

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO  
CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA**

Larissa Moreira Ferreira

**ATOMISMO:  
UM RESGATE HISTÓRICO PARA O ENSINO DE QUÍMICA**

Florianópolis  
2013



Larissa Moreira Ferreira

**ATOMISMO:  
UM RESGATE HISTÓRICO PARA O ENSINO DE QUÍMICA**

Dissertação submetido(a) ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Educação Científica e Tecnológica.  
Orientador: Prof. Dr. Luiz Orlando de Quadro Peduzzi

Florianópolis  
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do  
Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Ferreira, Larissa Moreira

ATOMISMO: UM RESGATE HISTÓRICO PARA O ENSINO DE QUÍMICA  
[dissertação] / Larissa Moreira Ferreira ; orientador, Luiz  
Orlando de Quadro Peduzzi - Florianópolis, SC, 2013. 170 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Programa de  
Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica.

Inclui referências

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. História da  
Ciência. 3. Bachelard. 4. Atomismo. I. Peduzzi, Luiz Orlando de  
Quadro. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de  
Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
CURSO DE MESTRADO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E  
TECNOLÓGICA

“Atomismo: um resgate histórico para o ensino de química.”

Dissertação submetida ao Colegiado  
do Curso de Mestrado em Educação  
Científica e Tecnológica em  
cumprimento parcial para a obtenção  
do título de Mestre em Educação  
Científica e Tecnológica

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 04/03/2013

Prof. Dr. Luiz Orlando de Quadro Peduzzi (PPGECT/UFSC–Orientador)

Profª. Drª. Thais Cyrino de Mello Forato (UNIFESP – Examinadora)

Prof. Dr. Santiago Francisco Yunes (CFM/UFSC - Examinador)

Profª. Drª. Tereza Cristina Rozone de Souza (CFM/UFSC – Suplente)

  
Dr. Carlos Alberto Marques

Coordenador do PPGECT

  
LARISSA MOREIRA FERREIRA

Florianópolis, Santa Catarina, março de 2013.



## AGRADECIMENTOS

Embora tenha convicção de que um agradecimento é insuficiente, sou grata a meus pais, por tudo.

Agradeço a meu companheiro de jornada, Raphael, por todo o apoio, carinho e paciência.

Agradeço também ao professor Peduzzi por ter aceitado uma orientanda do outro lado do corredor. De outro modo, não teria tido a oportunidade de realizar este trabalho. Agradeço também pela enorme ajuda no momento de finalização da dissertação.

Deixo também meus agradecimentos aos professores Pinho, Fred e Bebeto por todos os conselhos e por terem me atendido com presteza sempre que os procurei.

Do mesmo modo, agradeço ao pessoal da secretaria: Fernando, Natália e Ângela por todo o auxílio e amizade, mesmo depois da defesa.

Registro meus agradecimentos também aos colegas com quem partilhei bons (e alguns maus) momentos, pessoalmente ou pelo Facebook. Em especial, agradeço à Marinês por todas as vezes que me ajudou – desde o projeto até a defesa.

Não posso deixar de agradecer, também, aos pesquisadores que participaram da minha pesquisa e responderam ao questionário, ainda mais em tempos de férias.

Igualmente, agradeço aos participantes da banca da defesa: professora Thays Forato e professor Santiago F. Yunes, bem como aos professores Ronei C. Mocellin e à professora Tereza C. R. de Souza, que fizeram parte da avaliação do projeto de pesquisa, por todas as sugestões e elogios que impulsionaram a melhoria do trabalho.

E, finalmente, à Capes, pelo apoio financeiro que foi dado à minha pesquisa.



## RESUMO

Dadas as incoerências históricas diagnosticadas nos livros didáticos de química em relação ao conceito de átomo, buscou-se investigar o panorama atual das produções na área de história da ciência relacionadas ao ensino de química. Em seguida, foi realizado resgate histórico do conceito de átomo, desde a antiguidade até a descoberta do elétron. Como referencial epistemológico, utilizou-se Gaston Bachelard, na obra "Les Intuitions Atomistiques". Uma vez delineados os caminhos metodológicos da pesquisa, desenvolveu-se um texto, que é objeto da pesquisa. A sua análise, por especialistas, é então apresentada, bem como as potencialidades do mesmo para o ensino de química.

Palavras-Chave: História da Ciência, Bachelard, Atomismo



## **ABSTRACT**

Given the historical inconsistencies diagnosed in textbooks of chemistry towards the concept of atom, we sought to investigate the current situation of the productions in the history of science related to the teaching of chemistry. After that, a historical rescue was conducted of the concept of atom, since antiquity until the discovery of the electron. The epistemological referential adopted was Gaston Bachelard's, "Les Intuitions Atomistiques". Once the methodological paths of the research were delineated, a text was developed, which was the object of the research. Its analysis, by specialists, is then presented, well as its potentialities for chemistry teaching.

Keywords: Science History, Bachelard, Atomism



## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	13
1. HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS E ENSINO DE QUÍMICA: CONTEXTUALIZAÇÃO E POSSIBILIDADES .....	17
2 UMA BREVE HISTÓRIA DO ATOMISMO .....	31
2.1 ANTIGUIDADE.....	32
2.2 IDADE MÉDIA.....	36
2.3 RENASCIMENTO .....	40
2.4 SÉCULOS XVII e XVIII .....	43
2.5 SÉCULO XIX – A TEORIA ATÔMICA DE DALTON E SUA REPERCUSSÃO.....	47
2.6 O FIM DO ÁTOMO INDIVISÍVEL.....	55
2.7 CONCLUSÃO.....	57
3 AS INTUIÇÕES ATOMÍSTICAS DE BACHELARD .....	61
3.1 GASTON BACHELARD – PENSADOR, PROFESSOR E AUTOR.....	61
3.2 HISTÓRIA E FILOSOFIA DO ATOMISMO.....	64
3.2.1 Primeiro capítulo da obra: Introdução.....	65
3.2.2 A Metafísica da Poeira .....	68
3.2.3 O Atomismo Realista.....	69
3.2.4 Os problemas da composição dos fenômenos....	72
3.2.5 O Atomismo Positivista .....	74
3.2.6 O Atomismo Criticista.....	77
3.2.7 O Atomismo Axiomático .....	80
3.2.8 Conclusão.....	83
3.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A OBRA .....	85
4 CAMINHOS METODOLÓGICOS .....	87

5	ATOMISMO: UM RESGATE HISTÓRICO E FILOSÓFICO PARA O ENSINO DE QUÍMICA .....	93
5.1	INTRODUÇÃO .....	93
5.2	O PRINCÍPIO DA TEORIA ATÔMICA: ANTIGUIDADE 96	
5.3	O ÁTOMO NO CONTEXTO MEDIEVAL E OUTRAS TEORIAS PARA A ESTRUTURA DA MATÉRIA .....	102
5.4	TENTATIVAS DE CRISTIANIZAÇÃO DO ÁTOMO: POLÊMICAS COM A IGREJA CATÓLICA .....	105
5.5	A QUEDA DOS ELEMENTOS DE ARISTÓTELES E O NASCIMENTO DA QUÍMICA QUANTITATIVA.....	108
5.6	INÍCIO DA ERA DO ATOMISMO CIENTÍFICO: PROPOSIÇÕES, CONFRONTOS E TEORIAS ALTERNATIVAS.....	111
5.7	O ÁTOMO EXISTE. E TEM TOMOS.....	119
5.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	122
5.9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	124
6	ANÁLISE DO TEXTO .....	127
6.1	ANÁLISE PRELIMINAR – ESTUDO PILOTO .....	127
6.2	CONCLUSÕES SOBRE A ANÁLISE PRELIMINAR .	131
6.3	ANÁLISE DO TEXTO.....	132
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	157
	REFERÊNCIAS .....	163

## INTRODUÇÃO

Uma das questões que tem merecido a atenção dos pesquisadores da área de ensino de ciências é a da história das ciências. Especialmente no ensino de química, sabe-se que a história ocupa um lugar de segundo plano. Desse modo, não surpreende que incoerências históricas sejam apresentadas nos livros didáticos de ensino médio e superior, e propagadas pelos professores nas salas de aula.

