



As Intuições Atomísticas de Bachelard

Bachelard's Atomistic Intuitions

Larissa Moreira Ferreira

Departamento de Metodologia de Ensino
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
larissamf@outlook.com

Luiz Orlando de Quadro Peduzzi

Departamento de Física
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
luizpeduzzi@gmail.com

Resumo

O trabalho apresenta uma das obras menos conhecidas do epistemólogo francês Gaston Bachelard, denominada *Les Intuitions Atomistiques*, sem tradução para o português. O livro apresenta aspectos filosóficos acerca do atomismo ao longo do tempo, tratando dos diferentes sistemas de pensamento que influenciaram na concepção e aceitação do átomo como explicação para os fenômenos da matéria. A divulgação, crítica e proposição das contribuições da obra às discussões sobre a história e filosofia da ciência no ensino de ciências são objetivos do presente artigo.

Palavras chave: Bachelard; atomismo; história da ciência.

Abstract

The paper presents one of the lesser known works of the French epistemologist Gaston Bachelard called *Les Intuitions Atomistiques* without translation into Portuguese. The book presents philosophical issues about atomism over time, dealing with different systems of thought that have influenced the design and acceptance of the atom as an explanation for the phenomena of matter. The disclosure, critique and proposal of the contributions of the book to the discussions on the history and philosophy of science in science education are goals of this article.

Keywords: Bachelard; atomism; science history.

Introdução

O trabalho de Gaston Bachelard (1881-1962) tem sido amplamente referenciado no ensino de ciências (LOPES, 1996; FONSECA, 2008; MORTIMER, 1992, VIEIRA, 2006; MELO, 2005; MARTINS, 2004; SIQUEIRA, 2012). Noções como as de “Perfil Epistemológico” e “Obstáculo Epistemológico”, bastante conhecidas dos educadores, têm origem no pensamento deste filósofo francês que foi professor de química e física e também dedicou parte de seus estudos a entender a evolução das ciências. Além de epistemólogo, também é autor de obras de poesia, conhecidas como o lado “noturno” de Bachelard (BACHELARD, 1988; BACHELARD, 1994).

Na obra “A formação do espírito científico”, o autor trata dos obstáculos epistemológicos, dos percalços pelo qual passa o conhecimento até tornar-se, de fato, científico. Para isso, faz um resgate histórico – algo bastante característico de sua obra – criticando os raciocínios e métodos de variados estudiosos do passado, usando-os como exemplo para a apresentação de suas ideias. Afirma que “ao retomar um passado cheio de erros, encontra-se a verdade num autêntico arrependimento intelectual” (BACHELARD, 1996, p.17) No entanto, a tese principal da obra é a da oposição do conhecimento abstrato e científico sobre o conhecimento primeiro e intuitivo (BACHELARD, 1996, p.132).

“Erro, não és um mal”, como diz Bachelard em “A formação do Espírito Científico (1996, p.298). Mas o erro de que ele fala é o erro positivo, o erro normal, o erro útil, parte integrante e inexorável do verdadeiro trabalho intelectual. Esses erros devem ser distinguidos daqueles que não são erros propriamente ditos, fruto de afirmações gratuitas, inconsequentes, sem nenhum esforço de pensamento. (PEDUZZI, 2011, p.14)

Uma frase que caracteriza bem a origem dos obstáculos epistemológicos é a de que “a experiência científica é [...] uma experiência que *contradiz*¹ a experiência comum” (BACHELARD, 1996, p.14). Desse modo, um dos maiores obstáculos ao conhecimento científico é a opinião. “Não se pode basear nada em opinião: antes de tudo, é preciso destruí-la. [...] O espírito científico proíbe que tenhamos uma opinião sobre questões que não compreendemos, sobre questões que não sabemos formular com clareza” (BACHELARD, 1996 p.18). Conforme Bachelard:

O espírito científico deve formar-se contra a Natureza, contra o que é, em nós e fora de nós, o impulso e a informação da Natureza, contra o arrebatamento natural, contra o fato colorido e corriqueiro. (BACHELARD, 1996, p.18)

Entre outros temas, como o próprio atomismo e as relações entre o trabalho do filósofo e do cientista, em “A Filosofia do Não” (BACHELARD, 1984), o autor desenvolve a ideia de perfil epistemológico, onde mostra a evolução epistemológica acerca do conceito de massa. Isto é, como este conceito evolui – de sua concepção mais primária – a realista – até arranjos abstratos e matematicamente sofisticados – como a massa relativística.

¹ Os destaques encontram-se como na obra original.

Embora o foco de seu trabalho seja a epistemologia, o aspecto educacional é bastante presente em sua obra. É crítico do ensino dogmático promovido pelos livros didáticos (BACHELARD, 1996, p.31) e da suprema autoridade do professor (BACHELARD, 1996, p.24). Outro fato apontado é o de que há pouco espaço à história das ideias científicas. Além disso, Bachelard considera a experimentação com o intuito de chamar a atenção do aluno, cheia de efeitos marcantes, como falsos centros de interesse, sustentando que “o professor passe continuamente da mesa de experiências para a lousa, a fim de extrair o mais depressa possível o abstrato do concreto” (BACHELARD, 1996 p.50). Bachelard não poupa nem ao gênero literário de ficção científica, acusando-o de ser povoado por verdadeiras regressões infantis, as quais podem ser divertidas, mas nunca instrutivas (BACHELARD, 1996, p.45). Em suma, Bachelard não é contra a experimentação ou a ficção científica em si mesmas, mas chama a atenção para o risco das metáforas e da observação primeira e imediata.

Lopes (1996) salienta que uma das principais contribuições desse pensador ao ensino de ciências encontra-se no fato de que ele nos faz questionar e repensar o conhecimento comum, residindo aí a implicação de aprender ciências.

Bachelard, assim como muitos epistemólogos, evoca a história para desenvolver e justificar suas ideias. Em um dos ensaios apresentados na obra “Epistemologia”, o filósofo elucida seus posicionamentos históricos. O autor acredita que a história deve ser julgada, em seus erros e sucessos, usando, para isso, os arquétipos científicos da atualidade, em uma revisão constante (BACHELARD, 1983). Em suas palavras:

A história das ciências aparecerá então como a mais irreversível de todas as histórias. Ao descobrir o verdadeiro, o homem de ciências barra um irracional. O irracionalismo sem dúvida pode surgir noutras partes. Mas hoje há vias interditas. A história das ciências é a história dos fracassos do irracionalismo. (BACHELARD, 1983, p.185)

Ainda no que tange às suas preocupações históricas, pode-se afirmar que Bachelard opõe-se à concepção positivista da época, ou seja, ao simples relato das descobertas feitas no passado pelos cientistas, em progresso contínuo, introduzindo a noção de ruptura. Esta, por sua vez, preconiza que “a ciência progride por retificações de erros e por reorganizações do saber que rompem inteiramente com as teorias passadas” (BULCÃO, 1981, p.38).

