem histórico-filosófica, há a necessidade de transformar o saber histórico (produzido por historiadores da ciência) em um saber escolarizado em história da ciência. A linguagem dos historiadores da ciência ou dos artigos originais não é, em geral, acessível a alunos de nível médio, que são nosso público-alvo nesta pesquisa. Por isso, é necessária a reconstrução, sob alguns parâmetros, com vistas a alcançar determinados objetivos, evitando perigos historiográficos, mas também favorecendo um recorte histórico que possibilite a discussão dos aspectos de NdC a serem abordados nesta intervenção didática.

Tendo isso em mente, ao pensar na construção da intervenção didática, procuramos nos aproximar da abordagem proposta por Guerra, Braga e Reis (2013), onde os autores articulam uma proposta de ensino por meio de um fio condutor histórico-filosófico sobre três eixos: o

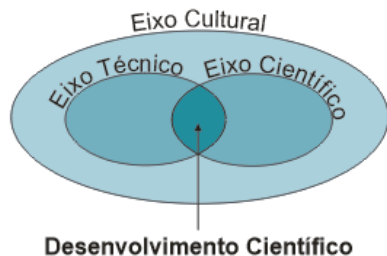
artístico, o técnico e o científico. Por meio do eixo artístico (que neste trabalho adaptaremos para eixo cultural), mostraremos o contexto cultural do período histórico estudado. Através de obras de arte, imagens históricas, vídeos e outras ferramentas, procuramos delinear este entorno cultural em que se deu o fazer científico. Destacamos as artes plásticas, pois entendemos que elas refletem o contexto sociocultural do tempo e espaço de sua produção, que é compartilhado pela ciência produzida naquele mesmo tempo e espaço (REIS; GUERRA; BRAGA, 2006). Portanto, embora não se determine a influência da arte sobre a ciência ou vice-versa, o fato de compartilharem não só o contexto, mas muitas vezes as questões (filosóficas, estéticas, etc) colocadas na época, garante o uso numa mesma intervenção pedagógica do fazer científico e do fazer artístico (GUERRA; BRAGA; REIS, 2013; REIS; GUERRA; BRAGA, 2006). Para além da arte, existem outras questões culturais de cada contexto espaço-temporal que se relacionam direta ou indiretamente com a criação de teorias, as quais também serão exploradas neste “eixo” como forma de possibilitar a discussão dos temas de NdC que serão discutidos, em especial a relação da ciência com o contexto em que se desenvolve.

O eixo técnico permite entrar na discussão a respeito das características da ciência que evitam cair no relativismo para o qual nos alertam Forato, Martins e Pietrocola (2011). Neste eixo, abordaremos o desenvolvimento da instrumentação que, em constante articulação com as teorias desenvolvidas à época, propiciaram novas questões e novos instrumentos, dando origem a novas possibilidades de investigações. É importante ressaltar que adotamos, conforme defendido por Galison (1987), a não existência de uma relação de precedência entre a experimentação e teoria. Além disso, entendemos que a objetividade não é dada simplesmente a partir do instrumento (GALISON, 2000). Ao trazer as técnicas à narrativa histórica, pretendemos discutir quais os parâmetros que fazem da ciência uma produção cultural com especificidades diferentes de outras produções humanas. Por último, no eixo científico, abordaremos os conteúdos científicos que fazem parte do plano de curso, isto é, os modelos criados pelos cientistas e suas explicações para os fenômenos da época.

Deve-se entender “eixo” não como alguma estrutura rígida, onde os fatos históricos são alocados, mas imaginá-los como orbitais atômicos que podem se interpenetrar e interferir uns nos outros, ou seja, diferente do que o termo “eixo” pode sugerir há uma interdependência entre estes três domínios. A ideia principal deste recurso é servir de suporte à construção de abordagens histórico-filosóficas, em que o professor seja capaz de articular o contexto sociocultural com as técnicas e modelos científicos desenvolvidos em determinada época, a fim de construir narrativas históricas mais coerentes com a historiografia atual.

O diagrama apresentado na figura 1 ilustra a ideia contida na proposta de abordagem através dos três eixos. Há um contexto cultural que permeia toda a produção humana em um determinado tempo e espaço, representado pelo diagrama maior. Dentro deste contexto, temos a produção de técnicas e de teorias científicas em cuja interseção se dá o desenvolvimento científico. Tanto o desenvolvimento da ciência quanto o de técnicas são subconjuntos da

produção cultural de uma determinada época. Porém, nem todas as técnicas se relacionam diretamente ao desenvolvimento da ciência, assim como nem todos os modelos científicos são redutíveis a questões materiais do eixo técnico. Outros detalhes sobre os três eixos serão desenvolvidos na abordagem da narrativa histórica construída.



**Figura 1:** Representação gráfica dos três eixos  
**Fonte:** Desenvolvido pelos autores

### 3. METODOLOGIA

A presente pesquisa foi desenvolvida em duas etapas: a primeira consistiu em uma investigação teórica em fontes primárias e secundárias de história dos modelos atômicos, com o olhar voltado para a elucidação de aspectos de NdC a serem trabalhados na investigação em sala de aula. A segunda etapa envolveu a construção, aplicação e avaliação de uma intervenção pedagógica, por meio da qual procuramos construir subsídios para responder à pergunta de pesquisa.

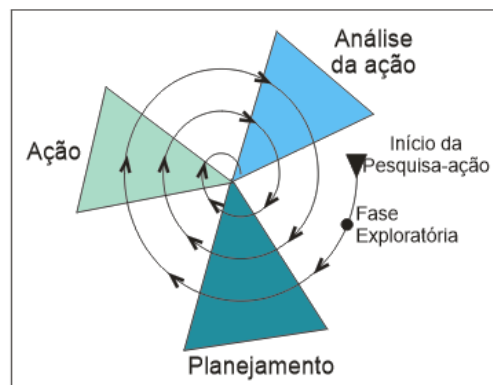
Utilizamos, na segunda etapa da pesquisa, uma metodologia qualitativa de pesquisa. Neste tipo de metodologia, os significados produzidos pelo pesquisador são colocados nos contextos em que ocorreram a pesquisa, considerando as experiências do ponto de vista dos sujeitos pesquisados (BOGDAN; BIKLEN, 1994).

Escolhemos utilizar a metodologia qualitativa de pesquisa-ação (THIOLLENT, 2011). Dentre as principais características da pesquisa-ação podemos citar: interação ampla e explícita entre pesquisadores e demais sujeitos implicados na situação investigada, da qual resulta a ordem de prioridade dos problemas a serem pesquisados e das soluções a serem encaminhadas; o objeto de investigação não é constituído pelas pessoas e sim pela situação social e pelos problemas de diferentes naturezas encontrados nesta situação (THIOLLENT, 2011: p. 22-23).

O tamanho do grupo que pode ser analisado por meio deste método, está situado no universo intermediário entre o microssocial e o macrossocial, o que se adequa a presente pesquisa: duas turmas de ensino médio com cerca de 30 alunos. Na pesquisa-ação, o pesquisador possui papel ativo não apenas no acompanhamento e avaliação das ações, mas também na própria realidade dos fatos observados. Nesse momento, é necessário pontuar que um dos pesquisadores em questão neste trabalho foi o regente de turma, fazendo, assim, parte da realidade dos fatos observados e desempenhando um papel ativo nas situações de pesquisa.

Outra exigência da pesquisa-ação é a de que haja um objetivo prático (relacionado com a ação) associado a um objetivo de conhecimento (relacionado com a pesquisa).

Em nosso caso, o objetivo prático trata-se de tornar as aulas de ciências um espaço de reflexão sobre a ciência, sobrepujando o ensino dogmático-instrumental. Dos objetivos de conhecimento potencialmente alcançáveis listados por Thiollent (2011: p. 49), destacamos um principal que almejamos nesta pesquisa: o estabelecimento de possíveis generalizações a partir de pesquisas semelhantes e com o aprimoramento da experiência dos pesquisadores.