Apesar da pouca quantidade de conteúdos históricos nos livros didáticos, uma breve história do átomo e dos modelos atômicos costuma ser apresentada. No entanto, a maneira como isso é exposto leva a conclusões equivocadas sobre o desenvolvimento desse conceito. Um exemplo disso é a afirmação recorrente de que Dalton ‘revive’ o atomismo de Demócrito, o que não corresponde a realidade dos fatos. As concepções de ambos são distintas e encontram-se em contextos radicalmente diferentes. Além disso, os dois são separados por quase dois mil anos de história, uma lacuna que precisa ser observada criteriosamente, visto que não é possível que um conceito simplesmente adormeça sem qualquer razão e ressurgir repentinamente após dois milênios.

Uma falha compreensão da história da ciência leva também a concepções errôneas da maneira como ela se origina e se desenvolve, o que diz respeito aos aspectos epistemológicos. Um exemplo disso é a noção de que existe um método científico que permite alcançar todo e qualquer conhecimento. Outro problema decorrente de uma história da ciência parcamente contada é a noção de que a ciência avança de maneira linear, sem rupturas significativas no conhecimento. Outro aspecto que pode ser levantado é a idealização do cientista-gênio, que trabalha de forma isolada e tem lampejos brilhantes, fomentada indiscriminadamente pelos meios de comunicação.

Assim, torna-se indispensável realizar reflexões sobre o desenvolvimento científico à luz de filósofos que muito contribuíram para essa discussão. A superação de ideias

equivocadas sobre a ciência tem como potencial ressignificar os conceitos que são estudados, os quais passam, do ponto de vista do aluno, a adquirir uma história, um processo que levou à sua construção e que é parte de um contexto sócio-cultural que extrapola a esfera da ciência e dos cientistas. Como consequência, a ciência torna-se mais humana e ao alcance de quem se propõe a compreendê-la.

Nessa perspectiva, a presente dissertação tem como objetivo geral elaborar e avaliar um texto para professores de química que aborde aspectos históricos e epistemológicos do atomismo, da antiguidade à descoberta do elétron. Pretende-se, com isso, responder a seguinte pergunta: *Que contribuições pode ter um texto pautado em aspectos históricos e filosóficos acerca do atomismo para o ensino de química?*

A pesquisa tem os seguintes objetivos específicos:

- Delinear o estado atual da história e filosofia da química no ensino de química brasileiro.
- Investigar o processo histórico da consolidação do atomismo, contrastando-o à história contada nos livros didáticos.
- Analisar e apreender as concepções de Bachelard acerca do atomismo tendo como referência a obra “Les intuitions atomistiques”.
- Desenvolver um texto que articule as ideias de Bachelard à história do atomismo.
- Avaliar o potencial do texto produzido para uma transposição didática.

Assim, no Capítulo 1 procura-se evidenciar o panorama atual das produções na área de história da ciência relacionadas ao ensino de química, analisando trabalhos científicos, documentos governamentais e livros didáticos.

Em seguida, no Capítulo 2, é feito um resgate histórico do conceito de átomo, desde a antiguidade até a descoberta do elétron. Essa história é permeada pelo contexto social e filosófico no qual se encontrava o atomismo, mostrando seus distintos significados em cada época.

A fim de apreender o atomismo do ponto de vista epistemológico, no terceiro capítulo, são usadas como referência as ideias do químico e filósofo Gaston Bachelard, que desenvolveu uma obra específica sobre o atomismo,

denominada “*Les Intuitions Atomistiques*”. Nesse livro, o autor trata de visões filosóficas relacionadas ao conceito de átomo durante a história, da antiguidade até o início do século XX. Revela as concepções ideológicas, as diferentes roupagens que recebeu a teoria atômica segundo diversos sistemas de pensamento estabelecidos.

Dando prosseguimento a dissertação, no Capítulo 4 são abordadas as escolhas metodológicas para o desenvolvimento do trabalho.

No quinto capítulo, é apresentado o texto objeto da investigação. A sua análise, por professores e pesquisadores da área do ensino de Química, é apresentada no capítulo 6. O potencial do texto, para fins de uma transposição didática, é avaliado de acordo com os seguintes critérios: adequação da contextualização histórica, relevância dos aspectos filosóficos, conexão entre aspectos históricos e filosóficos, pertinência dos conteúdos, clareza da linguagem.



## 1. HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS E ENSINO DE QUÍMICA: CONTEXTUALIZAÇÃO E POSSIBILIDADES

Embora seu desenvolvimento esteja indubitavelmente conectado a outros campos do conhecimento, a química é uma ciência revestida de linguagens e simbologias próprias, que teve um percurso histórico singular e que contribuiu – e continua a contribuir - de maneira imensurável para o desenvolvimento humano. No ensino de química, essas particularidades devem ser contempladas a fim de que o estudante compreenda essa ciência de forma integral: sua teoria, prática e desenvolvimento.

Frente aos problemas no ensino de química – e de outras disciplinas – o governo brasileiro, por intermédio do Ministério da Educação, tem produzido documentos que visam orientar professores e instituições, como os PCN (Parâmetros Curriculares para o ensino médio, 1999), PCN+ (PCN+ ensino médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, 2002) e, mais recentemente, as OCEM (Orientações Curriculares para o ensino médio, 2006). Esses textos buscam apontar problemas e sugerir diretrizes e estratégias objetivando a melhoria do ensino e da aprendizagem em âmbito nacional.

As OCEM reconhecem que a realidade escolar ainda é marcada pelo conteudismo que restringe o aprendizado de química à reprodução dos saberes ministrados pelo professor (BRASIL, 2006. p,105). Um dos fatores de grande importância para o ensino apontado pelas OCEM de química é o da contextualização sócio-histórica, revelada pelo seguinte trecho:

Com essa abordagem, o que se pretende é levar o aluno a compreender e a reconhecer a natureza do conhecimento científico como uma atividade humana que, sendo histórica e socialmente construída, possui um caráter provisório, limitações e potencialidades, necessitando, pois, ser abordado em sua historicidade e em suas implicações na sociedade e em situações/ambientes diversificados. Nessa perspectiva, para que o currículo seja desenvolvido de forma que explicito o caráter

histórico e dinâmico da química, recomenda-se o uso de livros paradidáticos e outros, como *A ciência através dos tempos* (CHASSOT, 1994), e *Alquimistas e químicos* (VANIN, 1994), que contribuem com um conteúdo histórico da química que pode ser inserido no programa em diferentes momentos, conforme a opção metodológica do professor. A inserção de elementos de história e filosofia da ciência reveste-se de um papel essencial para que o aluno possa desenvolver uma visão abrangente da química em uma perspectiva transdisciplinar, conforme tem destacado Chassot em sua proposta de alfabetização científica. (BRASIL, 2006. p. 124)

Apesar da preocupação com a inserção de conteúdos de história e filosofia da ciência na química, cabe refletir sobre o método proposto pelas OCEM de química. A recomendação é devida ao fato de que o professor, em geral, não tem formação adequada em história e filosofia da ciência; e que os livros didáticos não contemplam adequadamente o assunto. A recomendação do paradidático é no sentido de complementar porque o professor não possui formação específica. Essas fatos são corroboradas por pesquisas na área (MATOS, 1991; VIDAL, 2009; VIANA, 2007; GIL-PÉREZ *et al.*, 2001). Sendo um documento que destina-se e impacta as instituições, bem como a atividade docente, parece surpreendente que não recomende cursos de aperfeiçoamento nem extensão desse campo do conhecimento, ainda mais levando em consideração a ênfase dada à importância desses conteúdos, classificada como “essencial”.