Além disso, para Bachelard, a história precisa ser julgada, pois não teria sentido simplesmente descrever os fatos sem uma crítica que mostre o fundamento e a validade das descobertas científicas. Pelo mesmo princípio mencionado anteriormente, a história precisa ser recorrente, ou seja, é necessário que se analise os fatos científicos do passado a partir da ciência atual a fim de que se tenha a possibilidade de “compreender melhor a evolução e a superação das dificuldades da ciência anterior” (BULCÃO, 1981 p.39).

Bulcão (1981) afirma ainda que a epistemologia de Bachelard contrasta com a de sua época, e que:

[...] o objetivo principal de Bachelard era estabelecer uma filosofia adequada ao pensamento científico de sua época, que pudesse explicitar as principais características da atividade científica, que estivesse atenta às condições reais do trabalho científico e à

especificidade do saber atual, que não desprezasse o dinamismo do racionalismo ativo e que estivesse vigilante quanto à inserção do saber científico no mundo da cultura. (BULCÃO, 1981, p.40)

Com o presente trabalho, pretende-se divulgar as ideias contidas em uma obra menos conhecida de Bachelard – *Les Intuitions Atomistiques* - que trata de aspectos epistemológicos e históricos do desenvolvimento da teoria atômica tal qual conhecemos hoje. Com isso, espera-se despertar o interesse para mais essa obra do célebre autor e que as considerações contidas na obra ecoem nas reflexões sobre o ensino do atomismo.

História e Filosofia do Atomismo na Perspectiva de Bachelard

Menos conhecido e estudado, o livro *Les Intuitions Atomistiques*, sem tradução para o português, é uma das primeiras obras de Bachelard, publicada em 1933. Tendo vivido no período de 1884 a 1962, Bachelard, acompanhou mudanças drásticas na concepção e na estrutura do átomo. Proposto em 1803, o modelo de Dalton postulava que os átomos seriam esferas maciças. Mas em 1897, J.J. Thomson descobre o elétron, o que posteriormente levou à suposição de uma estrutura de cargas positivas e negativas espalhadas em uma esfera (PULLMAN, 1998). Desse ponto em diante, o átomo não podia mais ser considerado indivisível. Outros avanços como o desenvolvimento de distintos modelos atômicos que levassem em conta as novas subpartículas (como o próton e o nêutron, inicialmente), bem como o nascimento da mecânica quântica, também são próprios do período do final do século XIX e das primeiras décadas do século XX (FERREIRA, 2013).

Não se pode afirmar que necessariamente todos os episódios aqui relatados chegaram ao conhecimento de Bachelard, mas muito provavelmente, como estudioso atento ao desenvolvimento da ciência, ele teve conhecimento da maioria deles. Mesmo com um breve resumo das descobertas do período, é possível entender a magnitude das mudanças testemunhadas por Bachelard. A ideia que se tinha de átomo e da estrutura da matéria mudava constantemente, o que, evidentemente, provocava incerteza na comunidade científica e também nos ambientes de ensino. Que modelo de átomo deveria ser ensinado? O que dizer aos estudantes sobre um conceito que está sob constante mudança?

Na condição de professor de física e química, naturalmente, esse problema foi do interesse de Bachelard, pois, dado o conteúdo da sua obra, e da data em que foi publicada, pode-se afirmar que estava bastante atualizado sobre os recentes avanços nas questões atomísticas. Também como filósofo, o sistema de pensamento embutido nas descobertas científicas e no pensamento dos cientistas se fazia presente nas preocupações do autor.

Les Intuitions Atomistiques é uma obra que trata de uma história do atomismo, contextualizando-o temporalmente e filosoficamente, de acordo com cada época. Desse modo, cada sistema filosófico possui uma diferente versão e interpretação do atomismo. Bachelard faz a seguinte divisão:

- *Atomismo Realista*
- *Atomismo Positivista*
- *Atomismo Criticista*
- *Atomismo Axiomático*

Suas considerações, naturalmente, são baseadas na interpretação que dá à história. Ademais, são tratadas problemáticas periféricas à questão do átomo em si, como a análise, a síntese e que fenômenos poderiam levar alguém a imaginar a descontinuidade da matéria.

Como a obra não tem tradução para o português, adverte-se que as citações realizadas são de tradução e interpretação dos autores do artigo. Faz-se, deste ponto em diante, uma análise do livro, contendo, além de transcrições do autor, comentários, dialogando com outros aportes teóricos necessários para um melhor entendimento da obra.

Introdução da Obra

Na primeira página de *Les Intuitions Atomistiques*, Bachelard aponta para o fato de que as doutrinas modificam-se e perdem seu significado conforme o uso. Em outras palavras, as interpretações de um conceito ou de uma ideia distanciam-se de sua concepção original à medida que elas evoluem e se adaptam aos preceitos de cada época. Sendo assim:

É, talvez, profícuo proceder a uma análise, e mesmo a um desmembramento, para isolar os elementos discrepantes das doutrinas, que, sob um mesmo nome, escondem ideias bastante diversas. Nosso objetivo foi de preparar essa análise e de fornecer aos estudantes os meios ou os pretextos para classificar suas ideias. [...] Se nossas análises têm um sentido, elas não irão mais do que facilitar a compreensão, e, sobretudo, a comparação das doutrinas. (BACHELARD, 1933, p.2)

Observa-se então uma preocupação pedagógica, relacionada diretamente aos estudantes, de modo a esclarecer e realmente distinguir os diferentes sistemas de pensamento que dizem respeito à doutrina atômica. É necessário dizer que, embora Bachelard execute esse trabalho, ele o faz levando em consideração estritamente o contexto europeu, ignorando outras culturas e sistemas de pensamento fora desse continente, como a hindu e a chinesa, por exemplo.

Em seguida, o autor trata do problema da composição dos átomos. De caráter bastante filosófico, faz reflexões acerca dos processos que levariam à composição da matéria, e de processos de análise e síntese. Afirma que o átomo surge como explicação para a análise de um fenômeno, mas que sem a síntese ele não faz sentido, ou seja, se chega à noção de átomo pela partição da matéria, mas deve-se considerar também o sentido oposto, o da composição. Bachelard vai mais longe e ainda afirma que, se a composição mantivesse as propriedades dos seus componentes, não haveria, de fato, composição, de modo que deve existir uma característica ulterior ao átomo que permita que a composição aconteça.