**Figura 2:** O espiral da pesquisa-ação  
**Fonte:** Desenvolvido pelos autores

A pesquisa-ação, no presente caso, iniciou-se com um planejamento, que envolveu o conhecimento e reconhecimento da situação, passou à ação e ao encontrar-se fatos sobre os resultados da ação, estes foram incorporados na fase seguinte de retomada do planejamento. Essas etapas repetiram-se recursivamente, a exemplo de espirais (Figura 2), por meio das quais as ações tornaram-se cada vez mais ajustadas às necessidades coletivas para a resolução do problema.

A respeito dos instrumentos utilizados para registro de dados, utilizamos gravações em áudio e vídeo de todas as aulas em que a intervenção pedagógica ocorreu, diários de campo do professor/pesquisador, fazendo uma constante triangulação entre as diversas fontes de dados obtidos. Os resultados das atividades e aulas ocorridas a cada semana eram levados às reuniões do grupo de pesquisa, onde eram discutidas e fomentavam a construção das aulas e atividades da semana seguinte conforme a estratégia de seminários de que fala Thiollent (2011: p.67). Isso nos permitiu selecionar episódios discursivos ocorridos no transcorrer das aulas da intervenção pedagógica que nos possibilitaram responder à pergunta de pesquisa.

#### 3.1. Descrevendo o contexto da pesquisa

Essa pesquisa foi desenvolvida durante o primeiro trimestre letivo de 2014 em um colégio público da rede federal da Zona Sul do Rio de Janeiro (Brasil), que oferece turmas desde o primeiro ano do ensino fundamental até o terceiro ano do ensino médio, em classes de ensino regular, contando com 30 alunos em média em cada turma (nos níveis fundamental 2 e médio). Muitos integrantes do corpo docente do referido colégio atuam em grupos de pesquisa em educação, sediados no Rio de Janeiro. Além disso, a escola recebe com frequência estagiários dos cursos de licenciatura das universidades públicas do Rio de Janeiro. O corpo discente é heterogêneo quanto ao aspecto

socioeconômico, tendo alunos de diferentes classes sociais. A escola está organizada em setores curriculares que são instâncias acadêmicas que congregam professores de uma mesma disciplina ou, no caso do setor multidisciplinar, os professores do primeiro segmento do ensino fundamental.

Do ponto de vista do ensino de ciências, na escola há forte presença de um Núcleo de Iniciação Científica Jr, através do qual os alunos da primeira e segunda séries do Ensino Médio engajam-se no cotidiano de diversos grupos de pesquisa do Rio de Janeiro (em universidades e centros de pesquisa). Existe ainda um Clube de Ciências, coordenado pelo setor curricular de biologia e ciências, e outro específico de física, ambos frequentados voluntariamente no contraturno pelos alunos. O ano letivo costuma ser permeado por exposições, apresentações e intervenções artísticas no espaço escolar promovidas ou apoiadas pelo setor de Artes.

As turmas do primeiro ano de ensino médio em que a pesquisa foi desenvolvida foram identificadas como turmas X e Y. A turma X possuía 35 estudantes (17 meninos e 18 meninas) e a turma Y, 32 alunos (14 meninas e 18 meninos). A distorção idade-série nas duas turmas não foi significativa, uma vez que 55 dos 67 alunos estão na idade esperada para a série, ou seja, entre 14 e 15 anos. Cerca de 1/3 dos alunos (23 dos 67) eram recém-ingressos na escola. Esses alunos realizaram prova de nivelamento seguida de sorteio para ingressar no 1º ano do Ensino Médio. As turmas mostravam-se um pouco agitadas, mas não de forma que atrapalhasse a pesquisa e os trabalhos desenvolvidos em sala. Em ambas as turmas, haviam alunos com grande dificuldade de leitura e expressão escrita.

O docente envolvido na pesquisa formou-se em 2013 e nunca havia utilizado uma abordagem histórico-filosófica em suas aulas. Langhi e Nardi (2012), citando outros autores, classificariam esse professor como professor principiante, vivendo as tensões inerentes ao processo de passar de estudante de um curso de formação inicial a docente, enfrentando o confronto inicial com a complexa realidade do exercício da profissão. Por outro lado, a atuação anterior e concomitante à formação inicial (como docente em cursos pré-vestibulares sociais) também constitui uma fonte de saberes pré-profissionais (LANGHI; NARDI, 2012) importantes na constituição do mosaico identitário-profissional deste professor.

#### **4. O DESENVOLVIMENTO DO ATOMISMO NA VIRADA DO SÉCULO XIX PARA O SÉCULO XX**

Nessa seção, apresentaremos resultados da pesquisa bibliográfica a respeito do desenvolvimento dos modelos atômicos na virada do século XIX para o século XX. Essa leitura se estabeleceu sob o paradigma dos três eixos, apresentado no marco teórico e tem um objetivo didático delimitado. Assim, o recorte não é exaustivo, no que tange aos modelos criados na virada de século XIX para o XX. No eixo científico, trouxemos para a narrativa personagens inexplorados no ensino de modelos atômicos em química, mas que desempenharam importantes papéis na história do atomismo. No eixo técnico, investigamos os instrumentos e a cultura material existente no período, que possibilitaram

a emergência de questionamentos relacionados a investigações acerca do átomo. Em terceiro lugar, buscamos trazer os elementos da cultura que compartilhavam o contexto e as questões postas pela ciência no período.

A virada do século XIX para o século XX do ponto de vista cultural é marcado por um período de efervescência que a arte vivia na Europa. No final do século XIX, surgiu o movimento Impressionista, levando às últimas consequências as premissas do realismo, cujo objetivo era “dominar a natureza”, representando a realidade tal como se via, os gestos, expressões, formas, sem idealizações. (GOMBRICH, 2013: p. 391-2). Nesse sentido, os pintores impressionistas privilegiavam retratar em suas pinturas as sensações de cor, forma, etc, impressas pela “realidade”.

Dentro do movimento impressionista, algumas técnicas foram construídas, como a desenvolvida por Georges Seurat (1859 – 1891) e nomeada pontilhismo. Pode-se dizer que essa técnica trabalhava com a discretização da realidade suposta contínua. Os adeptos dessa técnica pintavam quadros com pequenos pontos de cores primárias, buscando dar o efeito de continuidade à pintura. (EVERDELL, 2000: p. 408-9; GOMBRICH, 2013: p. 418-9). A imagem era formada por pequenos pontos, pequenos “átomos de cor”, conforme afirmava Seurat, mas que à distância davam a impressão de um todo contínuo.

A representação de algo aparentemente contínuo por algo discreto pode ser vista em diversos campos do conhecimento na época, como o cinema, por exemplo. Nesse contexto, o cinema utilizava-se uma série de imagens estáticas que, colocadas em sequência, “enganavam” a consciência a partir da chamada retenção retiniana<sup>3</sup>. (COSTA, 2006). No final do século XIX, há a substituição gradual das figuras feitas à mão nos jornais por impressões fotográficas, através da técnica *halftone*, que consistia na impressão de pequenos pontos pretos no papel cuja distância entre si e seu diâmetro permitia constituir imagens (GIACOMELLI, 2009) com aspecto contínuo.

Observa-se aqui um elemento cultural que se difundia em diversas áreas, não ficando restrito ao campo das ideias. Percebe-se, assim, uma complexa inter-relação com a produção de técnicas e objetos, o que corrobora com nossa ideia de que o eixo técnico e o eixo cultural não são independentes, mas se relacionam de maneira bastante forte e, em alguns momentos, de forma quase simbiótica. A difusão de ideias baseadas na discretização da realidade pode ser observada inclusive na própria ciência, por exemplo, Hugo De Vries (1848 – 1935) propõe uma lei de segregação dos híbridos baseadas em um ente discreto, comparável às “moléculas químicas”, como dito por ele (EVERDELL, 2000: p. 195). Na Física, nos deparamos com os estudos sobre o movimento browniano, caracterizado por Robert Brown (1773 – 1858), que em 1905 Albert Einstein (1879 – 1955) explica admitindo uma matéria formada por partículas discretas (SALINAS, 2005). Ambos os eventos aludem, claramente, ao debate a

<sup>3</sup> Atualmente, a Teoria Gestalt propõe outra explicação para este fenômeno da percepção de continuidade a partir de sequências de imagens; no século XIX era comumente explicada pela retenção retiniana.

respeito da constituição da matéria, que ocorreu entre atomistas e continuístas durante todo o século XIX (OKI, 2009).