Cabe notar também que o documento não indica leituras referentes a periódicos e a pesquisas na Educação em ciências, de forma que é, no mínimo, estranho que o documento faça menção a autores específicos, quando poderia e deveria colocar alternativas de modo mais geral.

Outro fato que chama a atenção nas OCEM pode ser facilmente verificado no sumário do documento. Apenas a disciplina de física possui uma subseção nomeada “história e filosofia da ciência”, sendo as demais (biologia, matemática e

química), desprovidas de algo similar. Talvez isso ocorra pela iniciativa majoritária dos físicos em se envolverem com HFC (GOOD, 1999). Mas é inegável que as demais ciências possuem suas próprias epistemologias e contribuições, devendo por isso merecer igual consideração tanto na concepção como na redação de documentos oficiais.

No que tange as especificidades da química e da física, Caillot (1996) aponta que as duas matérias têm relações distintas com seus saberes, de modo que:

Nos físicos, a intelegibilidade do mundo físico e do universo é primordial, o que coloca a pesquisa científica no coração da produção do conhecimento físico. [...] Por outro lado, na química, a produção de conhecimentos científicos é inseparável da tecnologia, uma vez que seu objetivo é de transformar a matéria, o que coloca em pé de igualdade a pesquisa científica e a pesquisa tecnológica (CAILLOT, 1999).

Além da distinção generalizada de objetivos entre as duas ciências, o papel que elas possuem na economia e sociedade também é distinto, sendo que a química é conectada a uma indústria química forte e potente, sem contrapartida no campo da física. Isso se traduz, entre múltiplas consequências, em proposições curriculares mais técnicas para a disciplina de química, com o propósito de atender às necessidades de pessoal qualificado para as indústrias. Tal contexto origina, de um lado, uma disciplina voltada para o “episteme”, que é a física. E, de outro, uma disciplina mais voltada para o “techne”, que é a química (CAILLOT, 1999).

A preocupação com a história e filosofia da ciência no ensino de química é demonstrada no PCN+, constando como item da competência que diz respeito à contextualização sócio-cultural, a qual corresponde à inserção dos conhecimentos da química nos diferentes setores da sociedade, reconhecendo-a como parte de diferentes contextos históricos (BRASIL, 2002. p.92). Já os PCN são mais enfáticos na questão da história da química, afirmando que esta deve permear todo o ensino de química, possibilitando ao aluno a compreensão do processo de

elaboração desse conhecimento, com seus avanços, erros e conflitos (BRASIL, 1999. p. 31).

A história da ciência, de modo geral, tem sido objeto de investigação por diversos pesquisadores. Um dos focos de estudo tem sido os livros didáticos (VIDAL, 2009; VIANA, 2007; BATISTA, 2007, entre outros).

Em uma análise sobre a história da ciência em livros de ensino fundamental, Batista (2007) constatou que há uma predominância de textos de informação histórica, como uma leitura de segundo plano, e que são, em geral:

... apresentadas apenas as datas das descobertas e não o período de dedicação de estudo do cientista para sua conquista, levando os alunos a terem o cientista como um iluminado, e que, sem precedentes teóricos, chega a descobertas de um momento para outro. (BATISTA, 2007. p.93)

Vidal (2009) analisou seis livros didáticos de química, todos aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) de 2007 acerca dos conteúdos históricos presentes. Entre outras conclusões, o autor aponta que:

- dificilmente foram encontradas descrições de aspectos da vida pessoal dos cientistas, como consequência, retirando a dimensão humana dos personagens apresentados;
- há casos onde os cientistas são apresentados como pessoas geniais, de inteligência incomum;
- há predomínio da simples menção às ideias científicas, sem tratar da sua construção histórica;
- a informação histórica apresentada nos livros didáticos é predominantemente ligeira e superficial;
- na maioria das vezes, a evolução da ciência é descrita como um processo linear e direto;

- existe elevada incidência de que a ciência é desenvolvida pelo trabalho de personagens individuais;
- os autores não utilizam fontes primárias;
- há tendência de os livros didáticos copiarem seus antecessores – muitas vezes de maneira acrítica.
- prevalece a separação entre a informação histórica e o conteúdo químico.

No que diz respeito ao tema “atomismo”, a situação é coerente com as afirmações de Vidal (2009), que trata dos livros-textos de química. O átomo é um tema central em química, de forma que a evolução dos modelos atômicos é contemplada no programa de vestibulares e no currículo de química no ensino médio. No entanto, a abordagem que se faz é meramente ilustrativa dos modelos, relacionando brevemente seus autores e datas, mostrando a história de maneira linear.

A sequência apresentada é bastante simples: Dalton retoma diretamente as ideias de Demócrito, sem qualquer impedimento ou controvérsia, tendo aceitação ampla e imediata da comunidade científica, abordando, em seguida, os modelos atômicos de Thomson, Rutherford, Bohr, e o modelo atual (pontuado por proposições da mecânica quântica, como a dualidade onda-partícula). O mais surpreendente é a completa supressão de dois mil anos de história, entre Demócrito e Dalton, sob a alegação de que Dalton retomou as ideias do antigo grego.

Esses problemas não são exclusividade do ensino médio. Viana (2007) analisou quatro livros de química geral utilizados em larga escala no âmbito do ensino superior – RUSSEL, 1994; ATKINS, 1999; KOTZ E TREICHEL, 2002; MAHAN e MYERS, 1995 - no que diz respeito à história do atomismo e aponta que:

Alguns erros de datas, bem como informações equivocadas, sugerem que os autores nem sempre devem ter consultado fontes adequadas para a história da ciência. É importante ressaltar que nenhum dos livros estudados menciona a importância de Newton para o desenvolvimento da teoria daltoniana. Um outro ponto a ser salientado é

o fato de os livros didáticos não discutirem as conexões entre os trabalhos sobre gases do século XVIII e a teoria atômica daltoniana. Dessa maneira, as discussões referentes à primeira teoria das misturas gasosas e a regra da máxima simplicidade foram completamente esquecidas. Uma explicação plausível para essa escolha por parte dos autores é que essas ideias foram abandonadas (VIANA, 2007. p.80).

Tal fato se reproduz em livros tanto de ensino médio como de ensino superior. Autores do livro “Química fundamental”, do ensino médio, Utimura e Linguanoto (1998, p.53), declaram que “Dalton, baseado em dados experimentais, retomou as idéias de átomo e formulou a Teoria Atômica”. Seguindo raciocínio semelhante, Bianchi (2005, p.94), no livro aprovado pelo PNLD 2009/2010/2011 “Universo da Química”, afirma que “*Embora o termo átomo fosse antigo, Dalton o retomou*”.

