



## Modelos Atômicos da virada do século XIX para o século XX: um resgate de personagens para discutir aspectos sobre Natureza da Ciência

**Cristiano B. Moura**

CEFET/RJ

Brasil

cristianobmoura@gmail.com

**Andreia Guerra**

CEFET/RJ

Brasil

aguerra@tekne.pro.br

### Abstract

Usually, the section about “atomic models” in Chemistry Brazilian textbooks introduces this subject through a historical perspective. However, the historical narrative present in these materials is made of only a selection of some scientists, their biographies and analogies about their models. This is an example of a linear historical reconstruction, where the historical context around the construction of the theories is not evident. Owing to these questions, this work aimed to develop, implement and assess a didactic sequence with a historical-philosophical approach which could bring the context to light by including in the narrative some scientists who are traditionally forgotten in Chemistry teaching at high school level, intending to explore some questions about Nature of Science. From this didactic sequence, we discuss the potentialities and the challenges of the constructed approach.

### Resumo

Em geral, a parte dedicada aos modelos atômicos nos livros didáticos brasileiros da disciplina de química apresenta o tema a partir de uma abordagem histórica. Porém, percebe-se que a sequência histórica é constituída apenas de uma seleção de alguns personagens, suas biografias, e analogias sobre seus modelos. Uma reconstrução basicamente linear em que não fica evidente o contexto histórico em torno a construção das teorias. Tendo em vista essas questões, esse trabalho teve como objetivo a criação, aplicação e avaliação de uma sequência didática com enfoque histórico-filosófico que trouxesse à luz o contexto através da inclusão de personagens históricos tradicionalmente inexplorados no ensino médio de química com o objetivo de explorar questões de Natureza da Ciência. A partir desta sequência didática, discutimos as potencialidades e os desafios da abordagem construída.

Palabras claves: modelos atômicos, naturaleza de la ciencia, enseñanza de la química.

Palavras-chave: modelos atômicos, natureza da ciência, ensino de química.

Key words: atomic models, nature of science, chemical education.

### Introdução

Em geral, a parte dedicada aos modelos atômicos nos livros didáticos brasileiros da disciplina de química apresenta o tema a partir de uma abordagem histórica. Porém na análise desse material, percebe-se que a sequência histórica é constituída apenas de uma seleção de alguns personagens, suas biografias, e analogias sobre seus modelos. Uma reconstrução basicamente linear em que não ficam evidentes as controvérsias históricas em torno a construção das teorias, bem como o contexto sócio-histórico-cultural em que as mesmas foram desenvolvidas (MOURA, GUERRA, 2013). Esta tendência é observada não só acerca do tema “modelos atômicos”, mas de uma forma geral para os livros



didáticos de química. Há um predomínio nos livros de relatos meramente descritivos, sem uma reflexão aprofundada sobre o desenvolvimento histórico dos conceitos estudados e ainda incluída apenas como informação complementar, na maioria dos casos (SILVA et al, 2013).

A busca por um ensino de ciências para a formação de cidadãos tem apontado para a necessidade de incluir nos currículos de ciências o ensino **sobre** ciências. Dessa forma, defende-se um ensino de ciências que traga discussões sobre a inter-relação do conhecimento científico produzido em determinada época com seu respectivo contexto sócio-histórico-cultural (ALLCHIN, 2011).

No caso específico dos modelos atômicos, o que se observa é que a seleção dos personagens feita pelos livros didáticos e forma como este conteúdo é tratado cria uma pseudohistória, levando a uma concepção errada sobre o desenvolvimento da ciência, justamente por apresentarem uma visão fragmentada de eventos históricos, omitindo seu contexto (ALLCHIN, 2004). Por outro lado, a omissão de certos personagens que contribuíram decisivamente para a construção de modelos atômicos nesta época acaba por alimentar uma visão de ciência linear centrada apenas em alguns modelos e personagens que se sucedem uns aos outros, levando a um constante aprimoramento dos mesmos, sem evidenciar seus debates, incertezas e a ciência como produção coletiva.