Em sua primeira incursão histórica, demonstra que esse conflito de análise e síntese, da racionalização desse problema, tem diferentes visões desde os filósofos da antiguidade grega, remetendo ao seu argumento inicial de que as doutrinas sobre um mesmo conceito são distintas. No entanto, não explica a história, não relata os fatos, apenas os comenta, esperando que o leitor já possua os conhecimentos necessários para a reflexão, o que torna o entendimento do capítulo bastante difícil. Conclui que:

É o pensamento de Demócrito que nos parece, sendo o mais sábio, emprestar menos elementos à realidade. Ela será sempre, mais ou menos solidária a uma filosofia idealista. Ao contrário, é a doutrina de Lucrecio, menos severa, e menos cuidadosa na escolha de suas bases, que nos parece mais próxima do fenômeno e finalmente mais realista. (BACHELARD, 1933, p.9)

Remetendo-se à influência gerada pelos antigos gregos às concepções atômicas modernas, afirma que:

Atualmente, são numerosos os estudiosos que se recusam a associar ao atomismo científico moderno às filosofias de Demócrito e de Lucrecio. Nós ousaríamos ir mais longe: as doutrinas do atomismo antigo não nos parecem ter propagado uma influência real nos tempos modernos; não inspiraram verdadeiramente as teorias desde Gassendi, Huygens, Boyle, nem as pesquisas de Dalton. (BACHELARD, 1933, p.10)

É inevitável associar tal comentário às afirmações feitas por livros didáticos de química atuais, que afirmam que Dalton retomou os conceitos de Demócrito. Há 80 anos Bachelard já advogava que não há relação entre as duas doutrinas e, no entanto, ela sobrevive na literatura apesar de seu alerta e das pesquisas na área de ensino de ciências e da história e filosofia da ciência.

O fato é que o átomo fez parte de diferentes doutrinas, assumindo, para cada uma, diferentes significados. Nesse contexto, Bachelard apresenta o atomismo em diferentes escolas. Trata primeiro daquele embutido na escola realista. E, depois, do atomismo mais ou menos próximo da filosofia idealista: o atomismo positivista e o atomismo criticista. Em seguida, são discutidos os princípios do atomismo científico moderno.

A Metafísica Da Poeira

Bachelard conjectura que o atomismo enquanto concepção tem sua origem em algum fenômeno, em alguma observação e à luz de certos questionamentos. Isso acabou levando à noção de que a matéria seria formada de pequenas partículas. É dessa questão que Bachelard trata em um breve capítulo e apresenta sua ideia sobre a relação da poeira com as proposições atomísticas:

Se a experiência usual não nos apresentasse os diversos fenômenos da poeira, é de se presumir que o atomismo não teria recebido dos filósofos uma adesão pronta e que não teria conhecido um destino tão facilmente renovado. [...]

Ao contrário, do simples fato da existência da poeira, o atomismo pôde receber, desde seu princípio, uma base intuitiva, ao mesmo tempo, permanente e rica em sugestões. (BACHELARD, 1933, p.17)

Bachelard considera a imagem da poeira a mais simples das imagens do atomismo e afirma ainda que, justamente pelo fato de ser simples e primitiva, é porque é durável. Ainda mais, atribui ao fenômeno da poeira uma grande importância para a pedagogia do atomismo:

É sobre os fenômenos da poeira, do pó e da fumaça que se aprende a meditar acerca da estrutura fina e sobre o poder misterioso do infinitamente pequeno; essa visão está sobre o caminho de um conhecimento do impalpável e indivisível. (BACHELARD, 1933, p.25)

No que diz respeito à noção de que o átomo seria eterno e indestrutível, argumenta o autor que esta seria oriunda dos fenômenos da deterioração de diversos materiais como rochas e metais, bem como da decomposição da matéria viva, em terra. Ou seja, a matéria sofre uma espécie de reciclagem, levando, intuitivamente, à noção de que deve existir algo perene e incólume à ação dos intemperismos e do tempo.

Além da intuição do átomo, também é tratada a intuição do vazio:

Para os antigos, o ar era sempre o vento. Na experiência comum, se o ar é imóvel, ele perde de alguma forma sua existência. O vento é sempre uma força de união. É por isso que os movimentos desordenados da poeira em um raio de sol não são postos na conta do vento. [...]. O ar imóvel, é então o vazio intuitivo. Não há ação alguma, não é o sinal de nada, a causa evidente de nada. (BACHELARD, 1933, p.39)

O autor encerra o capítulo afirmando que o atomismo é, em primeira instância, uma doutrina de inspiração visual; e que a poeira e o vazio apreendidos sob um mesmo olhar ilustram verdadeiramente a primeira lição do atomismo.

O Atomismo Realista

Bachelard mostra-se um crítico do realismo, alegando que é a menos evolutiva das filosofias. (BACHELARD, 1933, p.47). Mas o que é, afinal, o realismo? De acordo com Hessen (2000), é o ponto de vista epistemológico segundo o qual existem coisas reais, independentes da consciência, de modo que é atribuída ao objeto observado todas as propriedades presentes nos conteúdos, ou seja, o objeto possui propriedades intrínsecas que o representam em sua totalidade, ignorando o ponto de vista do observador e outros fatores que possam levá-los a ser de determinada maneira.

Entretanto, essa definição tem algumas ramificações. Para um realista ingênuo, enxerga-se um objeto na cor vermelha porque ele é vermelho, ignorando as percepções do observador. Já um realista crítico está um passo além do realista ingênuo, considerando que nem todas as propriedades encontram-se no domínio apenas do objeto e que o observador depreende o objeto por meio dos seus sentidos por meio de reações de consciência. Por conseguinte, as impressões acerca de determinado objeto são produto, simultaneamente, da percepção do observador e das

características do objeto, mantendo-se, portanto, o caráter realista da observação (HESSEN, 2000, p.74).