Ainda que os instrumentos, experimentos e técnicas sejam produtos da cultura humana em contextos temporais específicos (GALISON, 2000), as técnicas representam uma das características da ciência que nos permitem evitar o relativismo absoluto, para o qual nos alertam Forato, Martins e Pietrocola (2011). Esse cuidado é fundamental ao trazer o “eixo cultural” para a sala de aula. Cabe apontar que assim como a pintura não é o único elemento a que podemos nos referir ao tratar do contexto cultural, a instrumentação não é o único caminho para evitar o relativismo. Poderíamos incluir, por exemplo, a abordagem da matematização como parâmetro de objetividade; no entanto, o recorte temático-temporal desta pesquisa e as características eminentemente empíricas da química levaram-nos a considerar os instrumentos como os mais adequados para trabalhar a questão do não relativismo.

O bico de Bunsen, criado em meados do século XIX por Robert W. Bunsen (1811 – 1899) e Henry E. Roscoe (1833 – 1915), é um instrumento que possibilitou naquele contexto uma chama sem cor, livre de fuligem e de tamanho aproximadamente constante (JENSEN, 2005). Com esse desenvolvimento, a espectroscopia apresentou dados novos e mais refinados, proporcionando questionamentos sobre a relação entre os espectros descontínuos e a estrutura interna da matéria.

Ainda no século XIX, a invenção de diversos outros aparatos técnicos como a lâmpada, o gerador elétrico e o motor elétrico, permitiram a construção de experimentos fundamentais para o desenvolvimento dos modelos atômicos no final do século, como o tubo de Crookes. Os experimentos com tubos de Crookes foram muito usados nos debates em torno à natureza dos raios catódicos. No final do século XIX, os alemães, em sua maioria, acreditavam que os raios catódicos se comportavam como onda e os franceses e ingleses, em sua maioria, advogavam por uma concepção articulada dos raios (OLIVEIRA; GUERRA, 2013). J. J. Thomson (1856 – 1940) que defendia serem feixes de partículas os raios catódicos, em um artigo de 1897, apresenta uma série de medidas utilizando os tubos de raios catódicos, onde estabelece a relação carga / massa das partículas constituintes do feixe, que depois seriam chamadas de elétrons (LOPES, 2009). Nota-se, também neste caso, uma oposição entre uma visão discreta do fenômeno e uma visão contínua do mesmo, fato que se repete para os espectros de emissão de elementos submetidos à análise espectroscópica.

Na trilha das investigações sobre a natureza da matéria, há ainda no século XIX um intenso desenvolvimento nas pesquisas sobre radioatividade, capitaneadas por personagens como Wilhelm Röntgen (1845 – 1923), Henri Becquerel (1852 – 1908), Philip Lenard (1862 – 1947) e o casal Curie entre outros. Mais tarde, no início do século XX, somam-se a estas pesquisas o famoso “experimento da folha de ouro”, realizado por Hans Geiger (1882 – 1945) e Ernest Marsden (1889 – 1970).

Pode-se apontar a participação de diversos cientistas na construção de uma interpretação para os fenômenos em torno à radioatividade e raios catódicos, enfatizando a

ciência como o produto de um pensar coletivo, não apenas na elaboração de suas teorias, mas também na construção de instrumentos e aparatos experimentais que estiveram envolvidos na produção destas teorias.

Neste contexto, J. J. Thomson considerava que o problema da estrutura da matéria estava intimamente ligado à variação das propriedades químicas na tabela periódica de Mendeleev e à ligação química entre os átomos para formar moléculas. Por isso, sua proposição procurava resolver estes dois problemas, a partir de estruturas subatômicas, em detrimento do nível macroscópico. (LOPES, 2009)

Em trabalho que se tornou referência obrigatória para o período, Thomson descrevia o átomo como composto de anéis com  $n$  partículas eletricamente carregadas com carga negativa, localizados no interior de uma esfera de carga positiva uniforme (THOMSON, 1907: p. 106-109). A massa do átomo seria dada pela soma das massas dos corpúsculos negativos (KRAGH, 2010), fato que viria a ser questionado mais tarde por Nicholson e Rutherford. No entanto, este modelo (que é um desdobramento de diversos resultados de experimentos feitos por Thomson em tubos de raios catódicos) tinha uma vantagem sobre os modelos planetários que surgiam no período: a estabilidade mecânica (LOPES, 2009). Por ser bem justificado matematicamente e por trazer explicações para fenômenos estudados na época, o modelo foi bastante utilizado principalmente em áreas como a físico-química e a química orgânica (LOPES, 2009; KRAGH, 2010).

Neste contexto, o francês Jean Perrin (1870 – 1942) ficou conhecido principalmente pela sua atuação na determinação do número de Avogadro por meio de vários métodos diferentes, a partir de experimento envolvendo o movimento browniano (CHAGAS, 2011). O trabalho sobre o movimento browniano levou Perrin ao prêmio Nobel de física em 1926 (KRAGH, 2010). No entanto, uma face pouco divulgada do cientista reside no fato de que Perrin utilizou um modelo planetário para descrever o átomo, baseado em elétrons (KRAGH, 2010).

Para Perrin, o átomo seria constituído de uma ou mais massas carregadas com eletricidade positiva, como “sóis positivos”, e uma multiplicidade de corpúsculos com eletricidade negativa, pequenos “planetas negativos”, com a soma das cargas negativas equivalente às cargas positivas (KRAGH, 2010). Perrin construiu explicações para os fenômenos da radioatividade, da espectroscopia e dos raios catódicos, no entanto, Kragh (2010) considera que este modelo “não foi nada além de um esboço e provavelmente não almejava ser mais do que isso” uma vez que “ele não tentou calcular as configurações dos elétrons planetários e não mostrou interesse na estabilidade de suas órbitas”. Trazer o modelo de Perrin à narrativa histórica, porém, desempenha um papel importante, pois ajuda a quebrar a visão linear da construção dos modelos atômicos, haja vista que seu modelo foi proposto (em 1901) antes mesmo do modelo de Thomson (em 1904).

Em 1904, surge outra proposta de átomo planetário, que ficou como conhecida como “modelo saturniano”. O seu proponente, o japonês Hamtaro Nagaoka (1865 – 1950), graduou-se em física na Universidade de Tóquio, tendo concluído seus estudos de doutorado na mesma



universidade, com professores europeus (LOPES, 2009). O modelo atômico proposto constava de uma grande massa central carregada positivamente que atraía cargas negativas de massas iguais e que se repeliem entre si. Essas cargas negativas giravam em um anel circular e estavam distribuídas a intervalos angulares iguais. Tanto as repulsões elétron-elétron quanto a atração elétron-massa central poderiam ser compreendidas pelas leis de Coulomb. As equações do movimento do anel de elétrons foram obtidas a partir do artigo de Maxwell que analisava o sistema saturniano, mudando apenas os satélites por elétrons negativos e o centro atrativo por uma massa positiva. (LOPES, 2009). Na época, os cálculos de Nagaoka foram duramente criticados por George Shott, que defendia que aquele sistema possuía profunda instabilidade (LOPES, 2009), e que a alegada concordância com os experimentos não era real, já que o modelo não seria capaz de gerar o número de ondas observado em um espectro de bandas ou um espectro discreto (KRAGH, 2010). O modelo criticado por Thomson desapareceu de cena após ser abandonado pelo próprio Nagaoka em 1908 (LOPES, 2009; KRAGH, 2010).