Pires (2010) analisou, em termos históricos, livros didáticos de química do ensino médio bastante utilizados, como Feltre (2002), Usberco e Salvador (2003), e afirma que foram encontrados apenas trechos da vida dos cientistas, sem qualquer contextualização histórica.

Apesar da presença recorrente da história e das afirmações sobre o atomismo em livros didáticos, o fato é que essas colocações são permeadas de equívocos. O próprio conceito de átomo levou bastante tempo para sua plena aceitação. Discussões sobre o menor constituinte da matéria estiveram presentes em amplos segmentos desse extenso período, em consonância com o pensamento hegemônico de cada época. Particularmente, estudiosos como Gassendi, Boyle e Newton, anteriores a Dalton, propuseram explicações corpusculares para a matéria (PULLMAN, 1998). A aceitação hegemônica veio com Einstein, a partir da matematização de um fenômeno identificado por Brown em 1828.

De Demócrito a Dalton, o átomo foi considerado desde alta heresia a desacreditado por estudiosos por não ser observável (PULLMAN, 1998). De cunho religioso, metodológico, filosófico, científico e até mesmo estético, as objeções ao átomo foram inúmeras (MAAR, 2010).

Desse modo, pode-se afirmar que a história do atomismo em livros didáticos é problemática no sentido de que o que é exposto é pontual e superficial, conforme apontado por Viana (2007) : “... os autores procuram focar as ideias que “deram certo”, reforçando indiretamente a ideia de que a ciência se modifica de maneira linear e acumulativa.” Tal observação levanta grande preocupação não só com uma história da ciência distorcida, mas também sobre a própria concepção de ciência tratada, a qual, indubitavelmente, é reflexo das concepções dos autores dos livros e que negativamente se propaga por aqueles que fazem uso dos mesmos: professores e alunos. As consequências de tais equívocos são expostas por Vidal (2009):

A excessiva simplificação de relatos acerca das transformações das ideias da ciência ao longo da história pode contribuir para uma aprendizagem inadequada tanto a respeito da própria ciência quanto de seus conceitos (VIDAL, 2009. p. 29).

Dado esse contexto, há pesquisas sendo feitas com a finalidade de averiguar as concepções de ciência de professores e alunos. Melo e Rotta (2010) estudaram tais concepções no nível de ensino fundamental e constataram que:

O que se percebe é que a imagem estereotipada do cientista vai se sedimentando ao longo dos estudos, e no ensino médio essa forma de enxergar o cientista é bem mais presente do que no ensino básico. Outro fato curioso é que no Brasil ainda não são grandes os estudos sobre as concepções de ciência e cientistas na educação fundamental, sendo encontrados artigos referentes apenas a forma como a ciência é divulgada nos meios de comunicação e as concepções dos estudantes no ensino médio (MELO e ROTTA, 2010. p. 3).

Silva (2010) estudou as concepções sobre a natureza da ciência no ensino médio e constatou que as salas de aula são

rodeadas por visões de ciência que a situam como simplista, distorcida, exata e infalível. O autor também propõe que uma abordagem no âmbito da história e filosofia da ciência poderia ajudar a amenizar essa situação. Fato semelhante foi observado por Teixeira et al. (2001) ao promover discussões orientadas por textos de personagens como Galileu, Newton e Descartes em uma disciplina inicial do curso de Física da UFES, dentro do qual foram abordados aspectos históricos e filosóficos da atividade científica com professores em formação. Ao submeter os estudantes a questionários anteriores e posteriores à inserção, verificou que imagens de concepções ingênuas da ciência eram predominantes. Após o curso, constatou-se que houve mudança significativa e favorável em vários aspectos, a despeito da dificuldade de superação de algumas noções profundamente enraizadas em suas visões epistemológicas.

Como resultado de pesquisas realizadas com um numeroso grupo de professores em formação inicial e continuada, Gil-Pérez et al. (2001) encontraram várias imagens deformadas do trabalho científico. São elas:

- concepção empírico-indutivista e ateórica – na qual a observação isoladamente é o fator fundamental para as descobertas científicas, excluindo o fato de que o cientista tem hipóteses e ideias apriorísticas.
- imagem infalível da ciência – que diz respeito a existência de “um” método que levará às descobertas, de maneira algorítmica.
- visão aproblemática e ahistórica – onde são desconsiderados os problemas que deram origem às leis e teorias.
- visão exclusivamente analítica – segundo a qual os diferentes campos do conhecimento desenvolvem-se isoladamente, sem relação uns com os outros.
- visão acumulativa de crescimento linear dos conhecimentos científicos – os conhecimentos sobrepõem-se uns aos outros, de maneira linear.
- visão individualista e elitista – onde a ciência é fruto de gênios isolados
- visão socialmente neutra da ciência – trata a ciência como uma atividade humana isolada e isenta de influências sócio-culturais.

Embora as contribuições da história e da filosofia da ciência para o ensino sejam claras e bem documentadas na literatura científica atual, o fato é que a inserção desses conteúdos ainda não conseguiu o alcance desejável no ambiente escolar, nem no universitário. Matos et al. (1991), afirmam que a história da química perdeu muito da sua importância na formação dos químicos. Alguns dos motivos para isso, seriam, por exemplo, o fato de a química ser considerada uma ciência de caráter bastante prático, que não dá a devida importância a aspectos de maior profundidade epistemológica. Um outro aspecto seria a falta de planejamento dos cursos para inserir as disciplinas de história, de forma que as demais disciplinas – da área *hard* - ocupariam majoritariamente a carga horária. Matos et al. (1991) também declaram que há uma mentalidade difundida entre alunos e professores de relegar à história da química um papel secundário, de pouca importância. Um exemplo disso é o fato de que, onde as disciplinas de história da química são oferecidas, o são de forma optativa, e não obrigatória (MATOS, 1991).

Pereira e Silva (2009) apontam que a perda do interesse pela história da química data já do final do século XIX, conforme demonstrada por declarações de célebres cientistas como Ostwald, o qual era crítico do ensino conteudista que tinha tomado conta do ambiente escolar, sem levar em conta a história das ciências - e Mach – grande defensor da perspectiva cultural da ciência. Esse período é caracterizado pela influência do positivismo, sendo um dos seus princípios, o de que a ciência é concebida como uma sequência de fatos, relegando um papel secundário às preocupações de caráter humanístico. Já nos anos 20 e 30, no contexto inglês, houve grande preocupação com o analfabetismo científico da população, de forma que o ensino de ciências intensificou-se e preocupou-se com a história das ciências. Esse panorama mudou no período pós-guerra, onde a educação foi direcionada para a formação de cientistas. Aliada à influência do behaviorismo, a história da ciência deixou de ser importante nos currículos (PEREIRA; SILVA, 2009). No que diz respeito ao Brasil:

o mesmo ocorreu em nosso país durante a década de 30. O currículo das

escolas, que era predominantemente humanístico devido a herança recebida da educação jesuítica, passou a dar maior ênfase as disciplinas de ciência em consequência do processo de industrialização. (PEREIRA; SILVA, 2009. p. 5).