Tendo em vista essas questões, esse trabalho teve como objetivo a criação, aplicação e avaliação de uma sequência didática (SD) com enfoque histórico-filosófico que trouxesse à luz o contexto e personagens históricos tradicionalmente inexplorados no ensino médio de química com o objetivo de explorar questões de Natureza da Ciência. A partir desta sequência didática, discutimos as potencialidades e os desafios da abordagem construída e em particular para este trabalho procuramos responder à seguinte pergunta de pesquisa: *Que questões sobre a Natureza da Ciência podem ser discutidas em nível médio com a introdução de personagens históricos do final do século XIX e início do século XX tradicionalmente inexplorados no ensino de modelos atômicos?*

### **Modelos atômicos na virada do século XIX para o XX: resgatando personagens**

Alguns historiadores da ciência (LOPES, 2009; KRAGH, 2010) apontam para a existência de diversos cientistas que desenvolveram modelos atômicos antes de Niels Bohr propor sua teoria em 1913, considerada por Kragh (2010) a primeira teoria atômica de sucesso. Além dos já conhecidos e presentes nos livros didáticos Ernest Rutherford, J. J. Thomson e o próprio Bohr, há ainda outros personagens como Jean Perrin (1870 – 1942), Hamtaro Nagaoka e William Nicholson que colaboraram para o desenvolvimento das teorias atômicas desta época, em alguns casos com contribuições decisivas na história da ciência, mas que não figuram nas abordagens dos livros didáticos.

Jean Perrin foi um cientista francês que 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). Esse trabalho pesou de forma decisiva no conjunto de evidências a favor de uma realidade atômico-molecular. Importante destacar que essa era uma questão controversa na época, muitos dos que negavam a existência de átomos apoiavam na filosofia positivista, que teve como seu principal nome Auguste Comte (op.cit.). Em decorrência do trabalho do movimento browniano, Perrin em 1926, obteve o prêmio Nobel de física (Kragh, 2010). Perrin utilizou o modelo planetário para descrever o átomo, baseado em elétrons (op.cit.). Como descreve Perrin: *“Cada átomo será constituído, de uma parte, por um ou várias massas muito carregadas com eletricidade positiva, como sóis positivos cujas cargas serão bem superiores àquela de um corpúsculo, e, de outro lado, por uma multiplicidade de corpúsculos, como pequenos planetas negativos, [...] com a carga total negativa exatamente equivalente à carga positiva total, de tal forma que o átomo é eletricamente neutro.”* (PERRIN apud KRAGH, 2010).



Embora a analogia dos modelos planetários já houvesse surgido algumas décadas antes da própria descoberta do elétron (Kragh, 2010), o modelo de Perrin parece ter sido o primeiro em que esta analogia incluía os elétrons, que estavam no centro dos debates sobre estrutura da matéria na época, impulsionados pelos experimentos com tubos de Crookes.

Foi também em articulação com este experimento e com a espectroscopia óptica que Hamtaro Nagaoka (1865 – 1950) propôs outro modelo planetário de grande importância na ciência da época. Esse modelo que ficou conhecido como o “modelo saturniano” do átomo, em analogia ao planeta Saturno, constava de uma grande massa central carregada positivamente que atraía cargas negativas de massas iguais e que se repeliam 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, mas as equações eram aproximadamente iguais. (LOPES, 2009)

O modelo de Nagaoka procurava explicar as frequências de bandas espectrais em espectros de emissão e além disso, Nagaoka acreditava que seu modelo possuía implicações a respeito da radiatividade, luminescência, ressonância, “afinidade química e valência, eletrólise e muitos outros temas ligados a átomos e moléculas”, mesmo resguardando suas conclusões, dizendo que “o arranjo atual de um átomo químico deve apresentar complexidades que estão muito além do tratamento matemático”. (KRAGH, 2010). Mesmo assim, os cálculos de Nagaoka foram duramente criticados por George Shott, no atual Reino Unido. Schott chegou à conclusão de que o sistema proposto por Nagaoka possuía instabilidade mesmo para átomos grandes, que possuíam radioatividade natural (LOPES, 2009), e que a alegada concordância com os experimentos não era real, já que o modelo proposto por Nagaoka não seria capaz de gerar o número de ondas observado em um espectro de bandas ou um espectro discreto (KRAGH, 2010). O modelo também foi criticado por Thomson e desapareceu de cena após ser abandonado pelo próprio Nagaoka em 1908 (LOPES, 2009; KRAGH, 2010).