Outro proponente de um modelo atômico planetário foi Ernest Rutherford (1871 – 1937), cujo foco principal dos estudos era a radioatividade. Rutherford interpretou os resultados dos experimentos de Geiger e Marsden a partir de um modelo planetário com um núcleo altamente carregado, responsável por praticamente toda a massa de cada átomo. Em volta deste centro, estaria uma nuvem de cargas opostas a esta carga central. (KRAGH, 2010), Rutherford não apontou inicialmente se a carga central seria positiva ou negativa. Apenas quando passou aos cálculos de número de partículas e de propriedades da matéria assumiu, por conveniência, o núcleo como sendo positivo. Segundo Kragh (2010), este modelo, proposto em 1911, não teve grande repercussão no meio acadêmico e foi tratado até com certa indiferença. O aspecto importante da participação de Rutherford neste contexto foi o seu ataque ao modelo de Thomson, ao mostrar que este modelo, amplamente utilizado até então, não era coerente com os dados obtidos do experimento da folha de ouro.

Outro modelo que surge no mesmo contexto é o modelo de John William Nicholson (1881 – 1955), um cientista inglês que desenvolveu trabalhos principalmente nas áreas de física, matemática e astroquímica. Baseado no sistema atômico de Thomson e no modelo saturniano de Nagaoka, (LOPES, 2009; LOPES, MARTINS, 2007), o modelo de Nicholson pode ser entendido como uma adaptação do modelo de Thomson na qual a “esfera de carga positiva” foi encolhida até um tamanho bem menor que o raio de um elétron (McCORMACH, 1966), considerando, assim, um modelo planetário, como uma carga positiva no centro e com elétrons em órbitas. Ao contrário de Rutherford, Nicholson chama o centro de seu modelo de núcleo, porém não é o inventor da expressão (KRAGH, 2010).

Este modelo é visto como importante para a história da ciência por dois grandes motivos: ele foi o primeiro a considerar a hipótese de quantização da energia de Max Planck (McCORMACH, 1966). Em segundo lugar, a sua teoria era capaz de prever fenômenos. Observando o espectro da coroa solar, Nicholson foi capaz de, utilizando seu modelo teórico, prever a próxima linha espectral que faltava em suas medições. Posteriormente, outros cientistas

encontraram em um espectro registrado durante um eclipse a linha prevista por Nicholson (LOPES, 2009).

Largamente citado nos livros-texto, o dinamarquês Niels Bohr (1885 – 1962) é especialmente conhecido pela publicação de sua trilogia “Sobre a constituição de átomos e moléculas” (partes I, II e III), onde defendeu um modelo planetário para o átomo. Bohr trabalhou com Rutherford no Laboratório Cavendish, então dirigido por Thomson. Bohr adotou o modelo proposto por Rutherford, indo além e destacando que a adoção do modelo nuclear implicava separar as propriedades químicas referentes aos elétrons periféricos das propriedades radioativas relacionadas ao núcleo. Ou seja, o modelo nuclear o levou a considerar as transformações radioativas como transformações do próprio núcleo (ROSENFELD, 2007).

Bohr apontou, no primeiro artigo (BOHR, 1913) de sua famosa trilogia, que a publicação de estudos sobre diferentes fenômenos naquele momento (Raios-X, efeito fotoelétrico, calores específicos) reforçavam a necessidade de uma reelaboração da estrutura atômica sobre uma base quântica (LOPES, 2009). Ele utilizou o espectro do hidrogênio, conhecido a época, para destacar a não existência de radiação contínua de energia do elétron e para justificar que a radiação de energia ocorreria de maneira discreta e que esta transição de estados não acontece de forma contínua, podendo ser descrita apenas pela teoria de Planck. (KRAGH, 1999). Dessa forma, pode-se dizer que Bohr deu um passo em direção à mecânica quântica, mas mantendo parte de sua descrição ainda na mecânica clássica, conforme dito na própria justificativa matemática de seu artigo (BOHR, 1913).

Os outros dois artigos da trilogia detalham melhor a estrutura do átomo baseando-se na estrutura de Rutherford e procurando explicar também alguns fenômenos como os de ligação química e radioatividade. Apesar de se basear no átomo de hidrogênio, Bohr considerou seu modelo válido para átomos químicos maiores, destacando que os fenômenos e propriedades descritas por ele, à exceção da radioatividade, estão todas relacionadas com a eletrosfera, sua estrutura e mudanças. (KRAGH, 1999). Logo após a publicação de seu trabalho sobre modelo atômico, muitos outros estudos discutiam as propostas de Bohr.

Pode-se perceber que, como no episódio de criação de instrumentos e técnicas, a elaboração de modelos atômicos na virada do século XIX para o século XX mostra-se como um complexo empreendimento, com a participação de diversos cientistas e disputas entre concepções e explicações diferentes para os mesmos fenômenos.

## 5. NARRANDO A PESQUISA E ANALISANDO OS RESULTADOS EMPÍRICOS

A investigação consistiu na produção de uma intervenção pedagógica que procurou construir caminhos para responder a pergunta de pesquisa. Nesse sentido, partindo dos princípios da pesquisa-ação, a intervenção pedagógica foi sendo construída e reconstruída ao longo do processo de aplicação. Porém, para facilitar a leitura do artigo, apresentamos aqui um quadro sintético com a visão geral da sequência didática (SD), ressaltando que esse é um produto obtido ao final da pesquisa e não foi construído a



priori.

**Quadro 1: Visão geral da sequência didática**

	Aula	T(min)	Tema principal	Eixo Científico	Eixo Cultural	Eixo Técnico
Módulo 1	1	50	Discutindo antecedentes	Origens da ideia de átomo na Grécia; modelo atômico de Dalton.		Tubo de Crookes
	2	100	Contextos técnico e cultural da segunda metade do século XIX. Modelo de Thomson.	Modelo atômico de Thomson.	Realismo e impressionismo na pintura. <i>Halftone</i> .	Tubo de Crookes, Radioatividade e Espectroscopia. Experimento de Thomson.
Módulo 2	3	50	O átomo de Nagaoka e discussões sobre o contexto cultural europeu.	Modelo atômico planetário de Nagaoka.	Técnicas de pintura <i>Sfumato</i> e <i>Cloisonismo</i> .	
	4	100	O átomo de Jean Perrin, quantização da energia e o átomo de Nicholson	Modelos atômicos planetários de Perrin e Nicholson, quantização da energia – M. Planck	Movimento Browniano, <i>Annus Mirabilis</i> de Einstein	
	5	50	O átomo de Rutherford	Modelo planetário de Rutherford		Experimento da folha de ouro
	6	100	<b>Atividade 1:</b> Construção de Esquema Gráfico			
	7	50	Estrutura atômica	Definições de partículas subatômicas, relações numéricas, isótopos.		
Módulo 3	8	100	Modelo atômico de Bohr e distribuição eletrônica	Modelo de Bohr, postulados, distribuição eletrônica em subníveis	Cinema mudo, Hereditariedade e De Vries	Espectroscopia (revisão)
	9	50	Distribuição Eletrônica	Distribuição eletrônica (continuação)		
	10	100	Modelo Orbital	Princípios da mecânica quântica (quantização, dualidade, princípios da complementaridade e da incerteza), Tipos de orbital e sua interpretação	Contexto político, movimento surrealista (Dalí e Magritte)	A questão da medida em sistemas quânticos
	11	50	Distribuição Eletrônica	Exercícios sobre distribuição eletrônica		
	12	100	<b>Atividade 2:</b> Construção de Panorama Histórico			