A industrialização do país foi crescente, e, sob o comando dos governos ditatoriais, foram perseguidos os objetivos de formar técnicos e pessoas qualificadas especificamente para o trabalho, dando origem ao que se conhece como “tecnicismo”. A disciplina de química não passaria ileso de tais influências:

Muitos educadores, durante a década de 1970, apoiados na ideia de que ensinar consistia em fornecer o estímulo adequado para que se obtivesse dada resposta, passaram a elaborar materiais didáticos selecionando aqueles conteúdos que poderiam ser transformados em questões de múltipla escolha. Isto acarretou em uma simplificação excessiva do conteúdo de química, já que em nome de uma pretensa objetividade buscou-se afastar elementos subjetivos.

Nos primeiros livros didáticos de química, editados em nosso país, havia textos bem elaborados, que introduziam os conceitos inicialmente por meio de exemplos, deixando as generalizações para uma etapa seguinte, além do que faziam referências a tópicos ligados à filosofia da ciência.

Em oposição, os livros da década de 1970 passaram a apresentar o conteúdo por meio de textos resumidos e esquemas gráficos, que levavam o aluno a uma leitura já direcionada, induzindo-os a somente memorizar os conceitos. (PEREIRA; SILVA, 2009. p. 7).

Entende-se, portanto, que o contexto sociocultural, aliado aos interesses governamentais de fomento à indústria e ao crescimento econômico, tiveram grande influência na educação

em química e na própria formação dos químicos por preconizar conteúdos desprovidos de contexto histórico. Cabe ressaltar, que até mesmo pela proximidade temporal desses fatos e pela manutenção de interesses de crescimento econômico, essa herança ainda se faz sentir nos contextos universitários e escolares, de modo que faz-se necessário o resgate da história da química enquanto assunto de relevância e importância para a formação do químico.

No que diz respeito à filosofia, uma ideia bastante aceita na comunidade científica é a de que os químicos, em geral, possuem pouco interesse pela filosofia da ciência (GOOD, 1999). Good (1999) aponta que esse desinteresse vai tanto na direção dos químicos como dos filósofos da ciência, os quais, em tempos modernos, raramente dedicaram-se aos problemas da química, tomando a física como ciência-modelo para suas análises, afirmando que, sem dúvida, os físicos são a origem dessa opinião.

De maneira surpreendente, o autor afirma que um dos maiores propulsores desse desinteresse para com a filosofia é justamente a questão dos átomos. Entre as razões para esse fenômeno, encontra-se o fato de que os filósofos da ciência atuais são fenomenalistas e anti-realistas, mas o realismo ainda atrai os químicos. O fato é que tal desdém pela filosofia da ciência levou os químicos a estarem inconscientes a respeito de sua própria metodologia (GOOD, 1999).

Martins (2007), em pesquisa com professores de ensino médio, majoritariamente físicos, buscou diagnosticar os motivos pelos quais a inserção de história e filosofia da ciência, embora a necessidade de sua inserção seja praticamente consensual, dificilmente alcance as salas de aula. Sua pesquisa revela que o principal obstáculo é a falta de material didático adequado, sendo pouca a presença desse tipo de conteúdo nos livros existentes. São apontadas também (em ordem de quantidade de citações mencionadas pelos professores): as limitações curriculares, falta de tempo e a resistência de alunos e membros da escola, apegados ao ensino tradicional. Em quinto lugar, aparece a falta de preparo do professor, ou seja, a deficiência de sua formação inicial. Outro fato apontado pelo autor é de que a HFC é vista como um tipo de conteúdo a ser usado como introdução a um assunto, em detrimento de ser parte integrante do desenvolvimento do assunto, de modo que há um abismo entre o

valor atribuído a esse assunto e sua efetiva utilização como conteúdo e estratégia didática no ensino médio. Em outras palavras, a HFC é pensada como algo periférico, secundário, como uma ilustração.

Pereira e Martins (2011) relatam em um estudo de caso, que os professores que lecionam disciplinas de história e filosofia da ciência em âmbito universitário não possuem formação específica na área, sendo o interesse oriundo de motivações pessoais e profissionais. Comparando proposições curriculares da história da física e química, evidenciam que a primeira procura envolver elementos históricos, sociológicos e filosóficos, enquanto a segunda procura enfatizar uma discussão pautada em elementos da história conceitual da química. Como conclusões, os autores apontam que os professores mostram interesse no uso da história da ciência no ensino médio, embora o conhecimento a esse respeito não seja garantia de utilização nas salas de aula de educação básica

Somando a defasagem mútua em filosofia e história da ciência, não é de todo estranho que os livros de química – em todos os níveis de ensino – sejam povoados com incoerências históricas apresentadas de maneira extremamente pontual. A reprodução de tais ideias também não espanta, visto que, como não há formação nem interesse coletivo o suficiente nesses aspectos, as histórias contadas são passadas sem senso crítico para transformar esse panorama.

Em face da problemática apresentada, há que se reconhecer que a proposta de inserção didática de aspectos históricos e filosóficos acerca do atomismo em um curso de química representa um desafio. Observa-se uma recorrente conclusão de que a história mostrada nos livros didáticos é pontual e que não contribui de fato para uma visão ampla acerca do desenvolvimento científico. Pelo contrário: uma má história da ciência pode levar a equívocos não só no que concerne ao conceito estudado, como também a uma noção errônea da concepção de ciência (VIDAL, 2009).

Peduzzi (2005, p. 158) afirma que a história da ciência pode, entre outros aspectos:

- Incrementar a cultura geral do aluno, admitindo-se, neste caso, que há um valor intrínseco em se compreender certos

episódios fundamentais que ocorreram na história do pensamento científico [...];

- Desmistificar o método científico, dando ao aluno os subsídios necessários para que ele tenha um melhor entendimento do trabalho do cientista;

- Mostrar como o pensamento científico se modifica com o tempo, evidenciando que as teorias científicas não são “definitivas e irrevogáveis”, mas objeto de constante revisão;

- Chamar a atenção para o papel de ideias metafísicas (e teológicas) no desenvolvimento de teorias científicas mais antigas;

- Contribuir para um melhor entendimento das relações da ciência com a tecnologia, a cultura e a sociedade;

- Tornar as aulas de ciência [...] mais desafiadoras e reflexivas, permitindo o desenvolvimento do pensamento crítico;

- Propiciar o aparecimento de novas maneiras de ensinar certos conteúdos;

- Melhorar o relacionamento professor-aluno.

Pesquisadores em ensino de ciências têm exposto propostas de sucesso com o uso da história da ciência em sala de aula. Oki (2006) relata o trabalho em uma disciplina da história da química com alunos do curso de química, abordando questões epistemológicas, além das históricas. A autora afirma que muitas concepções simplistas e ingênuas sobre a natureza da ciência estavam presentes entre os alunos no início do curso, e que algumas delas permaneceram mesmo ao fim da disciplina. Ainda assim, Oki (2006) aponta as conquistas alcançadas: reconhecimento da historicidade do conhecimento científico e de uma maior flexibilização nos critérios de demarcação da ciência, percepção de que a credibilidade da ciência não decorre da utilização de um método científico rígido e estruturado, maior compreensão da dinâmica da atividade científica e do seu caráter coletivo. Além disso, a autora afirma que:

... o estudo histórico-epistemológico de um conceito científico ajuda na sua compreensão porque possibilita ao aluno adquirir uma melhor ideia do trabalho de construção da ciência. A contextualização histórica dos conceitos científicos amplia a percepção do seu domínio de validade e as filosofias subentendidas em cada conceito reveladas na maturação filosófica do pensamento científico (OKI, 2006. p. 378).