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. No seu primeiro artigo a respeito do modelo atômico, em 1911, não haviam referências às experiências de espalhamento de partículas alfa, realizadas no laboratório de Rutherford. Baseado no sistema atômico de Thomson (aproveitando especialmente a estabilidade matemática deste modelo) e no modelo saturniano de Nagaoka, (LOPES, 2009; LOPES, MARTINS, 2007) Nicholson propôs seu modelo como um núcleo com elétrons em órbitas. A intenção de Nicholson era derivar todos os pesos atômicos de elementos químicos a partir da combinação de certos proto-átomos (coronium, hidrogenium, nebulium e protofluorine), que ele supunha existirem na forma livre apenas no meio interestelar (LOPES, 2009; KRAGH, 2010).

Este modelo é visto como importante para a história da ciência basicamente por dois grandes motivos: ele foi o primeiro a citar a hipótese de quantização da energia de Max Planck como suporte para a sua teoria, embora toda a justificação matemática do seu modelo ainda se baseasse em leis clássicas (McCORMMACH, 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). Conforme ressaltado por McCormach (1966), Bohr destaca o trabalho de Nicholson em suas publicações e isso é um forte indício da importância do trabalho de Nicholson no desenvolvimento das concepções de átomo no início do século XIX.



## RESGATAR OS ESQUECIDOS SEM NEGLIGENCIAR OS MODELOS CONSOLIDADOS NO ENSINO DE QUÍMICA

Além destes personagens esquecidos nos livros-texto, temos ainda os que figuram com frequência em qualquer abordagem sobre o átomo no ensino médio. Entre estes está Joseph John Thomson (1856 – 1940), cientista inglês que constituiu carreira singular na história da ciência, formando diversos outros pesquisadores em sua linha de pesquisa.

Thomson propôs seu modelo atômico como sendo composto de anéis com  $n$  partículas eletricamente carregadas com carga negativa (hoje conhecidas como elétrons) localizados no interior de uma esfera de carga positiva uniforme. As partículas negativas estariam, quando em movimento, distribuídas a intervalos angulares iguais e supunha que a massa do átomo seria dada pela soma das massas dos corpúsculos negativos, fato que mais tarde seria questionado por Rutherford através do experimento de espalhamento das partículas alfa. (LOPES, 2009)

É comum nos livros-texto haver a utilização de analogias inadequadas para tratar do átomo de Thomson (LOPES; MARTINS, 2009). Trata-se de um curioso caso em que o modelo é identificado com a analogia de tal maneira que é como se a analogia fosse o próprio modelo. É o caso da mais famosa, conhecida como pudim de passas, ou “plum-pudding”. Um estudo recente (HON; GOLDSTEIN, 2013) aponta que a origem do equívoco estaria vinculada a uma revista (*Merkle's Report*), destinada a farmacêuticos, que em 1906 teria utilizado pela primeira vez o termo “plum pudding” se referindo ao átomo de Thomson.

Largamente citado e lembrado nos livros-texto, Niels Bohr (1885 – 1962) foi um cientista de origem dinamarquesa e que é especialmente conhecido pela publicação de sua trilogia “Sobre a constituição de átomos e moléculas”, onde defende seu modelo para o átomo. Há muitas publicações a respeito de suas contribuições na ciência e mesmo sua vida, o que pode contribuir para uma visão de um “jovem gênio criativo e isolado em seu trabalho inédito”. (LOPES, 2009)

O modelo de Bohr propõe que a eletrodinâmica clássica não seria suficiente para explicar os sistemas de dimensões atômicas. Disso surge a necessidade de introduzir na base destas leis a constante de Planck, ou *quantum* elementar de ação. No entanto, conforme ressaltado por Lopes (2009), ele mantém ainda parte de sua teoria ancorada na eletrodinâmica clássica o que torna a sua teoria ao mesmo tempo arrojada e conservadora, o que se pode observar no primeiro de seus três famosos artigos de 1913. Nos outros dois artigos do mesmo ano ele detalha de maneira mais minuciosa a estrutura do átomo (LOPES, 2009).