Já Bachelard, fala do realismo em diversas obras. Em “A Formação do Espírito Científico”, dedica um capítulo a analisá-lo, denominado “Psicanálise do Realista”, considerando-o um dos primeiros obstáculos epistemológicos a serem superados:

De fato, a convicção primeira do realismo não é discutida, como nem chega a ser ensinada. De forma que o realismo pode, com razão, ser considerado a única filosofia inata, o que não nos parece vantagem. [...] Siga a argumentação de um realista; imediatamente ele está em vantagem sobre o adversário porque tem, acha ele, o real do seu lado, porque possui a riqueza do real, ao passo que seu adversário, filho pródigo do espírito, persegue sonhos em vão. (BACHELARD, 1996, p.163)

As imagens virtuais que o realista forma desse modo, admirando as mil variações de suas impressões pessoais, são as mais difíceis de afugentar. (BACHELARD, 1996, p.184)

Outro exemplo de crítica ao realismo encontra-se na obra em que Bachelard introduz o conceito de perfil epistemológico, “A Filosofia do Não”:

Não foi, com efeito, sob inspiração do realismo que a ciência captou a estrutura interna das suas noções de base. Só existe um meio de fazer avançar a ciência: é o de atacar a ciência já constituída, ou seja, mudar sua constituição. O realista está mal situado para isto, pois parece que o realismo é uma filosofia onde sempre se tem razão. (BACHELARD, 1978, p.19)

Em suma, para Bachelard, o realismo, esta atribuição dos fenômenos aos objetos, é um obstáculo ao andamento da ciência. Por exemplo, dizer que um objeto é vermelho porque seus átomos são vermelhos é um argumento que não tem continuidade, e fornece uma explicação ao fenômeno. E seu grande perigo é justamente de ser simples e convincente. Por isso sua afirmação de que “o realismo sempre tem razão”. E, justamente, por sempre ter razão, constitui-se um obstáculo à abstração e a outras hipóteses para a existência de um dado fenômeno.

Acerca da relação entre atomismo e realismo, Bachelard declara que:

Ele [o realismo] explica tudo com o apoio de uma única função epistemológica: a referência direta da qualidade à substância. Uma vez afirmado que um corpo possui esta ou aquela propriedade, toda questão ulterior passa por inútil ou ao menos derivada. Parecerá que em uma determinada filosofia se possa encontrar uma discriminação imediata entre aquilo que há de real no fenômeno e aquilo que há de ilusório. (BACHELARD, 1933, p.46)

O autor afirma que o realismo tende a colocar o átomo como uma substância *produtora* de seus atributos; e que tende a reduzir, ao contrário do ideal científico moderno, as leis dos fenômenos às propriedades das substâncias (BACHELARD, 1933). Mas nem todos os atomistas realistas agiriam de forma tão ingênua e simplória. É analisada, então, a constituição outros tipos de realistas, denominado “realistas sábios”, de maneira análoga aos realistas críticos conforme definido por Hessen (2000). Estes, por sua vez, reagem contra essa atribuição imediata das qualidades dos

sentidos. Tentam estabelecer uma escala de valores na união das propriedades e determinar as características *fundamentais* do átomo (BACHELARD, 1933). Eles o fazem enriquecendo o conceito de átomo com outros atributos. Para exemplificar sua tese, Bachelard faz uso de alguns exemplos, sendo um deles a concepção de Gassendi, onde os átomos não formariam a totalidade do ser, como preconizam as doutrinas antigas. Haveria um ser pensante por trás dos átomos, que determina seus movimentos e choques, de modo que o átomo deixaria de ser um fato explicado em si mesmo para ser parte de um contexto maior, afastando-se do realismo, portanto.

Os Problemas Da Composição Dos Fenômenos

Graças à cultura científica, a ideia de combinação encerrada por nós parece simples e natural, mas quando se percorre o desenvolvimento da ciência, percebe-se que ela é cercada de nuances intuitivas diversas que tornam sua precisão conceitual delicada (BACHELARD, 1933, p.71).

Periférica, mas não menos importante, a questão da composição dos átomos é latente nas diferentes teorias atômicas. Ora, se é presumido que o mundo é composto de átomos, e que estes unem-se para dar origem à matéria tal qual a conhecemos, nada mais natural do que se perguntar como esse processo ocorre. Todavia, como aponta Bachelard, nem sempre essa questão foi tão simples e aceita, e até mesmo que:

Do ponto de vista pedagógico, é sempre muito difícil de distinguir a intuição elementar da mistura e a ideia de combinação. O melhor meio para esclarecer essa distinção é de definir a combinação pelo fato de que ela cria características radicalmente novas” (BACHELARD, 1933, p.71).

Como em outras obras, Bachelard faz a ligação entre as dificuldades pedagógicas com os obstáculos enfrentados historicamente e, para exemplificar seu argumento, faz uso do exemplo das concepções de Cavendish e Watt acerca da composição da água. Enquanto o primeiro afirmava que a água *nasce* do oxigênio² e do hidrogênio³, atribuindo ao fenômeno características vitais e animistas, Watt dizia que a água é uma *composição* desses dois elementos, sendo, portanto, mais avançado em relação a Cavendish (BACHELARD, 1933).

Outro exemplo citado pelo autor, caracterizado como “um dos fenômenos mais favoráveis para estudar os problemas filosóficos da composição”, é o caso da alotropia, sendo que o maior problema é o de determinar se ele é configurado como um fenômeno físico ou químico. Esse problema foi estudado por Daniel Berthelot, que, ao investigar o caso do enxofre, chegou à conclusão de que os estados desse elemento têm relação com a natureza de sua combinação (BACHELARD, 1933). Ou seja, deduziu que a diferença no modo sob o qual as partículas estavam arranjadas levava aos distintos modos dos quais o enxofre se apresenta.

Bachelard termina o capítulo afirmando que os problemas inerentes ao atomismo superam a sedução do realismo imediato. Isso significa que não é possível atribuir

² Ar inflamável, originalmente.

³ Ar deflogisticado, originalmente.

características simplórias e imediatas, passando do fenômeno para a estrutura. Afirma também que esses problemas:

[...] deverão ser colocados como os resumos da experiência, depois recolocados em um pensamento construtivo, onde o escopo e o sentido das suposições iniciais serão explicitamente definidos (BACHELARD, 1933, p.82).