Resultado similar foi encontrado por Reis (2011) em pesquisa com graduandos de química, o qual afirma que os alunos já na graduação possuem a percepção de que o uso da história da química contribui para a compreensão dos conteúdos, e que pode ser uma ferramenta relevante para a contextualização e que deve ser empregada no ensino de química, fazendo parte da prática docente.

## 2 UMA BREVE HISTÓRIA DO ATOMISMO

Dada a problemática apresentada no Capítulo 1, no que diz respeito à questão do atomismo nos livros e no ensino de química, faz-se a seguir uma abordagem histórica desse conceito, da antiguidade à descoberta do elétron. Por envolver um longo período, admite-se que não é possível tratar das ideias, dos conceitos e de seus autores com toda a profundidade desejada. As referências indicadas no texto visam suprir, em parte, essa lacuna, encaminhando o leitor interessado no maior detalhamento de certos temas a obras específicas.

Com esse resgate histórico, busca-se evidenciar que existe uma historicidade do conceito de átomo, ou seja, que o átomo tem uma história, e que essa história difere substancialmente daquela que é retratada nos livros didáticos. Além disso, tem-se a intenção de destacar que a ciência não é uma construção linear, de modo que, em seu desenvolvimento há controvérsias e diferentes aceções acerca da estrutura da matéria e do conceito de átomo, e também que em cada época existe uma filosofia hegemônica, isto é, diferentes filosofias tiveram influência nas questões referentes à atomística. Por fim, objetiva-se estabelecer que o atomismo é um tema complexo e não pode ser devidamente tratado sem levar em conta a densa trama de aspectos conceituais, epistemológicos e ontológicos de seu desenvolvimento.

Ademais, o texto procura fazer, indiretamente, um contraponto a certas imagens deformadas do trabalho científico, descritas por Gil-Pérez et al (2001). Mais precisamente, visa mostrar que a ciência:

- não é fruto apenas da observação e experimentação,
- não é consequência de uma acumulação linear de conhecimentos,
- não é obra de um gênio isolado,
- não fica restrita às suas áreas de conhecimento, sendo uma construção de cooperação multidisciplinar,
- tem uma história e se origina de problemas pertencentes a cada contexto,

- influencia e é influenciada pelo seu contexto sócio-político.

Tendo em vista esses propósitos, fez-se uma divisão do estudo a seguir em sete partes. Na Antiguidade, pretende-se resgatar os primórdios da teoria atômica, seus fundamentos, primeiros pensadores e teorias concorrentes para a constituição da matéria. Na Idade Média, objetiva-se mostrar a visão ocidental, sob a influência da Igreja Católica sobre o tema, seguido pelo Renascimento, no contexto de abertura científica e cultural. Nos séculos XVII e XVIII, tem-se o intuito de apresentar o estado da ciência química e das primeiras tentativas de demonstrar que o mundo seria composto de corpúsculos. Já no século XIX, visa-se expor as ideias atomísticas de Dalton, bem como a repercussão que elas tiveram à sua época e os entraves à sua aceitação. Em seguida, são abordadas as consequências da consolidação do átomo como ente fundamental da matéria, e a descoberta da sua primeira partícula: o elétron. Encerra-se o capítulo com uma breve conclusão, na qual é feita uma reflexão sobre a história relatada.

## 2.1 ANTIGUIDADE

O que somos nós? O que é a vida? Para onde vamos? De onde viemos? Do que é feito o mundo? Não se sabe quando o ser humano começou a fazer esses questionamentos, mas em dado local, em um determinado período da história, elas foram sistematizadas e soluções foram propostas de um modo tal que ressoam na ciência e filosofia ocidentais modernas. Isso data da época de cerca de 600 a.C., quando o pensamento dos filósofos denominados pré-socráticos começou a impactar a sociedade das cidades-estado que compunham o que hoje denominamos de Grécia. Suas indagações incluíam a origem, a natureza e as transformações da matéria, e sua relação com o divino (MAAR, 2008).

Dentre todas as civilizações da antiguidade, cabe ressaltar que não é uma casualidade que o pensamento tenha se desenvolvido com tanta florescência na Grécia. Pullman (1998)

lista quatro fatores que contribuíram para a constituição desse panorama:

1) Fator geográfico: as cidades-estado que compunham o território grego encontravam-se na rota que ligava o ocidente ao oriente. Assim, o tráfego frequente de viajantes permitiu inúmeras influências intelectuais.

2) Fator etnográfico: diz respeito à miscigenação cultural consequente das múltiplas influências estrangeiras em ação no contexto grego.

3) Fator econômico: dada a sua localização geográfica, não é estranho que o comércio fosse uma atividade bastante presente, que trouxe prosperidade econômica à região.

4) Fator sociopolítico: relaciona-se ao estabelecimento de uma rede de cidades-estado que cooperavam e debatiam seus interesses, em uma atmosfera de abertura intelectual e tolerância, e que escapava da interferência religiosa dogmática – fato singular na época. Essa configuração deu início à democracia, diferente da tirania e centralização do poder vividas por outros povos, como os egípcios.

Portanto, é possível afirmar que a Grécia agregou em seu território aspectos particulares e únicos para a época, e que realmente fomentaram a frutífera produção intelectual.

Retornando às questões que foram colocadas no início do texto, a mais pertinente para o presente estudo é “Do que é feito o mundo?”. É possível admitir que, olhando para a natureza nas suas mais diferentes formas e manifestações, essa pergunta é imensamente difícil de ser respondida. Afinal, de que matéria primordial, do quê realmente é constituído tudo aquilo que vemos, sentimos e somos? Teorias para responder à questão não faltaram. Thales de Mileto (624 a.C. – 544 a.C.) propôs que a água seria a matéria primordial, da qual, originaria o fogo, o ar, a terra e tudo no universo. Já Anaxímenes (585 a.C – 525 a.C.), pensou de forma similar a Thales de Mileto, porém, adotando o ar como princípio fundamental, de modo que água, terra e pedra seriam, por exemplo, condensações consecutivas deste elemento, e, a rarefação do ar, levaria ao fogo. Houve ainda quem pensasse que terra seria o princípio fundamental – Xenófanes de Colôfônia (560 a.C. – 476 a.C.), e quem propusesse simplesmente que todos os quatro elementos eram

os constituintes dos objetos e dos seres, como Empédocles (490 a.C. – 430 a.C.) (MAAR, 2008).

Ainda na questão da composição de todas as coisas, Leucipo teve uma ideia que fugia do apelo sensível dos elementos de seus antecessores. Ele imaginou que o mundo seria feito de partículas muito pequenas, com variadas formas geométricas, fora do alcance dos sentidos e que, através de sua combinação, formariam tudo que há no universo. Essas partículas ele denominou de “átomos”, uma palavra que significa, em grego, indivisível (LUCRÉCIO, 2001). Mas, o que haveria entre um átomo e outro? A resposta é simples: o vazio. Leucipo imaginou que os átomos seriam indestrutíveis, imutáveis e estariam em contínuo movimento no vácuo. Ele foi o mestre de Demócrito de Abdera (460 a.C – 370 a.C), que teve o mérito de sistematizar o pensamento de Leucipo, fazendo dele uma verdadeira Teoria Atômica (MAAR, 2008). Um terceiro atomista importante no contexto da Grécia antiga foi Epicuro (341 a.C. – 270 a.C.), que adicionou aos átomos o conceito de peso para justificar o fato de que os objetos caem em direção ao chão. Ainda assim, os átomos deviam possuir liberdade para se movimentarem, e, por isso, Epicuro elabora o conceito de *clinamen*, que seria uma espécie de *energia* que manteria os átomos em constante movimento (PULLMAN, 1998).