### Natureza da ciência e História da ciência na sala de aula: desafios da abordagem histórico-filosófica

Nos últimos anos, tem-se discutido o papel da educação científica para a formação de estudantes em nível básico e diversos autores (p. ex. ALLCHIN, 2011; OSBORNE et al., 2003; LEDERMAN et al., 2002) têm defendido que promover o entendimento a respeito do modo como a ciência se desenvolveu e como o seu conhecimento se constrói é importante para uma formação cidadã. Essa concepção de ensino tem ganhado força e se destacado sob o rótulo de “natureza da ciência” (daqui em diante, NdC), que representaria uma convergência das questões sobre a ciência, sua construção social, e dos fatores extracientíficos que influenciam o desenvolvimento do conhecimento científico e são por ele influenciados.

Allchin (2011) traz para o debate a necessidade de que os cidadãos aprendam como a ciência funciona com o objetivo de interpretar a confiabilidade das informações científicas para a tomada de decisões.



Nesse caminho, o autor critica a lista consensual, defendida por Lederman (et. al., 2002), McComas (2008), e outros, que acreditam que pode ser mapeado um consenso a respeito de NdC para nortear o ensino sobre a ciência. Para Allchin (2011), o entendimento de NdC precisa ser funcional, e não apenas declarativo, portanto, uma educação científica que segue o paradigma da lista consensual a respeito da NdC representaria apenas a adição de novos conteúdos no currículo, não contribuindo para a formação de autênticos cidadãos.

Concordando com Allchin, acreditamos que o ensino sobre a NdC deve servir a objetivos que procurem dar contribuições mais efetivas à formação cidadã do que nosso atual ensino de química e de ciências, marcado por ser muito tradicional (SCHNETZLER, 2010) e preso a concepções empírico-indutivistas de ciência (BRAGA, GUERRA, REIS, 2008). Por isso, optamos por uma abordagem que segue uma discussão explícita dos aspectos de NdC selecionados (ACEVEDO DIAZ, 2009), tomando o cuidado de não tornar o ensino meramente declarativo ao mesmo tempo em que nos afastamos da concepção de lista consensual.

Como caminho para possibilitar as discussões sobre NdC junto aos alunos, optamos por uma abordagem histórico-filosófica, como meio de levar a ciência ensinada para seus contextos originais. Este exercício de inclusão da história da ciência no ensino é defendido também por Chamizo e Garritz (2014), que acreditam que o conteúdo dos livros didáticos é, em sua maioria, composto de uma ciência bem datada e localizada historicamente e não a ciência de fronteira, no entanto, as referências à história vêm aos poucos desaparecendo, fazendo com que os professores, que costumam ter no livro didático a sua principal (ou única) fonte de informação, alienem os conteúdos do seu contexto histórico e se tornem, paradoxalmente e sem querer, professores de conteúdos obsoletos (professores de história, nas palavras de Chamizo e Garritz). Chegamos então a um dilema: com a demanda para inclusão de história e filosofia da ciência no ensino, sob que bases fazer isso?

Em primeiro lugar existe praticamente um consenso entre os pesquisadores em ensino de ciências sobre a necessidade de se ensinar menos para que nossos alunos possam aprender mais e para que evitemos cair no “mar de falta de significado” de que nos fala Matthews (1995). Cabe ressaltar também que a proposta não é transformar os cursos de ciências do ensino básico em cursos de história da ciência. Deve-se sempre ter em mente o objetivo de trabalhar história da ciência neste nível de ensino, que é a formação integral do aluno, incluindo a formação de uma visão de ciência menos ingênua. Não advogamos a respeito de uma ou outra concepção filosófica de ciência, mas apenas que o aluno possa ser estimulado a pensar criticamente e utilizar esse pensamento crítico para avaliar a confiabilidade de informações científicas em situações reais (ALLCHIN, 2011).