O Atomismo Positivista

Antes de falar de atomismo positivista, é necessário fazer uma reflexão inicial acerca do conceito de positivismo. De acordo com Bensaude-Vincent (1999), Auguste Comte, o fundador desse sistema de pensamento, afirma que o objetivo da ciência não é colecionar fatos, mas a descoberta de leis gerais. No que diz respeito aos átomos, segundo a autora:

Comte minimizava continuamente a importância dos átomos para a química porque eles não permitiam alcançar a tarefa principal da química positiva, mais especificamente: 'dadas as propriedades dos corpos simples, encontrar aqueles dos quais todos os compostos são formados'. (BENSAUDE-VINCENT, 1999, p.5, tradução nossa)

Bachelard afirma que o pensamento positivista teve grande influência no contexto francês e além, limitando ou até mesmo impedindo a disseminação das ideias atomísticas até mesmo no âmbito educacional, as quais foram tomadas como não-científicas dada a impossibilidade de verificação experimental, essencial segundo os princípios positivistas. Relata o autor:

[...] seria bastante instrutivo penetrar no espírito que presidia o ensino da química no início do século XX, e mesmo na França [...]. A maior parte dos livros escolares, de acordo com as estranhas instruções ministeriais, reportavam a hipótese atômica no fim do capítulo dedicado às leis da química. Frequentemente, a hipótese atômica aparecia em apêndice para frisar que se devia ensinar toda a química na boa forma positivista, - os fatos pelos fatos e somente pelos fatos. (BACHELARD, 1933, p.86)

Apesar de Bensaude-Vincent (1999) considerar exagerada a importância dada pelos autores a esse fato, Bachelard também conceitua e explica os efeitos do positivismo nas ciências do século XIX.

[...] o atomismo positivista se apresenta finalmente entre as essas duas tentações, do real e do lógico, com uma nuance polêmica. O atomismo positivista torna-se então, psicologicamente falando, tão pouco natural, tão pouco ativo que se torna mais um código de precauções para evitar um erro do que um método de pensamento em busca de descobertas.

O critério do positivismo é contudo claro: não postular nada que não possa ser submetido à verificação do laboratório. (BACHELARD, 1933, p.84)

Bachelard declara que a hipótese atômica apresentou-se, naquelas circunstâncias, de maneira unicamente química. Isso significa que o atomismo teria um caráter apenas explicativo para fenômenos experimentais, sem dar real credibilidade ao conceito de átomo enquanto entidade real e constituinte da matéria. Dada a impossibilidade de verificação experimental e os princípios positivistas, o átomo fica marginalizado nas concepções positivistas, professada, às vezes, como puro nominalismo.

O átomo não daria lugar à uma definição de coisas, mas seria retido apenas como uma definição de palavra. A teoria atômica compreendida nesse contexto seria então no máximo um andaime para associar as experiências, ou mesmo um simples meio pedagógico para ligar os fatos. (BACHELARD, 1933, p.85)

Bachelard aponta que muito se falou que a química moderna começou verdadeiramente com o uso sistemático da balança, e atribuindo ao peso a posição de *único* critério de conhecimento científico das substâncias (BACHELARD, 1933, p.88) e que, dentro do ideal da ciência positivista, parece que a ciência pode se contentar com um sistema de medidas, de modo que a realidade científica é a própria medida, mais do que o objeto mensurado (BACHELARD, 1933, p.88). Ou seja, a abstração acerca dos fatos é deixada em segundo plano, uma vez que é considerada uma ação não-científica. Fazer conjecturas e elaborar modelos seriam atividades para além do imediatamente detectável e observável, o que não seria condizente com os princípios positivistas.

O autor atribui à Lei das Proporções Definidas, de Proust, a alcunha de positivismo mais direto e mais puro, a qual permitia catalogar todas as combinações químicas relacionando simplesmente os números proporcionais de combinação, de modo que possibilitava descrever toda a fenomenologia química sem subscrever-se a teoria alguma (BACHELARD, 1933, p.92).

No que diz respeito à teoria atômica de Dalton, Bachelard afirma que, ao reconhecer que as combinações eram feitas em múltiplos simples de um corpo a outro – comparadas ao peso de um deles – estava de posse de intuições atomísticas, visto que, se ele tivesse estudado corpos orgânicos complexos, jamais teria construído sua teoria (BACHELARD, 1933, p.95). Por esse e outros motivos, as ideias de Dalton foram vistas com grande desconfiança pela comunidade científica. No entanto, a hipótese atômica passou a ser o melhor modelo para explicar diversos fenômenos, além dos estequiométricos, como, por exemplo:

- 1) *Lei de Dulong-Petit (1819): É considerada por Bachelard como um dos casos mais claros da expansão da teoria atômica. Ao verificar a tabela de calores específicos realizada para onze metais e dois metalóides, não se encontra relação entre os números obtidos (com uma precisão experimental bastante ambiciosa para a época – até a quarta casa decimal). Mas, se o calor específico for multiplicado pelo peso atômico do elemento, encontra-se um número constante, qualquer que seja o corpo analisado.*
- 2) *Lei de Raoult: permite determinar o peso molecular de certas substâncias em função do abaixamento do ponto de congelação do líquido onde elas estão dissolvidas.*
- 3) *Lei de Avogadro: Inspirado pelas descobertas de Gay-Lussac, segundo as quais os corpos se combinam em relações volumétricas, e que os gases possuem o mesmo coeficiente de dilatação; Avogadro, propôs que quaisquer gases de mesmo volume, à temperatura de zero grau Celsius, e à pressão de 760 mm. de mercúrio possuiriam o mesmo número de partículas. De forma que isso não é mais uma hipótese, mas uma lei*

empírica, uma lei que se aceita com suas determinações aproximadas, e, que portanto, não teria que recorrer à razão, sendo, portanto, uma lei positiva.

Bachelard conclui que, é aproveitando-se da intuição e do realismo que a ciência progride. Ora, com a intuição pode-se elaborar as hipóteses que levam aos experimentos e o realismo permite que se faça a relação entre os resultados e as hipóteses. Por exemplo, Jean Perrin determinou de quatorze maneiras diferentes o número de Avogadro (60×10^{22} moléculas) que hoje corresponde a uma constante fundamental da ciência atômica (BACHELARD, 1933, p.101).

Chega-se então, nesse ponto de vista, não apenas a legitimar a hipótese de Avogadro, mas ainda a obter-se um tipo de medida. [...] A linha que vai da hipótese de Avogadro à lei de Avogadro, e depois, da lei de Avogadro ao número de Avogadro retrança toda a história científica de um século. Ao longo dessa linha uma intuição se esclarece e se torna precisa. Essa intuição transborda finalmente o positivismo. (BACHELARD, 1933, p.101)

O positivismo é, por fim, considerado um intermediário entre o racionalismo da hipótese e o realismo das verificações convergentes (BACHELARD, 1933, p.102).

O Atomismo Criticista

Neste capítulo, Bachelard dialoga com a obra de Artur Hannequin, denominada “*Essai critique sur l’hypothèse des atomes dans la science contemporaine*”. Do mesmo modo, também é bastante citada a obra de Kurd Lasswitz: “*Atomistik und Kriticismus*”. Portanto, a constante referência e contraponto aos autores e suas obras torna complexo o entendimento das ideias, visto que seria necessária a leitura das mesmas para poder ter plena compreensão dos argumentos lançados por Bachelard.