Conceitualmente, parece que as diferentes visões sobre a constituição do mundo não provocariam mais do que elegantes desacordos entre os pensadores. Mas a realidade é que as questões relativas a esse assunto suscitam uma problemática maior e mais complexa, que diz respeito a um criador do universo, e, também, de seus propósitos. O atomismo grego não era um conceito isolado na tentativa de explicar o mundo, era parte integrante de sistemas filosóficos maiores.

Nesse sentido, é pertinente observar o pensamento de Epicuro. Esse filósofo ficou conhecido como aquele que queria livrar os homens do medo da morte e da ira dos deuses. Ele propunha que não há vida após a morte, de modo que, após o falecimento, os átomos do corpo e da alma se desintegram, sendo entregues ao acaso e chocando-se em colisões aleatórias. Com a sua filosofia estritamente materialista, Epicuro propõe, por exemplo, que os homens devem aproveitar a vida ao máximo, contentar-se com pouco e viver de maneira simples (PULLMAN, 1998). O atomismo, nesse modo de pensar, justifica a

materialidade da vida, simplifica-a em fenômenos físicos e exclui a existência de um ser superior e criador, na medida em que os átomos *sempre* existiram e estão colidindo ao acaso, livres no espaço vazio

O poeta-filósofo romano Lucrécio (95 a.C – 55 a.C) propaga o pensamento grego e expõe, em sua famosa obra “*De Rerum Natura*” (Sobre a natureza das coisas), as ideias atomistas de Demócrito e Epicuro. A obra é composta de seis livros, sendo que o primeiro estabelece os princípios básicos do atomismo, e, o segundo, os movimentos, propriedades e combinação dos átomos. Os demais, tratam de assuntos como a natureza mortal da mente e espíritos, explicações sobre o pensamento e sensações, e fenômenos celestiais e terrestres (LUCRÉCIO, 2001).

No entanto, apesar dos esforços e da abstração afiada dos atomistas, a realidade é que “... os gregos não aceitavam e até mesmo ridicularizavam o atomismo” (MAAR, 2008). Seria então, a vez de outro grego propor uma teoria que melhor se adequasse ao pensamento de seus contemporâneos.

Aristóteles (384 a.C – 322 a.C.), desacreditava naquilo que os atomistas tinham como princípio: o vazio, o acaso, e a indivisibilidade da matéria. Ele desenvolveu um sistema cosmológico complexo, no qual o mundo sublunar seria composto de quatro elementos (ar, terra, água e fogo), e o mundo supralunar, constituído por éter. Em grande parte, a rejeição ao vazio é relacionada aos princípios de Aristóteles para o movimento dos corpos. Segundo Pullman (1998): “Aristóteles estava convencido de que não apenas era desnecessário insistir no vazio, como que o movimento no vazio era, na realidade, impossível”. Uma das razões para isso era a de que, um corpo, se lançado no vazio, não teria nada que o freasse, e, portanto, jamais pararia. Como não é isso que se observa na realidade, Aristóteles conclui que o vazio não existe, e, se essa proposição é tomada como verdadeira, os átomos não existem por consequência.

Além disso, Aristóteles acreditava que o mundo era produto de uma intenção racional de um ser superior, visão claramente contrastante com a dos atomistas (PULLMAN, 1998). Leucipo e Demócrito eram deterministas e materialistas, de modo que acreditavam que o mundo era resultado de leis naturais, sem

procurar explicações para um propósito ou causa final, como Aristóteles e Platão (CALIFANO, 2010).

As proposições de Aristóteles difundiram-se amplamente, tendo ressoado por aproximadamente 2000 anos, apesar das críticas sofridas durante esse período por diversos pensadores (MAAR, 2008), embora de forma descontínua na baixa Idade Média.

Os fatos históricos que se seguiram determinaram a extensão e a influência da herança cultural grega até os dias presentes: os romanos invadiram a Grécia, incorporando características importantes do pensamento grego, e espalhando-o pelo resto da Europa, à medida que iam conquistando o resto do continente.

Apesar da grande influência que o pensamento grego exerceu por todo o ocidente, cabe mencionar que outros povos tinham suas próprias ideias para a constituição e origens do universo. No que diz respeito ao atomismo, é imprescindível ressaltar que essas ideias também despontavam no longínquo território da Índia por volta do século VI a.C. A questão sobre se os indianos influenciaram os gregos (ou o contrário), ou se esses processos ocorreram de forma independente ainda é motivo de debate entre historiadores (HORNE, 1960). De todo modo, o fato é que o atomismo desenvolveu-se na Índia, mas com a diferença de ser agregado a sistemas teológicos, ainda na tentativa de explicar a matéria e suas origens. Além disso, a filosofia Vaisheshika, por exemplo, propunha uma forma de atomismo segundo a qual os conteúdos de todos os objetos do universo eram reduzidos a um número finito de átomos, distinguindo-se dos infinitos átomos gregos. (CALIFANO, 2010).

No contexto medieval, os Árabes também desenvolveriam uma forma própria de atomismo que teria como propósito a exaltação da presença de Deus.

## 2.2 IDADE MÉDIA

A Idade Média é caracterizada, no ocidente, pela hegemonia do cristianismo e pelo grande poder sócio-político que a Igreja Católica deteve nesse período. Desse modo,

enquanto sistema religioso e filosófico dominante na Europa, posicionou-se incisivamente frente aos costumes e ideias que circulavam na época, incluindo-se as ideias dos pensadores gregos. Sendo sua referência principal os ensinamentos bíblicos, mostrou aversão quanto a noção de entidades indivisíveis ou de qualquer substância primordial da qual tudo seria formado (PULLMAN, 1998).

Dentre as ideias lançadas pelos grandes filósofos da Antiguidade, e no que diz respeito ao quesito “composição da matéria”, a Igreja tinha maior afinidade com as proposições de Platão e Aristóteles, que também rejeitavam o atomismo e uma única matéria primordial, de modo que a influência de Platão foi mais significativa até o século XII, e a de Aristóteles, desse período em diante. Esse fato tem origem na interpretação de São Tomás de Aquino sobre o mistério da transubstanciação que ocorre na Eucaristia, e tem como consequência a “cristianização” do grego e ampla aceitação de suas ideias entre o clero (PULLMAN, 1998)

Por outro lado, uma filosofia que tem por princípio livrar os homens do medo da morte, falar em partículas que existem sem um criador e que se movem aleatoriamente não é exatamente compatível com os interesses do cristianismo abundantemente disseminado na Europa. Assim, não é de se estranhar que a teoria atômica tal qual proposta por Epicuro tenha sido considerada alta heresia por parte da Igreja Católica.