A inclusão da história da ciência no ensino de forma efetiva e respeitando os princípios historiográficos pode ser facilitada pela estratégia de estudo de caso histórico que, como aponta Porto (2010). Essa é uma “análise, com certa profundidade, de algum episódio bem delimitado da História da Ciência”. O estudo de caso histórico pressupõe a apresentação, de forma não superficial, do contexto das ideias surgido na época, os problemas, as hipóteses discutidas, os fatores que levaram ao abandono ou aceitação de uma hipótese em detrimento da outra. Porto (2010) destaca ainda que trabalhar com estudos de caso é diferente de empregar a história da ciência apenas para “ilustrar” algum conteúdo estudado, como datas, nomes, curiosidades sobre a vida pessoal de cientistas, que constituem um tipo de inserção de história da ciência que não contribuem à contextualização destes episódios, não servindo, portanto, nem à aprendizagem do conteúdo tampouco à compreensão do processo de construção da ciência.

Experiências anteriores de implementação de abordagens histórico-filosóficas em sala de aula geraram parâmetros para criação de estratégias deste tipo para a sala de aula. Um exemplo, é o trabalho de



Forato, Martins e Pietrocola (2011) que lista 7 desafios à implementação de propostas de inclusão de História e NdC em sala de aula dos quais, em função do escopo e do contexto da nossa pesquisa e da formação do professor-pesquisador (que inclui cursos específicos de formação em história e filosofia da ciência em nível pós-graduado) deste trabalho, consideramos como mais importantes a serem observados para a construção deste trabalho os desafios “seleção do conteúdo histórico”, “tempo didático”, e “quebra da linearidade”.

Em função do próprio período histórico e do que consideramos como crucial para a formação cidadã de que nos fala Allchin (2011), pensando também nos desafios listados por Forato, Martins e Pietrocola (2011) e procurando promover a quebra de uma visão linear de ciência, as três características de natureza da ciência escolhidas para este estudo foram:

1. O entendimento da ciência como produto da cultura humana e de relações complexas construídas em determinadas condições sócio-histórico-culturais.
2. A ciência como um empreendimento coletivo e não como uma descoberta de grandes gênios isolados e dotados de capacidades especiais.
3. A importância dos modelos como um meio de explicar fenômenos que não são diretamente acessíveis e como resposta não-definitiva à perguntas historicamente construídas.

Colocados estes aspectos teóricos a respeito da história da ciência no ensino de química, cabe agora pensar na forma de construção da sequência didática (SD).

#### UM CAMINHO PARA A ABORDAGEM HISTÓRICO-FILOSÓFICA: OS TRÊS EIXOS

Ao pensar na forma de construção da nossa SD, procuramos nos aproximar da abordagem utilizada por Guerra, Braga e Reis (2013), que articula 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, mostra-se o contexto cultural do período histórico estudado. Por meio de imagens, vídeos de arte e mesmo outras “peças” históricas procuraremos delinear este entorno cultural em que se deu o fazer científico. A arte reflete uma visão de mundo daquele momento, que é compartilhada pela ciência. Portanto, embora não se determine a influência da arte sobre a ciência ou vice-versa, o fato de compartilharem este contexto e, muitas vezes, as questões colocadas na época, garante a ligação entre o fazer científico e o fazer artístico. (op. cit.) Vale apontar que embora tenhamos usado muitas vezes a arte como porta de entrada para o contexto cultural, não nos restringimos a ela ao tratar deste eixo, por isso o chamaremos neste trabalho de “eixo cultural” em vez de artístico, exclusivamente.

O eixo técnico nos permite entrar na discussão a respeito das características da ciência, evitando 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 novos programas de pesquisa. É importante ressaltar que não há, neste processo, uma relação de precedência entre a experimentação e teoria, mas ambas atuam juntas, conforme bem pontuado por Galison (1987, apud GUERRA, BRAGA, REIS, 2013). Por último, no eixo científico, abordaremos os conteúdos científicos que fazem parte do plano de curso previsto para o primeiro ano do ensino médio.