Nesse quadro, optamos por dividir em “três eixos” os conteúdos trabalhados a cada aula, pois foi através dessa estratégia que as aulas foram planejadas. No entanto, isso não significa uma separação clara e bem delimitada de conteúdos entre estes três domínios, mas apenas uma forma de facilitar a discussão dos mesmos. Um exemplo é o fato de os temas “*Annus mirabilis* de Einstein”, “Movimento Browniano” e “Hereditariedade e De Vries” que, apesar de parecerem temas tipicamente concernentes ao “eixo científico” conforme aqui definido, aparecem no eixo cultural em nossa abordagem. Em outra ocasião, com uma abordagem que almejassem outros objetivos e talvez até em outras disciplinas como a física e a biologia estes temas poderiam figurar como o conteúdo científico a ser trabalhado. Em nossa pesquisa, porém, eles foram incluídos no eixo cultural, como uma forma de explicitar melhor o contexto cultural (entendida em seu sentido amplo, como algo que engloba a produção científica) da época, com debates acerca da controvérsia entre discreto e contínuo em diversos campos do conhecimento. No entanto, ainda que se discorde do eixo ao qual se adequam esses temas, o mais importante é que a estratégia dos três REIEC Volumen 11 Nº 2 Mes Diciembre  
Recepción: 04/11/2015

eixos proporciona algum parâmetro para trazer à tona questões relevantes de serem abordadas na SD desenvolvida dentro do enfoque pretendido.

A intervenção pedagógica iniciou-se com uma fase exploratória aplicada em um dos primeiros dias de aula do ano letivo como reconhecimento inicial do campo de pesquisa para delinear o plano de ação (THIOLLENT, 2011), conforme preconizado pela pesquisa-ação. A metodologia e resultados desta etapa estão descritos em outra publicação (AUTORES, 2014). Como principais conclusões desta etapa, percebemos que os alunos possuíam uma percepção linear e progressiva da ciência, com os modelos evoluindo, em geral, sempre em direção a um modelo mais correto, além de não evidenciarem em seus discursos relações entre o conhecimento científico e o contexto sócio-histórico-cultural onde é produzido.

Na análise dos dados, destacaremos episódios discursivos<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Entendemos um episódio discursivo como uma fala ou conjunto de falas de alunos ou professor que constituem

de sala de aula que, conjugados às observações do diário de notas do professor-pesquisador constituirão subsídios para a explicitação dos resultados da pesquisa<sup>5</sup>. Cada episódio discursivo está em um quadro diferente e as falas estão identificadas com o número da aula (de acordo com quadro 1), turma, e o momento da gravação em que ocorreu a fala.

No módulo 1, produzimos uma apresentação multimídia onde foram incluídas pinturas realistas, impressionistas e pós-impressionistas (em especial da corrente pontilista), para marcar o eixo cultural da época. O modo de impressão *halftone* foi explorado por meio de uma folha impressa de jornal, que até hoje é impresso utilizando a mesma técnica. Na abordagem sobre o modelo de Thomson, utilizou-se vídeos e fontes primárias (trechos de sua autobiografia e de seus artigos publicados).

Dos resultados, destacamos três questões de cunho epistemológico colocadas por alunos da turma Y durante as aulas deste módulo. O episódio discursivo destacado ocorreu nos momentos finais da aula 1, módulo 1, quando se discutia a oposição entre visões contínuas e descontínuas sobre a composição da matéria, o aluno 1 destacou:

### **Episódio Discursivo I**

#### ***Aula 1, turma Y – trecho: 46:00 – 46:15***

A1: “Dalton acreditava mesmo [em átomos] ou só usava o modelo disso?”

No momento em que se discutia pinturas realistas e, em particular, um quadro realista pintado por Pablo Picasso, e na sequência, falando-se sobre o impressionismo com um quadro de Van Gogh, destacamos as seguintes intervenções:

### **Episódio Discursivo II**

#### ***Aula 2, turma Y – trecho: 31:00 – 31:05***

A1: “Tá, mas o que isso tem a ver com a matéria a pintura aí?”

#### ***Aula 2, turma Y – trecho: 33:43 – 33:49***

A2: “O que é que isso tem a ver com química?”

P: “Calma, já vamos chegar lá.”

O episódio discursivo I apontou uma questão epistemológica, considerada pelo grupo de pesquisa importante de ser retomada (na aula 10) sobre o papel de modelos em ciência. A partir do levantamento do aluno A1, o professor responde que há ainda um debate na literatura em história da ciência sobre o status epistemológico do átomo de Dalton (NEEDHAM, 2004).

Já o episódio II evidencia um desconforto dos alunos a respeito da conexão entre a arte e o conteúdo de química, apontando para dificuldades de compreensão sobre como estas duas produções humanas poderiam estar ligadas. O

---

uma unidade de sentido, ou seja, que encerram uma ideia em comum. Na identificação dos diálogos, “A” representa sempre um aluno(a) e “P”, o professor.

<sup>5</sup> Na dissertação que originou este trabalho estão ainda presentes uma análise das atividades escritas produzidas pelos alunos, que não serão aqui exploradas por uma questão de espaço.

professor retém o debate para que ele acontecesse depois, no momento da explicação da relação.

### **Episódio Discursivo III**

#### ***Aula 2, turma Y – trecho: 27:48 – 28:21***

A3: “É que assim... A gente teve uma aula de artes visuais e a fotografia. A professora falou que durante o processo (inaudível) da fotografia, eles usavam uma placa de prata... É... No que a prata ajuda?”

A aluna A4 completou:

A4: Ela falou tipo, meio que por alto, assim... Pegava uma placa com prata, e aí botavam um papel, tirava uma foto e aí ficava marcado na prata, na placa de prata. Só usava uma placa por foto.

#### ***Aula 2, turma X – trecho 34:35 - 35:03***

A5 fala baixo ao professor, que replica o que ela acabara de falar à turma:

P: Pois é, isso explica... Ela tá falando aqui que o Van Gogh tinha um problema de visão, né, que o fazia ver as coisas... (inclina-se para a aluna) menores, não é isso? (a aluna responde) Algumas coisas maiores e outras menores. Então ele tinha um senso de dimensão afetado.

#### ***Aula 2, turma Y – trecho 34:39 – 34:48***

P: O que que é o pontilhismo? É a teoria, ou a prática...]

A2: [Ai, é muito legal fazer isso!

No episódio discursivo III, todos os trechos de fala aconteceram no momento da discussão sobre a ascensão do movimento impressionista. Nele percebemos que a inclusão das pinturas possibilitou, em diversos momentos, a identificação de alunos com conhecimentos de outras áreas, onde destacam-se referências feitas às aulas de Artes.

Na turma X, as interferências em aula foram, em sua maioria, a respeito de detalhes técnicos dos experimentos. Porém, os registros do diário do professor, destacam que os alunos participaram bastante da aula, quando o professor apresentou as pinturas. O professor registrou ainda que para ele o fato de as pinturas estarem em um outro domínio do conhecimento (que não o científico, onde o professor é autoridade, na visão dos alunos) fez com que os alunos se sentissem mais à vontade de dialogar com o professor, explicitando seus saberes a respeito dos quadros. Dessa forma, podemos inferir que nesse caso, as pinturas, além de servirem à exploração do eixo cultural, diminuíram a assimetria na relação aluno-professor, que embora seja uma característica intrínseca desta relação (QUADROS et al, 2010), quando diminuída pode favorecer a interação entre alunos e professor.

Com base principalmente no episódio III e nas anotações do diário do professor, podemos inferir, como observado por Galili (2013), que as pinturas possibilitaram despertar a atenção de um público maior que o usual em aulas de ciências. Outro resultado importante do primeiro módulo é o registro do professor, que houve por parte dos alunos uma dificuldade no entendimento da relação entre a química e a cultura ampla, além de uma resistência inicial deles em perceber como aceitável uma abordagem da química que transcenda as teorias científicas, estritamente, conforme registrado no episódio discursivo II. Tais observações estão de acordo com outros estudos da literatura (SCHIFFER; GUERRA, 2015), onde tal resistência também foi encontrada. Os alunos parecem ter

uma expectativa sobre o que deve ser uma aula de química mesmo no primeiro ano do ensino médio.