Como primeira atitude, faz-se necessário compreender o conceito de criticismo, embora existam concepções filosóficas variadas a esse respeito. De acordo com Hessen (1999), o criticismo é uma filosofia que tem por princípio que o conhecimento é possível e de que a verdade existe. Junta a confiança no conhecimento humano em geral a uma desconfiança com relação a qualquer conhecimento determinado. Afirma ainda que o criticismo:

Põe à prova toda afirmação da razão humana e nada aceita inconscientemente. Por toda parte pergunta sobre os fundamentos, e reclama da razão humana uma prestação de contas Seu comportamento não é cético nem dogmático, mas criticamente inquisidor (HESSEN, 1999, p.42).

Desse modo, é uma filosofia que ultrapassa as seduções realistas e a explicação rasa dos fenômenos. Tem em seu cerne a busca pelo conhecimento ao mesmo tempo que o põe em xeque em face dos fatos e das teorias. No que diz respeito ao atomismo, isso significa que:

[...] uma teoria criticista do atomismo deverá naturalmente procurar a convergência das provas ao ponto de partida, na primeira empreitada do espírito sobre a matéria. [...] Teremos a prova de que

o atomismo não é de natureza material, mas ao contrário, que provém da percepção e de inteligência (BACHELARD, 1933, p.104).

Nesse sentido, o fator numérico do átomo é atribuído por Hannequin como nascido do número e da necessidade de delimitar as regiões onde o átomo se encontraria, o que leva também a um caráter geométrico do átomo. Assim, será uma análise infinitesimal concebida como um complexo de relações que conduzirá a postular que em todo objeto geométrico há elementos indivisíveis (BACHELARD, 1933, p.110). Mas como passar desse ente matemático e imaginário para a um ente real? Bachelard aponta que:

Para Hannequin, é preciso mostrar que a aplicação dos conceitos elementares, formados a partir da intuição geométrica, obriga-nos a postular um elemento de massa [...] conduzida, de uma maneira insensível, dos princípios da geometria aos da mecânica. É uma prova para dizer em passagem, que a mecânica é tomada aqui como uma ciência de leis, e não como uma ciência de fatos. (BACHELARD, 1933, p.113)

Assim, da mesma forma que se matematizou os fenômenos físicos, faz-se o caminho inverso, na visão de Hannequin: primeiro como ente matemático, e depois, como ente físico. Isso incorre na necessidade de fornecer causas aos fenômenos matematizados, como segue:

É sem dúvida confessar que uma ciência puramente e simplesmente descritiva não teria necessidade de tomar o ponto móvel em seu aspecto concreto, em seu papel ativo, ou dito de outra forma, que o átomo não aflora verdadeiramente no fenômeno do movimento. Mas logo que se vise elucidar as causas, eis aqui o átomo que se precisa e que de algum modo se solidifica. (BACHELARD, 1933, p.116)

O outro autor que Bachelard aponta como estudioso do atomismo criticista é Lasswitz, cuja concepção é de que o átomo corresponderia ao desejo de formar certas suposições que a ciência deve fazer para dar conta de certos resultados experimentais, suposições que são mais ainda que as hipóteses necessárias e suficientes porque sua necessidade se refere às funções intelectuais, de modo que o criticismo corresponderia a uma correlação recíproca dos princípios aos fatos (BACHELARD, 1933, p.127).

Bachelard conclui dizendo que para a filosofia crítica, a experiência é verdadeiramente uma ação espiritual, na qual sem uma real ação a experiência permanece uma forma sem determinação. Declara ainda que, tomada ao nível da sensibilidade, a informação criticista deve então ser uma informação ativa que ultrapassa a contemplação visual.

O Atomismo Axiomático

O termo “axioma” remete a uma noção de “ponto de partida”, de onde se admite determinado fato a fim de que se possa deduzir suas consequências. Bachelard atribui aos atomistas do passado o mérito do nome “axiomático”, por todas as suas contribuições. Afirma que não é suficiente postular, com a palavra “átomo”, um elemento indivisível para reivindicar a base da ciência física. É necessário ir além: é preciso se servir dessa hipótese da mesma maneira que a geometria se serve de um postulado. E ainda que:

É necessário não se confinar em uma dedução, frequentemente verbal, que tira as consequências de uma suposição única; mas ao contrário, deve-se encontrar meios de combinar as múltiplas características e construir por essa combinação fenômenos novos. (BACHELARD, 1933, p.133)

O autor aponta que a doutrina da hipótese tomada como postulado desvia-se da doutrina clássica das hipóteses científicas, de modo que um método axiomático prova seu valor não apenas por seus resultados experimentais, mas ainda pelo movimento de seu pensamento.

Dito de outra forma, a atomística moderna se recusa a eliminar completamente as hipóteses, ela não deseja simplesmente juntar duas descrições da experiência comum; ela pretende manter a ligação racional que deve para passar de uma experiência a outra (BACHELARD, 1933, p.135).

Bachelard exemplifica seu argumento com a imagem da fenomenologia do gás sendo ionizado, a qual não se consegue desprender da imagem do elétron e do átomo; e que esse fenômeno é criado pelo estudioso. Isso implica também no fato de que a ciência atômica moderna está sob a dependência do pensamento técnico, e não da experiência comum, de modo que uma experiência particular é doravante a materialização de um teorema.

[...] a ordem das ideias dinamiza as ideias e que é pela ordem e pela composição das ideias, mais do que pela análise das ideias que o pensamento pode preparar as descobertas. A arquitetura da ciência do átomo ultrapassa então o domínio positivista. (BACHELARD, 1933, p.136)

Essa superação do positivismo ocorre na medida em que as teorias passam a gerar fatos, em vez dos fatos serem tratados de maneira solitária e desprendidos de abstrações. Quando o rígido critério positivista é deixado para trás, pode-se usar a teoria construída em cima de um fenômeno para criar outros fenômenos, de maneira que essa teoria se autoafirma na medida em que consegue mostrar fatos previstos anteriormente, originando, assim, o axioma científico conforme proposto por Bachelard.

O pensamento axiomático nos ensina de fato a colocar um termo em análise porque a análise não pode mais do que preparar uma síntese. A função epistemológica do átomo é de construir teoricamente o fenômeno. (BACHELARD, 1933, p.137)

Assim, quando há a materialização da teoria em fenômenos, esta faz-se pelo meio da construção de instrumentos, o que leva ao que Bachelard denomina “*atomística instrumental*”.