É importante entender cada “eixo” não como alguma estrutura rígida, onde os fatos históricos (sejam do domínio técnico ou cultural ou científico) são “pendurados”, mas imaginá-los como orbitais atômicos que podem se interpenetrar. Pretendemos com isso passar não uma suposta impressão de independência entre estes três domínios, como o nome eixo pode sugerir, mas apenas servir de suporte à construção de abordagens histórico-filosóficas, em que o professor seja capaz de articular o contexto sócio-histórico-cultural com as técnicas e modelos científicos desenvolvidos em determinada época



(sem negligenciar qualquer das três dimensões) a fim de construir narrativas históricas capazes de evidenciar verdadeiramente o contexto histórico e as relações da ciência com este contexto.

## Metodologia

Neste trabalho, nos dedicamos à construção de uma SD em uma abordagem histórico-filosófica através dos três eixos para os modelos atômicos, que possibilitassem a discussão de aspectos de NdC no ensino médio. Dessa forma, a primeira etapa implicou numa investigação teórica, que envolveu apenas pesquisa bibliográfica em fontes primárias e secundárias. No entanto, os outros dois objetivos da pesquisa envolvem intervenção direta em sala de aula, quais sejam: (1) aplicação de (SD) e análise do alcance dos objetivos epistemológicos traçados; (2) a partir da análise da aplicação da SD, discutir as potencialidades e desafios da abordagem construída.

Como se trata de uma pesquisa que procurou gerar conhecimento sobre o próprio processo em si, escolhemos como metodologia de pesquisa para nortear o caminhar da mesma a pesquisa-ação, que segundo Thiollent (1986: p. 14) pode ser definida como: *“um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação [não-trivial, problemática, que mereça ser investigada] ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo”*.

Há um objetivo prático, relacionado com a resolução de um problema da realidade pesquisada (em nosso caso trata-se de tornar as aulas de ciências um espaço de reflexão sobre a ciência e o alcance dos objetivos epistemológicos da sequência didática) associado a um objetivo de conhecimento, relacionado com a pesquisa em si (neste trabalho, representado pela evidenciação das potencialidades do trabalho desenvolvido e dos obstáculos para a resolução do problema prático). A pesquisa-ação inicia com um planejamento, que envolve o conhecimento e reconhecimento da situação, passa à ação e ao encontrarem-se fatos sobre os resultados da ação, estes devem ser incorporados na fase seguinte, de retomada do planejamento; estas etapas se repetem recursivamente, a exemplo de espirais, por meio das quais as ações tornam-se cada vez mais ajustadas às necessidades coletivas para a resolução do problema.

Utilizamos gravações em áudio e vídeo de todas as aulas da sequência didática, diários de campo do professor-pesquisador e análise de atividades feitas pelos alunos em classe e extraclasse, 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, semelhantes aos seminários de que fala Thiollent (1986: p.59), que são reuniões dos investigadores envolvidos na pesquisa-ação destinadas a examinar, discutir e tomar decisões acerca do processo de investigação.

A pesquisa-ação, conforme comentamos, é um norte para o caminhar da pesquisa, mas não específica em detalhes como tratar os dados obtidos desta. Pensando nisso, escolhemos a análise textual discursiva (MORAES, GALIAZZI, 2011) para organização e tratamento dos dados escritos obtidos desta pesquisa.

A sequência didática foi aplicada na disciplina de química em duas turmas (B e C) de 35 e 32 alunos respectivamente, do primeiro ano do ensino médio no Colégio de Aplicação da Universidade Federal do Rio de Janeiro (CAp UFRJ), um colégio da rede federal de ensino. As turmas tinham uma distorção idade-série pequena, praticamente irrelevante para nossa pesquisa. A distribuição de gênero também era equilibrada em ambas as turmas. O professor-pesquisador é um professor iniciante, formado no início de 2013 (precisamente um ano antes da pesquisa), embora possuísse alguma experiência em posições de docência antes de se titular como licenciado. Nunca havia utilizado um enfoque histórico-filosófico em



sala de aula. O CAP UFRJ é uma escola muito singular, com setores de apoio pedagógico bastante atuantes e uma ligação bastante grande com a família. Dois terços dos alunos do primeiro ano do ensino médio já eram alunos do CAP UFRJ desde o ensino fundamental. Parte destes, desde o 1º ano do ensino fundamental, de forma que muitos deles possuem grande identidade com a escola, que é marcada por ter um perfil humanista e artístico forte, além de possuir uma cultura intrínseca da atuação de licenciandos em estágio de docência em seus espaços.