No módulo 2, foram criadas duas apresentações multimídia, onde procuramos manter as estratégias que obtiveram sucesso no primeiro módulo (uso de vídeos, imagens) e incluir outras, como utilização de aplicativos, em particular um aplicativo interativo do site PhET (PHET, 2015). No início da apresentação, foi incluído um slide que procurava esclarecer a relação da tecnologia e da ciência com o contexto cultural, notadamente em função das discussões no seminário de pesquisa e das observações do professor/pesquisador em campo que apontaram para uma baixa compreensão dos alunos a respeito desta relação. Sendo assim, utilizamos uma imagem em que era feita relação entre um par de óculos de realidade virtual que se integra ao corpo humano e um desenho animado contemporâneo conhecido dos alunos em que uma raça alienígena humanoide também utiliza óculos com funções parecidas.

Um resultado da discussão explícita sobre o contexto cultural com os alunos foi o aumento de sua participação, possivelmente em função de esta discussão ter acontecido por meio da inclusão de aspectos familiares a eles, como o desenho animado. Ao tratar do modelo de Nagaoka trouxemos, através de imagens, o contexto da época, tanto dos locais em que Nagaoka circulou e estudou (Europa), quanto no Brasil, de modo que os alunos pudessem traçar eventuais paralelos entre esses eventos históricos. Pela análise dos vídeos, estes foram momentos de grande atenção da turma.

#### **Episódio Discursivo IV**

##### ***Aula 5, turma X, trecho 11:23 – 11:30***

A6: Engraçado, parece que eles são inimigos.

P: É? Não, não era...]

A6: Parece que rolava uma disputa, assim...

O episódio acima ocorreu quando falava-se sobre a relação amigável entre Thomson e Rutherford, embora suas teorias conflitassem diretamente.

O episódio discursivo V, abaixo, ocorreu no momento em que o professor explorava as questões de não-linearidade e incerteza do empreendimento científico.

#### **Episódio Discursivo V**

##### ***Aula 8, turma Y, trecho 50:20 – 51:12***

A7: As pessoas conheciam... Eles eram tipo famosos na [época]...?

P: Sim.

A7: Eles eram conhecidos na sociedade?

P: Sim, Sim.

A4: Na época em que eles estavam estudando?

P: Sim.

A7: Porque sei lá, podem estar pesquisando agora sobre...]

A4: (inaudível) e a gente não tem conhecimento disso.

P: Mas os cientistas, quando eles fazem a pesquisa deles, eles fazem o que a gente chama de revisão bibliográfica, que é saber o que os outros estão falando ao mesmo tempo. Nessa época isso já existia. [1s] Já existia a ciência como uma atividade sistemática. [2s] Então, por exemplo, eu posso afirmar que o Rutherford tinha conhecimento do trabalho do Thomson. Entendeu? Que o Thomson, provavelmente, tinha conhecimento também do

trabalho do Perrin. Claro que eu não posso afirmar que todo mundo tinha conhecimento de tudo ao mesmo tempo, entende? Mas, é..., certamente tinham o conhecimento de pelo menos outros modelos que estavam sendo desenvolvidos.

A partir dos episódios discursivos IV e V, evidencia-se uma questão que surgiu em outros momentos nas duas turmas: diz respeito a detalhes sobre como os cientistas trabalham e relacionam-se entre si, isto é, como funciona a comunicação de resultados no meio acadêmico ou como os cientistas tomam conhecimento a respeito de trabalhos de outros cientistas. Isso apontou para a necessidade de explicitar nas aulas os suportes acadêmicos em que se davam os debates a respeito dos temas em estudo e como era a circulação do conhecimento em cada período.

Nas duas turmas, a inclusão de tópicos da própria ciência como fator de contextualização se mostrou oportuno para promover o diálogo em sala de aula. Os alunos sentiram-se à vontade para discutir temas sobre os quais já haviam lido a respeito. A interferência dos alunos levou, na turma X, o debate para questões em torno a nacionalidade e biografia do cientista e na turma Y, para discussões a respeito da natureza da luz, partindo do efeito fotoelétrico.

#### **Episódio Discursivo VI**

##### ***Aula 4, turma Y, trecho 1:24:50 – 1:25:15***

A4: Profe, sabe o que é? A sua matéria é super legal, só que cara, é muito chato (inaudível) [parece falar algo sobre a quantidade de informações, nomes e datas daquela aula].

Nas anotações do diário do professor, as informações corroboram a ideia de que a aluna trouxe reclamações a respeito do excesso de informações novas em um curto período. No vídeo, vê-se outras alunas que estão em volta da mesa do professor concordando (assentindo com a cabeça) com o que foi colocado pela aluna.

Na sequência, durante a abordagem sobre os modelos de Perrin e Nicholson, o número de intervenções dos alunos caiu muito. Este talvez tenha sido o momento em que houve maior densidade de conteúdo histórico (o que o episódio discursivo VI corrobora) em todo o curso e pode ter sido um momento em que o rigor histórico sobrepujou a compreensibilidade (um dos desafios apontados por Forato, Martins e Pietrocola, 2011), ao detalhar muito os três modelos desta etapa. Também neste momento, foi privilegiado o uso de citações diretas de trabalhos dos cientistas estudados em detrimento de imagens (históricas ou não), o que pode ter deixado as aulas fastidiosas aos alunos, em oposição ao que havia ocorrido no início do módulo.

Feitas essas observações, foram realizados alguns ajustes para a parte final do módulo 2, que abordou o modelo de Rutherford. Dessa forma, foram utilizados vídeos a respeito do experimento, uma animação do site PhET e mais imagens sobre o experimento e do modelo em si. Como observado em outras oportunidades, a utilização de vídeos e simulações aumenta a atenção e participação dos alunos na aula. Na aula sobre o modelo de Rutherford, foram utilizados poucos elementos de contextualização, isto é, o enfoque esteve no eixo técnico e no eixo científico. Estes resultados foram levados ao grupo de

pesquisa e discutidos.

Para as aulas do módulo 3, construímos duas apresentações multimídia, privilegiando as estratégias que resultaram positivas em etapas anteriores e diminuindo a ênfase em citações textuais diretas dos cientistas. Utilizamos o início do módulo para a discussão explícita dos temas de NdC que haviam sido abordados até então, observados os resultados da atividade 1 (cf. quadro 1) e da aplicação dos módulos anteriores. Os princípios da quantização da energia, da incerteza, da dualidade e complementaridade foram apresentados sempre em paralelo com as artes do movimento surrealista produzidas na época (REIS, GUERRA, BRAGA, 2006). Após isso foi apresentada a definição de orbital atômico e a interpretação probabilística, encerrando a discussão do conceito de modelo científico sob diversos aspectos. Dentre esses aspectos, destacam-se: a relação do modelo com a realidade, em que se baseiam os modelos, suas relações com o contexto em que é criado (e as perguntas que procura responder); ou seja, o modelo tem uma temporalidade bem definida e um limite explicativo que se circunscreve àquele determinado contexto histórico, baseado principalmente em Ferreira e Justi (2008).

O momento de discussão explícita sobre o processo de construção da ciência, no início do módulo 3, foi mais profícua na turma Y que na turma X. A turma Y levantou mais questões e expôs mais seus posicionamentos, permitindo ao professor colocá-los em debate. O professor também abordou em ambas as turmas a relação entre instrumentação e desenvolvimento científico e o caráter não-linear do processo de construção da ciência e do mesmo ser um empreendimento coletivo, conforme observado nos dados do quadro 6.