Com esses instrumentos [...] não se observa nada além de um fenômeno preciso, esquematizado, impregnado de teoria. Não se encontra, mas se produz. A ciência moderna tende cada vez mais a ser uma ciência de efeitos. [...] Mais ainda, procuramos o efeito sem que a experiência não nos tenha previamente apresentado. Ele tem que ser construído anteriormente pelo pensamento para o produzir efetivamente. (BACHELARD, 1933, p.138)

Seguindo esse raciocínio, Bachelard é categórico: *“Um instrumento, na ciência moderna, é verdadeiramente um teorema reificado”*. (BACHELARD, 1933, p.140)

Um exemplo do caráter científico axiomático que está nas teorias, em vez dos instrumentos, encontra-se nas proposições de Bohr. Bachelard afirma que a ideia de elétrons em órbita, de Bohr, rompe com a intuição geométrica e é um postulado impossível de ser justificado *a priori* (BACHELARD, 1933, p.149). Além disso, contradiz a intuição mais simples e fundamental, que é a da homogeneidade do espaço (por afirmar que os elétrons saltam de uma órbita para a outra, não podendo ocupar os espaços intermediários); e que, dessa forma, não pode ser aceita de outra maneira que não seja a de um postulado.

As reflexões de Bachelard a esse respeito manifestam uma nova concepção de ciência, que ultrapassa as intuições realistas ingênuas; vão para além e colocam a racionalidade humana no limite.

A atomística vai então à procura de uma experiência voluntariamente perdida. É por isso que é a ciência prestigiosa por excelência. Ela nos faz pensar o que estamos predispostos a ver. Ela nos diz: esqueça os fatos que lhe foram ensinados; esqueça os corpos que cortamos, dissolvemos, misturamos. Veja pelos olhos do espírito esse mundo invisível (BACHELARD, 1933, p.150).

Bachelard encerra o capítulo afirmando que a atomística fornece um exemplo luminoso de pensamento axiomático e também o melhor exemplo do risco científico pelo qual intuições novas reformam o pensamento e a experiência (BACHELARD, 1933, p.152).

Conclusão da Obra

No capítulo que encerra sua obra, Bachelard começa retomando a ideia de que, ao observar os fenômenos atômicos, percebe-se facilmente o caráter ilusório das intuições primeiras, aquelas que respondem completamente às questões feitas, que não são fecundas e não sugerem experiências. E que é esta atribuição das substâncias às suas qualidades que leva ao realismo. Em seguida, reflete sobre o papel do átomo no contexto científico geral:

Resumiremos melhor o atomismo tomando o átomo como um centro de convergência para os métodos técnicos, à extremidade de diversos processos de objetivação. Se mesmo o átomo científico se manifesta repentinamente pelas características empíricas em isenção total de suas precauções técnicas, será uma prova de uma defasagem instrumental ou de um erro metodológico. A permanência dos fenômenos atômicos é o sinal de um método fiel. (BACHELARD, 1933, p.154).

No que tange à filosofia, afirma que a fusão de teses idealistas e realistas leva à preparação para a evolução do atomismo científico moderno. Declara que a união dos diferentes estados de espírito, do empirismo positivista, e da audácia construtiva do atomismo contemporâneo, mais do que um fato histórico, deve ser uma necessidade

pedagógica permanente (BACHELARD, 1933, p.152). Desenvolve esse argumento considerando que:

[...] a construção teórica das experiências sobre o átomo não pode mais se contentar com a atitude positivista [...] Não recebemos toda a teoria da experiência. Não tememos mais, então, de aumentar o campo de suposições, mas essas suposições são, no entanto, de ordem matemática. Esperamos, desse modo, ultrapassar a simples tradução dos fenômenos compensados ou pelo menos compreender a compensação. Desse modo, nasce um tipo de atomística teórica (BACHELARD, 1933, p.159).

[...] o positivismo clássico nos conduziria a aumentar abusivamente certos fatos, a não tomar o real apenas por um de seus atributos. O positivismo se educa de fato com o contato do fenômeno imediato [...] Mas a ciência moderna nos reconciliou com a causalidade do infinitamente pequeno à geometria do detalhe. (BACHELARD, 1933, p.160)

Bachelard termina seu livro com uma última reflexão, e deixa ao leitor uma série de provocantes perguntas:

E finalmente, se o pensamento filosófico devesse um dia preencher o vazio que separa o atomismo ingênuo e o atomismo científico contemporâneo, é sempre a mesma pergunta que é necessário responder: Como intuições sensíveis podem tornar-se, pouco a pouco, intuições racionais, como os fatos podem ajudar a descobrir as leis; como, sobretudo, leis podem se organizar forte o suficiente para sugerir regras? (BACHELARD, 1933, p.160)

Considerações sobre a obra e contribuições ao Ensino de Ciências

Bachelard traz sua própria interpretação para as filosofias embutidas nas concepções científicas acerca do conceito de átomo. Realismo, positivismo, criticismo e até mesmo o caráter axiomático que o átomo termina por ter, mostram as influências de pensamentos que tornam o átomo um objeto científico, para além de um objeto modelizado ou real.

No princípio de *Les Intuitions Atomistiques*, o autor afirma que tem um objetivo pedagógico em sua análise. Apesar disso, o texto é de difícil compreensão. Barreiras linguísticas à parte, o primeiro obstáculo para compreendê-lo é o fato de que Bachelard não discute e aprofunda, minimamente, os exemplos históricos e filosóficos que menciona. Fala deles com grande naturalidade, pressupondo ser completamente inteligível ao seu leitor. Desse modo, é pré-requisito ter conhecimentos não só em história e filosofia da ciência, como também de química e de física.

Outro aspecto que se torna um empecilho para o pleno entendimento de suas ideias, é o constante diálogo com suas referências bibliográficas. Embora Bachelard tenha por hábito referenciá-las propriamente, inclusive com citações diretas, o fato de permanecer em diálogo com elas, necessitaria do leitor conhecimento acerca das obras em questão. Isso é especialmente latente no capítulo sobre o atomismo criticista. Infelizmente, os autores citados são filósofos e historiadores pouco

conhecidos no espaço-tempo atual, o que implica em ausência de qualquer referência mais recente às suas ideias.

A obra mostra ainda, um prenúncio de ideias que apareceriam em obras posteriores, como os constantes ataques ao realismo, a discussão da constituição e evolução do conhecimento científico e, até mesmo, a fenomenotécnica – que se refere ao conhecimento científico transformado em objeto, produzindo fenômenos que não se encontram na natureza (LOPES, 1996).

Ainda assim, esse pequeno e denso livro fornece reflexões bastante interessantes e relevantes para o ensino da atomística e para a compreensão da natureza da ciência, na medida em que mostra algumas das principais correntes filosóficas que influenciaram na construção científica do conceito de átomo.