### **Narrando a Pesquisa e analisando resultados**

Antes do início da aplicação da sequência didática, foi realizada uma pesquisa exploratória, com vistas a cumprir a etapa de construção do plano de pesquisa-ação, conforme recomendado pela metodologia escolhida. Constituiu-se na aplicação de um questionário e promoção de um debate cuja análise encontra-se mais detalhada em trabalho publicado (MOURA; GUERRA, 2014). Um resultado importante desta pesquisa exploratória foi a necessidade de ressaltar na construção da sequência didática a discussão sobre linearidade e progressividade da ciência, bem como a relação entre a produção científica e o contexto sociocultural.

A sequência didática aplicada, embora houvesse sido desenhada e esquematizada previamente, foi construída principalmente ao longo do processo, conforme orientação que subjaz a própria ideia de pesquisa-ação, de retroalimentação da pesquisa a partir do observado em campo. A SD ocorreu durante 6 semanas, divididas em duas aulas semanais, uma de 50 minutos e outra de 100 minutos. Em cada uma dessas aulas procuramos articular elementos dos três eixos ou, pelo menos, de dois desses eixos.

A *posteriori*, criamos um quadro de referência que organiza o conteúdo abordado aula a aula, em termos dos três eixos. Além disso, para cada conjunto de aulas, questões sobre NdC foram abordadas. No caso das aulas 1 e 2, por exemplo, a questão explorada foi a relação entre o conhecimento científico e o meio cultural. A SD foi dividida em vários módulos e intercalada por duas atividades escritas: uma ao final do segundo módulo (na sexta aula) e a outra na última aula da sequência (a décima segunda aula). A primeira atividade teve como objetivos obter dados parciais para a pesquisa procurando analisar que tipo de concepções a respeito dos modelos atômicos os alunos tinham construído até aquele momento e, sendo esta uma pesquisa-ação, a análise destas concepções também orientaria os passos seguintes no sentido de ajustar a condução da SD às necessidades manifestadas naquele momento, com o objetivo de aproximar-se da situação final delineada no plano de pesquisa-ação formulado.

Já a segunda atividade foi uma atividade de encerramento onde os alunos construíram em sala coletivamente um grande panorama histórico. A intenção é que o professor pudesse perceber diferenças na argumentação dos alunos em relação ao início da sequência didática e também servir de atividade de estudo para a prova trimestral.

Além disso, ao longo de toda a SD, foram avaliados os momentos de discussão sobre NdC gerados em sala, o constante planejamento e replanejamento para a ação da semana seguinte, redefinindo estratégias didáticas e mapeando o papel e a postura do professor conforme o desenrolar da pesquisa. Esta análise orgânica dos dados, considerando a relação entre eles e a complexidade do fenômeno educacional observado, nos permitiu tecer algumas considerações (neste trabalho, ainda parciais) a respeito do processo de aplicação da SD, as quais sintetizamos abaixo.

Demanda por uma abordagem cultural da ciência: ainda no final do primeiro módulo, a partir das intervenções dos alunos que perguntaram em diversas ocasiões “O que a química tem a ver com a pintura?”, ficou claro que a simples inclusão dos personagens esquecidos na construção dos modelos atômicos não seria suficiente para promover essa abordagem cultural da ciência. Esta demanda também se manifestou em outros momentos da aplicação.





Formação do professor para lidar com uma abordagem em três eixos: o professor ao lidar com uma abordagem que pretende articular as ideias científicas com o contexto mais amplo é desafiado a ter um conhecimento geral que extrapola os cursos de licenciatura específica. Por outro lado, a abordagem em três eixos permite ao professor estar sempre atento para perceber se a abordagem contextual da ciência está sendo promovida ao longo da sequência didática planejada.