A exploração do cinema foi destacada no diário do professor como elemento contextualizante que “funcionou muito bem”, ao passo que no caso da utilização da hereditariedade, a identificação dos alunos com o tema foi menor. Na fase final deste módulo, quando da abordagem sobre o surgimento do átomo “orbital”, alguns princípios da física quântica e suas relações com o contexto político-social e artístico da época, os alunos demonstraram interesse em algumas obras de arte. A turma Y, em especial, interveio bastante durante as explicações, inicialmente sobre a I Guerra Mundial, fazendo relações entre a bomba atômica e Einstein (que na realidade se referia à II Guerra Mundial), depois surgiram mais curiosidades sobre a vida de Einstein (como por exemplo, sobre a sua famosa foto com a língua para fora). A seguir, na discussão do slide em que havia um mosaico com os rostos de diversos cientistas que participaram do desenvolvimento inicial da física quântica, surgiu uma questão de gênero, destacada no episódio a seguir:

### **Episódio Discursivo VII**

#### ***Aula 10, turma Y – trecho 18:05 – 18:20***

P: (após uma sequência de nomes e nacionalidades) ...o Pauli era austríaco e provavelmente estudou na Alemanha ou na Inglaterra. Então observa que tem muita gente, né...]

A8: E nenhuma mulher!

P: E nenhuma mulher! Isso é interessante. Muito bem observado! [1s] Nessa época aqui a gente tem a Marie Curie, né.

O professor retrucou com o exemplo de Marie Curie, que é o mais emblemático de uma mulher nesta área da ciência, destacando o papel da mulher naquela sociedade. Em ambas as turmas, no quadro “Gala contemplando o mar mediterrâneo o qual, a vinte metros de distância, se torna o Retrato de Abraham Lincoln”, de Salvador Dalí (1976), os alunos se engajaram bastante para tentar perceber o efeito do quadro. Na turma Y, em praticamente todas as pinturas apresentadas, os alunos se interessaram em saber mais sobre o contexto em que as mesmas foram produzidas, sobre as relações delas com os conceitos de física quântica. Inclusive, alguns alunos destacaram relações das pinturas com outras obras da mesma época, de autores iguais ou não. Pôde-se notar que as pinturas funcionaram (além dos objetivos epistemológicos pretendidos com a inclusão do eixo cultural) como um fator motivador e facilitador da interação professor-aluno, em especial na turma Y.

Em ambas as turmas, os alunos tinham conhecimentos razoáveis sobre o papel de modelos em ciências, provavelmente em virtude de já terem abordado estas questões tanto no 9º ano do ensino fundamental, quanto no 1º ano do ensino médio na disciplina de biologia, onde este tópico é tema das primeiras aulas, sobre filosofia da ciência (onde fazem, entre outras, a atividade da caixa preta, por exemplo).

A parte do módulo sobre modelo orbital, que foi estendido a pedido da coordenação de química, consolidou as discussões a respeito da relação da ciência com o meio cultural, o papel dos modelos, entre outros tópicos que já vinham sendo discutidos ao longo do curso. Logo, em que pese o alongamento da SD, implicando um pouco no obstáculo do tempo didático dedicado à abordagem, em ambas as turmas as discussões foram potencializadas e aprofundadas neste último módulo.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A partir da análise de dados, percebemos que vários foram os elementos levantados e problematizados pelos alunos durante a intervenção didática, como, por exemplo, a relação entre ciência e a produção cultural de seu contexto histórico. Essa relação não foi, entretanto, facilmente compreendida pelos alunos, cuja tendência, em diversos momentos, foi estabelecer uma relação direta e unívoca entre ciência e cultura. Porém, a análise de dados permite inferir que foi possível ao professor reconduzir este assunto das margens para o centro da discussão em diversos momentos, produzindo reflexões sobre a relação entre ciência e contexto cultural. A utilização de pinturas artísticas e imagens históricas potencializou a participação dos alunos na aula, endossando resultados anteriores da literatura (GALILI, 2013), e ajudou a promover as discussões a respeito da relação supracitada, entre ciência e cultura ampla, mediante mediação explícita do professor sobre essas questões.

Outro elemento a respeito da construção da ciência levantado pelos alunos e problematizado em aula foi aquele relativo ao modo como os cientistas interagem para produzir ciência. Isto é, de que forma um cientista conhece o trabalho de outro cientista, em que suportes acadêmicos e não-acadêmicos acontecem os debates e controvérsias e de

que maneira a forma de produzir conhecimento do momento histórico estudado difere-se da maneira como produz-se conhecimento hoje em ciência. Essas são questões que mostraram um interesse, de certa maneira, sobre quem é (ou era) este cientista, sobre o que ele faz (ou fazia). E ainda, por que não havia várias mulheres nesta ciência desenvolvida no século XIX e início XX. Dessa forma, podemos indicar que a abordagem histórico-contextual ao trazer, explicitamente, questões do contexto cultural do desenvolvimento dos modelos atômicos e fins do século XIX e início do XX gerou em sala de aula um espaço de debate, propiciando aos alunos a colocação de questões que geraram discussões, como a relativo à participação de mulheres na ciência, não previamente planejados pelo professor. Além disso, podemos apontar, a partir das intervenções dos alunos, que houve uma ruptura, por parte deles, de uma visão ciência centrada em personagens geniais e isolados.

Essas questões levantadas pelos alunos apontam a necessidade de um olhar em um viés microhistórico para a ciência, onde poderão ficar evidentes as práticas, as ações, interesses e crenças dos cientistas, atuando em uma rede de colaborações e debates. Nesse sentido, trabalhar a abordagem histórica, a partir da História da Ciência Cultural (BURKE, 2008; PIMENTEL, 2010) mostra-se como um caminho possível para pesquisas futuras. Em oposição a visões mais tradicionais da história da ciência, a história cultural da ciência se debruça não apenas sobre o que é publicizado<sup>1</sup> pelos cientistas, ou seja, os resultados de suas pesquisas, mas também sobre as suas práticas, a partir das quais poderia ser evidenciado o trabalho daqueles que diretamente e indiretamente fazem ciência (e não apenas dos cientistas) (PIMENTEL, 2010).

Como comentário final, destacamos que a pesquisa-ação se mostrou ainda uma poderosa ferramenta para uma pesquisa como esta: feita em estrita associação com a ação em sala de aula, onde rumos puderam ser corrigidos, e com a inserção do professor em um grupo de discussão onde houve espaço para troca em diversos momentos da pesquisa. A utilização dos três eixos como fio condutor para construção da abordagem também se mostrou eficiente uma vez que evitou a mera “contextualização inicial” seguida de uma história de conceitos científicos ou ainda uma história em que o papel dos instrumentos fosse deixado de lado ao longo da mesma. Os três aspectos selecionados (técnico, científico e cultural) estiveram praticamente o tempo todo entrecruzando-se durante a investigação em sala de aula, promovendo, efetivamente, uma abordagem cultural da ciência.