Seu potencial didático, portanto, não reside na simples entrega da obra para que os estudantes a leiam diretamente, e sim em uma transposição didática que permita ao professor, por exemplo, fazer as ligações do conteúdo do texto com a história do átomo. Tal iniciativa já é um fato presente em um texto que versa sobre o tema e consta em uma dissertação de mestrado (FERREIRA, 2013). A proposta didática nasce da necessidade de um contraponto às simplificações comuns em livros-texto de química, que mostram, em especial, uma passagem direta de Demócrito a Dalton, de modo que, por vezes, é apresentada como se o segundo “ressuscitasse” as ideias do primeiro. Assim, com um resgate que visa uma reconstituição histórica mais apurada, incluem-se as ideias de Bachelard, unindo à história, reflexões sobre a natureza da ciência.

São particularmente fecundas ao ensino de ciências as ideias sobre a metafísica da poeira, o atomismo realista, o atomismo positivista, o atomismo criticista e o atomismo axiomático. A primeira permite a um estudante vislumbrar em sua realidade concreta de que maneira pode-se pensar em fenômenos que levem a noções de partículas indivisíveis a partir de uma experiência comum, que é observar a poeira em raios solares.

O atomismo realista, um passo além da metafísica da poeira, proporciona fazer reflexões a respeito do caráter das explicações científicas, sobre delimitações do que é ou não científico, sobre o atomismo na antiguidade, etc.

Já em relação ao atomismo positivista, pode-se fazer discussões que permeiam o empirismo científico e as proposições teóricas. Em relação à história do átomo, isso se traduz nas proposições de Dalton e das objeções que o átomo sofreu até o início do século XX, trazendo para o debate, em especial, as contestações feitas por Wilhelm Ostwald (OKI, 2009; OSTWALD, 1895).

O atomismo criticista, por seu ceticismo e busca por entes matemáticos que validem o conhecimento, oportuniza discussões sobre relações matemáticas tão presentes na ciência, bem como da necessidade das mesmas. Em termos de atomística, pode ser contraposto ao atomismo positivista em virtude de sua menor intransigência em suas proposições, proporcionando exames mais ponderados de demarcações científicas.

O atomismo axiomático enseja discussões sobre a instrumentalização e sobre como um conceito científico toma a forma de aparatos tecnológicos que, além de materializarem proposições teóricas, geram novos conhecimentos acerca de um objeto. Bachelard cita o espectrômetro de massa, mas, do ponto de vista da ciência

atual, o LHC (Grande Colisor de Hádrons), tão presente na mídia de divulgação científica, também é fruto de proposições atomísticas modernas, de modo que essas reflexões podem culminar, até mesmo, em discussões sobre alfabetização científica, outro tema importante e recorrente no ensino de ciências.

Portanto, com as devidas adaptações, os conhecimentos históricos e filosóficos presentes em *Les Intuitions Atomistiques* oportunizam ricas aplicações pedagógicas, as quais podem ser objeto de maior exame pela comunidade científica brasileira.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelo auxílio financeiro e às contribuições dos árbitros que analisaram este artigo.

Referências

- BACHELARD, G. **A poética do devaneio**. São Paulo: Martins Fontes, 1988.
- _____. **Epistémologie**. Paris: Presses Universitaires de France, 1974. **Epistemologia**: trechos escolhidos. 2a ed. Tradução por Nathanael C. Caixeiro. Rio de Janeiro: Zahar, 1983.
- _____. **La philosophie du non**. Paris: Presses Universitaires de France, 1963. Tradução Joaquim José Moura Ramos. **A filosofia do não**. São Paulo: Abril Cultural, 1984. (Os Pensadores).
- _____. **La formation de l'esprit scientifique**. Paris: J. Vrin, 1947. Tradução por Estela dos Santos Abreu. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- _____. **Les Intuitions Atomistiques**. Paris: Bovin & Cie, 1933. 162 p.
- _____. **O direito de sonhar**. Tradução José Américo Motta Pessanha. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.
- BENSAUDE-VINCENT, B. Atomism and Positivism: A legend about French Chemistry. **Annals of Science**, vol.56, p.81-94, 1999.
- BULCÃO, M. **O Racionalismo da Ciência Contemporânea**: Uma análise da epistemologia de Gaston Bachelard. Rio de Janeiro: Antares, 1981.
- COSTA, L.V.O. **Números reais no ensino fundamental: alguns obstáculos epistemológicos**. 2009. 368f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- FERREIRA, L. M. **Atomismo: Um resgate histórico para o Ensino de Química**. 170p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- FONSECA, D. M. A pedagogia científica de Bachelard: uma reflexão a favor da qualidade da prática e da pesquisa docente. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, vol.34, n.2, p.361-370, 2008.
- HESSSEN, J. **Teoria do conhecimento**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

LOPES, A.R.C. A Concepção de Fenômeno no ensino de química Brasileiro Através dos Livros Didáticos. **Química Nova**, vol.4, n.17, p.338-341, 1994.

LOPES, A.R.C. Bachelard: o Filósofo da Desilusão. **Caderno Brasileiro de ensino de física**. vol.13, n.3, p.248-273, 1996 .

MARTINS, A.F. **Concepções de estudantes acerca do conceito de tempo**: uma análise à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. 2004. 218 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MELO, A.C.S. **Contribuições da epistemologia histórica de Bachelard no estudo da evolução dos conceitos da óptica**. 2005. 199f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MORTIMER, E.F. Pressupostos epistemológicos para uma metodologia de ensino de química: mudança conceitual e perfil epistemológico. **Química Nova**, vol.15, n.3, p.242-249, 1992.

OKI, M.C. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Química Nova**, vol.32, n.4, p.1072-82, 2009.

OSWALD W. La dérouté de l'atomisme contemporain. **Revue générale des sciences**, n.6, 1895.

PEDUZZI, L.O.Q. **Evolução dos Conceitos da Física**. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2011. 130p.

PULLMAN, B.; REISINGER, A. **The Atom in the History of Human Thought**. Oxford University Press, 1998. 416p.

SIQUEIRA, M.R, **Professores de física em contexto de inovação curricular**: saberes docentes e superação de obstáculos didáticos no ensino de física moderna e contemporânea. 2012. 203f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

VIEIRA, K.R.C.F. **Avaliação em processo: uma contribuição para dinamizar o ensino de ciências nas séries iniciais do ensino fundamental**. 2006. 172f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

Submetido em junho de 2013, aceito para publicação em setembro de 2014.