A criação de espaços de discussão impõe a variação no recurso didático utilizado: abrir espaços de diálogo durante as aulas não ocorre com aulas expositivas apenas. Neste trabalho mostrou-se necessária a utilização de vídeos, imagens e outros recursos como forma de abrir diálogos que permitam a discussão e reflexão sobre as questões epistemológicas planejadas para cada momento da sequência didática.

### Considerações finais

A dificuldade dos estudantes em estabelecer paralelos entre a ciência e o contexto amplo onde ela é desenvolvida sugere que a inclusão de fatores culturais na abordagem deveria ser feita de forma mais incisiva. Uma necessidade surgida também do cotidiano de sala de aula aponta que é necessário estabelecer espaços de diálogo/discussão durante a aplicação da sequência didática para que aconteça a reflexão a respeito da ciência e o aluno possa promover a construção do seu conhecimento nesse sentido e assim possamos fugir do ensino meramente declarativo sobre NdC. A reconstrução da narrativa histórica pelos alunos (de alguns grupos) mostra que a inclusão dos personagens associadas a estratégias de favorecimento das discussões ajudou nessa percepção dos aspectos da ciência pretendidos, mas que a simples inclusão dos personagens não trouxe por si só a possibilidade de discutir a ciência como um construto cultural, fato que se mostrou relevante a partir das próprias intervenções dos alunos.

### Referências Bibliográficas

- 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, 6 (3), p. 355-386.
- ALLCHIN, D. (2004) Pseudohistory and pseudoscience. Science & Education, 13, p. 179-195.
- ALLCHIN, D. (2011) Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. Science Education, 95 (3) p. 518-542.
- 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, 25 (3). p. 507-522.
- CHAGAS, A. P. (2011) Existem átomos? (Abordando Jean Perrin). História da ciência e ensino: construindo interfaces, 3, p. 7-16.
- CHAMIZO, J. A.; GARRITZ, A. (2014) Historical Teaching of Atomic and Molecular Structure. In: MATTHEWS, M. R. (Ed) International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching. Dordrecht: Springer.
- FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. (2011) Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 28 (1), p. 27-59.
- 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.



HON, G.; GOLDSTEIN, B. R. (2013) J. J. Thomson's plum-pudding atomic model: The making of a scientific myth. *Annalen der Physik*, 525 (8-9), A129 – A133.

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.

LEDERMAN, N. G.; ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R. L.; SCHWARTZ, R. S. (2000) Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (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. (2009) J. J. 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.

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.

MATTHEWS, M. (1995) História, filosofia e Ensino: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 12 (3), p. 164-214.

McCOMAS, W. F. (2008) Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science, *Science & Education*, 17, p. 249-263.

McCORMMACH, R. (1966) The atomic theory of John William Nicholson. *Archive for History of Exact Science* 3, p. 161-184.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. (2011) Análise textual discursiva (2ª Edição). Ijuí (RS): Editora Unijuí.

MOURA, C. B.; GUERRA, A. (2013) Modelos atômicos em livros didáticos de química do PNLEM 2012: uma análise qualitativa à luz da história e filosofia da ciência. Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência, Água de Lindoia, SP, Brasil.

MOURA, C. B.; GUERRA, A. (2014) Identifying ideas about science from the representation of the atom. *Journal of Science Education*, 15, p. 134.

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*, 40 (7), p. 692-720.

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.

SCHNETZLER, R. P. (2010) Apontamentos sobre a história do ensino de Química no Brasil. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Orgs.). *Ensino de Química em foco* (1ª Ed, p.51-75). Ijuí (RS): Unijui.

SILVA, C. M.; SANTOS, C. G.; MENDONÇA, P. C. C. (2013) Análise da história da ciência em livros didáticos de química aprovados no PNL 2012. Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Água de Lindoia, SP, Brasil.

THIOLLENT, M. (1986) Metodologia da pesquisa-ação (3ª Edição). São Paulo: Cortez Autores Associados.