## REFERÊNCIAS

- ABD-EL-KHALICK, F. (2013) “Teaching with and about Nature of Science, and Science Teacher Knowledge Domains.” *Science & Education*, v. 22, p. 2087 – 2107.
- ACEVEDO DIAZ, J. A. (2009) “Enfoques Explícitos versus implícitos em la enseñanza de la naturaleza de la ciencia.” *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, v. 6, n. 3, p. 355-386.
- ALLCHIN, D. (2011) “Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science.” *Science Education*, v. 95, n. 3, p. 518-542.
- ALLCHIN, D. (2014) “From Science Studies to Scientific Literacy: a view from the classroom.” *Science & Education*, 23, p. 1911 – 1932.
- BOGDAN, R. C., BIKLEN, S. K. (1994) *Investigação Qualitativa em Educação*, Tradução: Maria João Alvarez, Sara Bahia dos Santos e Telmo Mourinho Baptista. Porto: Porto Editora.
- BOHR, N. (1913) “On the constitution of atoms and molecules”, *Philosophical Magazine*, v. 26, n.1, p. 1-25.
- BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. (2008) “O papel dos livros didáticos franceses do século XIX na construção de uma concepção dogmático-instrumental do ensino de física.” *Caderno Brasileiro Ensino de Física*, v. 25, n.3, p. 507-522.
- BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. (2012) “The role of Historical-Philosophical Controversies in Teaching Sciences: The Debate Between Biot and Ampère”, *Science & Education*, v. 21, p. 921-934.
- BURKE, P. (2008) “O que é história cultural?”. Trad. Sergio Goes de Paula, Rio de Janeiro: Zahar.
- CHAGAS, A. P. (2011) “Existem átomos? (Abordando Jean Perrin).” *História da ciência e ensino: construindo interfaces*, v. 3, p. 7-16.
- CHAVES, L. M. M. P.; SANTOS, W. L. P.; CARNEIRO, M. H. S. (2014) “História da Ciência no Estudo de Modelos Atômicos em Livros Didáticos de Química e Concepções de Ciência”. *Química Nova na Escola*, v. 36, n. 4, p. 269 – 279.
- COSTA, F. C. (2006) “Primeiro Cinema.” In: Mascarello, F. (Org.) *História do Cinema Mundial*. Campinas, SP: Papirus, p. 17-52.
- EVERDELL, W. R. (2000) *Os primeiros modernos*. Tradução de Cynthia Cortes e Paulo Soares, Rio de Janeiro: Record.
- FERREIRA, P. F. M., JUSTI, R. S. (2008) “Modelagem e o Fazer Ciência”, *Química Nova na Escola*, v. 28, p. 32-36.
- FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. (2011) “A. Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, p. 1, p. 27-59.
- GALILI, I. (2013) “On the power of fine arts pictorial imagery in science education.” *Science & Education*, v. 22, p. 1911 – 1938.
- GALISON, P. (1987) *How experiments end*. Chicago: University of Chicago Press.
- GALISON, P. (2000) “Objectivity is romantic.” In: FRIEDMAN, J.; GALISON, P.; HAACK, S. *The Humanities and The Sciences*, American Council of Learned Sciences Occasional Paper n. 47, 2000. Disponível em <[http://archives.acls.org/op/47\\_Humanities\\_and\\_Sciences.htm](http://archives.acls.org/op/47_Humanities_and_Sciences.htm)>, acessado em 30/10/2015.

- GIACOMELLI, I. L. (2009) “Antecedentes do Fotojornalismo.” Anais do VII Encontro Nacional de História da Mídia. Fortaleza – CE, p. 1-15.
- GOMBRICH, E. H. (2013) A História da Arte. Tradução de Cristiana de Assis Serra. Rio de Janeiro: LTC.
- GUERRA, A.; BRAGA, M.; REIS, J.C. (2013) “History and Philosophy of Science through Three Axes: A Case in Modern Physics”. Proceedings of 12th Biennial Conference International History, Philosophy, Science Teaching group, Pittsburgh, EUA.
- IRZIK, G.; NOLA, R. (2011) “A family resemblance approach to the nature of science for science education.” Science & Education, 20, 591-607.
- IRZIK, G.; NOLA, R. (2014) “New Directions for Nature of Science Research”. In Michael R. Matthews (ed.) International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching. Netherlands: Springer, p. 999-1021.
- JENSEN, W. B. (2005) “The origin of Bunsen Burner.” Journal of Chemical Education, v. 82, p. 518.
- KRAGH, H. (2010) “Before Bohr: Theories of atomic structure 1850-1913”. RePoSS: Research Publications on Science Studies 10. Aarhus: Centre for Science Studies, University of Aarhus.
- KRAGH, H. (1999) Quantum Generations – a history of Physics in the twentieth century. Princeton: Princeton University Press.
- LANGHI, R.; NARDI, R. (2012) “Trajetórias Formativas Docentes: buscando aproximações na bibliografia sobre formação de professores”, ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, v. 5, n. 2, p. 7 – 28.
- LEDERMAN, N. G. (2007) “Nature of science: Past, Present, and Future.” In: Abell, S. K., Lederman, N. G. (Eds) Handbook of Research on Science Education, p. 831-880.
- LEDERMAN, N. G.; ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R. L.; SCHWARTZ, R. S. (2002) “Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners’ Conceptions of Nature of Science.” Journal of Research in Science Teaching, v. 39, n. 6, p. 497-521.
- LOPES, C. V. M. (2009) Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica. Tese de Doutorado em História da Ciência da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.
- LOPES, C. V. M.; MARTINS, R. A. (2007) “Uma lacuna na história dos modelos atômicos em livros didáticos: John William Nicholson e a astroquímica.” In: Atas do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis.
- LOPES, C. V. M., MARTINS, R. A. J. J. (2009) “Thomson e o uso de analogias para explicar os modelos atômicos: o “pudim de passas” nos livros texto”, In: Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis.
- McCOMAS, W. F. (2008) “Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science”, Science & Education, v. 17, p. 249-263.
- McCORMACH, R. (1966) “The atomic theory of John William Nicholson.” Archive for History of Exact Science v. 3, p. 161-184.
- NEEDHAM, P. (2004) “Has Daltonian Atomism provided Chemistry with any Explanations?” Philosophy of Science, n. 71, p. 1038 – 1047.
- OKI, M. C. M. (2009) “Controvérsias sobre o atomismo no século XIX”, Química Nova, v. 32, n. 4, 1072-1082.
- OLIVEIRA, F. F.; GUERRA, A. (2013) “Controvérsia Histórica: uma possibilidade para problematização a respeito de aspectos de Natureza da Ciência”. Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Água de Lindoia, SP, Brasil.
- OSBORNE, J., COLLINS, S., RATCLIFFE, M., MILLAR, R., DUSCHL, R. (2003) “What ‘Ideas-about-Science’ Should Be Taught in School Science? A Delphi Study of the Expert Community.” Journal of Research in Science Teaching, v. 40 n. 7, p. 692-720.
- PHET (2015) “Rutherford Scattering”. Disponível em <<http://phet.colorado.edu/en/simulation/rutherford-scattering>>, acessado em 30/10/2015.
- PIMENTEL, J. (2010) “Qué es la historia cultural de la ciencia?” ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura CLXXXVI 743, mayo/junio, p. 417 – 424.
- PORTO, P. A. (2010) “História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: Em busca dos objetivos educacionais da atualidade.” In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Orgs.). Ensino de Química em foco (1ª Ed, p.159-180). Ijuí (RS): Unijui.
- QUADROS, A. L.; LOPES, C. M.; SILVA, F. A. B.; CORREA, J. M. M.; PIO, J. M.; TORRES, N. O.; PINTO, P. L.; NOGUEIRA, R. K. (2010) “A percepção de professores e estudantes sobre a sala de aula de ensino superior: expectativas e construção de relações no curso de química da UFMG.” Ciência & Educação, v. 16, n. 1.
- REIS, J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M. (2006) “Ciência e Arte: relações improváveis?” História, Ciências, Saúde – Manguinhos, v. 13 (suplemento), p. 71-87.
- ROSENFELD, L. (2007) “Niels Bohr.” In Cesar Benjamin (ed. brasileiro). Dicionário de Biografias Científicas, vol. 1, Rio de Janeiro: Contraponto Editora.
- SALINAS, S. R. A. (2005) “Einstein: O Atomismo e a Teoria do Movimento Browniano.” Física na Escola, v. 6, n. 1, p. 23 – 26.
- SCHIFFER, H.; GUERRA, A. (2015) “Electricity and Vital Force: Discussing the Nature of Science Through a Historical Narrative”. Science & Education, v. 24, n. 4, p. 409-434.
- SEROGLOU, F.; ADURIZ-BRAVO, A. (2012) “Introduction: The Application of the History and Philosophy of Science in Science Teaching”. Science & Education, v. 21, n. 6, p. 767-770.
- THIOLLENT, M. (2011) Metodologia da pesquisa-ação (18ª Edição). São Paulo: Cortez Autores Associados, 1986.
- THOMSON, J. J. (1907) The corpuscular theory of matter, London: Archibald Constable & Co. LTD.