É interessante apontar o impacto cultural que causaram tais objeções à teoria atômica. Dante Alighieri, em sua mais famosa obra, *A Divina Comédia*, retrata a viagem de um homem do inferno ao paraíso, passando pelo purgatório, em busca de Beatriz, figura que representa a virtude e o bem supremos. Como homem bastante fiel às crenças do catolicismo, retratou a história de acordo com os princípios bíblicos e colocou nos distintos níveis as pessoas conforme as suas ações. Por exemplo, os santos encontravam-se no paraíso. Os assassinos, no inferno. Todos aqueles que nasceram antes de Cristo, bem como as crianças que morrem antes de serem batizadas, tiveram o limbo como destino. Como os filósofos da antiguidade são antecessores ao nascimento de Cristo, eles também lá se encontram. Nesse cenário, uma alma destaca-se dentre as outras:

Olhando um pouco à frente vi o imortal  
Mestre de todo saber  
Sentado em reunião filosfal.  
Honrarias todos vão lhe oferecer;  
Sócrates vejo entre eles e Platão  
Mais próximos que os outros, a o entreter.  
(Alighieri, 1998. p. 47)

A figura em questão é a de Aristóteles, tratada por Dante com toda a pompa literária e sendo bajulado por outros filósofos. Tal retrato mostra como eram intensos o respeito e a presença do pensamento aristotélico no contexto medieval.

No entanto um filósofo não foi para o limbo. Epicuro – por desdenhar da presença e interferência divinas – foi posto no inferno, mais precisamente, no círculo (uma espécie de subnível do inferno) dos hereges. Tal atitude demonstra a enorme repulsa pelas ideias desse filósofo. É curioso notar que até mesmo Demócrito foi posto no limbo; mas por embutir tão avidamente pressupostos contrários à religião e vida após a morte, Epicuro era considerado uma espécie de herege-mor, padecendo, portanto, no inferno, segundo o pensamento de Dante e em consonância com o cristianismo da Idade Média.

Como ocorreu com outros ramos da atividade científica, a especulação sobre a composição do universo foi proibida, dado que a “verdade” já tinha sido descrita por Aristóteles e incorporada ao pensamento cristão.

No entanto, os escritos deixados pelos antigos filósofos gregos e seus discípulos não haviam sido perdidos, de modo que ainda era possível encontrá-los no ambiente medieval europeu. Paradoxalmente, as ideias de Demócrito e Epicuro sobreviveram pelas críticas de Aristóteles à teoria atômica, o que permitia o contato e até mesmo a ressurreição das teses antigas, no sentido de dar-lhes uma relevância perdida. Tal foi o caso de William de Ockham (1300-1350), um monge franciscano inglês, que criticou severamente a física de Aristóteles e postulou que a matéria deveria ser composta de partículas elementares (PULLMAN, 1998). Contudo, no contexto europeu medieval, suas ideias não tiveram espaço para florescimento, sendo sua obra condenada em 1340 pela Igreja. Nicholas de Autrecourt (1300-1350) também foi um entusiasta do atomismo, e, como Ockham, criticou a física aristotélica, aconselhando que se observasse a

natureza e recusasse a autoridade dos professores. Não surpreende que o destino de suas ideias tenha sido a fogueira. Em 1347 foi forçado a renunciar suas teses publicamente e queimou seus escritos.

Simultaneamente, no oriente médio, o atomismo propagava-se, mas de uma forma diferente: um importante objetivo do atomismo árabe era afirmar a onipotência de Alá, exibindo assim um forte vínculo com religião, em completa oposição ao atomismo grego. Enquanto o cristianismo e o judaísmo execravam as posições atomistas, o Islã foi a primeira religião monoteísta a conciliar a crença em Deus com uma visão corpuscular da matéria, criticando, também, a física de Aristóteles (PULLMAN, 1998).

Além disso, no âmbito da Alquimia, houve o desenvolvimento da teoria enxofre-mercúrio, segundo a qual metais seriam compostos de uma combinação de enxofre e mercúrio, de autoria do árabe Jabir ibn Hayyan (722-804) como complemento aos quatro elementos aristotélicos. (MAAR, 2008). Mais tarde, o médico Paracelso (1493-1541) adota o *tria prima*, de forma que os metais seriam compostos desses dois elementos, mais o sal, e o aplica na medicina, que atribuindo as doenças a um desequilíbrio desses três princípios.

Sobre o trabalho como químico-médico, Peduzzi (2005) afirma que Paracelso:

... concebe o tratamento de doenças do corpo humano pela ingestão de remédios à base de uma farmacologia química. Supostamente, processos e transformações químicas no interior do organismo explicariam a cura. A experimentação em um campo novo, sem bases teóricas claras, com frequência desencadeava a morte do paciente. Esse andar às cegas, de tentativas isoladas de acerto com base na correção de erros, é característico de um período que antecede a química moderna (PEDUZZI, 2005. p. 35).

Paracelso, tal como os árabes, relacionou o enxofre à propriedade da combustibilidade, o mercúrio à volatilidade e o sal à incombustibilidade (MAAR, 1998). Assim, a febre, por exemplo,

seria um excesso de enxofre, que deveria ser equilibrada pelo consumo de sal.

## 2.3 RENASCIMENTO

Por volta do século XVI, a Igreja Católica começa a perder espaço e poder no cenário europeu, fato decorrente especialmente das reformas protestantes que despontaram nesse período. Como consequência desse declínio, o controle que essa instituição tinha sobre o pensamento e o desenvolvimento científico começa a enfraquecer, originando o período que hoje se conhece como Renascimento.

Como em diversos ramos da ciência, a questão da composição da matéria volta à tona. E, com ela, a hipótese atômica. Nesse novo contexto, em processo de abertura, ocorre a iniciativa do padre francês Pierre Gassendi (1592-1655) de trazer o átomo ao pensamento da época, aliando-o aos princípios cristãos. Para isso, começou reabilitando a filosofia de Epicuro. Por exemplo, os átomos teriam sido criados por Deus, de forma que permanecem sob a ação e vontade do Criador (PULLMAN, 1998). Ou seja, abandonou princípios dos atomistas antigos que conflitassem com a filosofia cristã. Além disso, do mesmo modo que outros atomistas, criticou a física aristotélica.

Outro personagem merece destaque na discussão dos atomistas. Amplamente conhecido por seu trabalho como físico-matemático e pelo seu infeliz conflito com a Igreja, Galileu Galilei (1564-1642), nascido na Itália, também esteve envolvido nas polêmicas relacionadas ao átomo. Juntamente com contribuições de outros estudiosos, fez observações que questionavam o sistema cosmológico proposto por Aristóteles. Tycho Brahe, por exemplo, associou o surgimento de uma estrela e a passagem de um cometa a fenômenos que ocorreriam em ambiente fora da Terra, o que era incompatível com as ideias do antigo grego.

Além de estudos marcantes na área da mecânica, uma das principais contribuições de Galileu deu-se na investigação do céu com o uso do recém-inventado telescópio, o qual foi sendo aperfeiçoado pelo italiano na medida em que suas pesquisas progrediam. Suas observações forneceram evidências que

davam suporte à teoria heliocêntrica de Copérnico, motivo pelo qual atribui-se seu conflito com o clero (PEDUZZI, 2008).

Em 1982, Pietro Redondi descobriu, nos arquivos secretos do Vaticano, um documento que aparenta ser uma denúncia de heresia contra Galileu, acusando-o de endossar o atomismo. A tese de Redondi (1991) é que esta pode ter sido a real causa do choque com a Igreja, sendo a questão cosmológica um bode expiatório usado para evitar a disseminação das ideias atomísticas entre o povo:

Não era o desenvolvimento do conhecimento científico enquanto tal que provocava medo. A astronomia, por exemplo, não causava medo e os jesuítas haviam demonstrado melhor do que ninguém que se podia ser católico tridentino<sup>1</sup> e antiptolomaico em astronomia, com teorias muito mais modernas e refinadas do que as observações da discutível teoria copernicana. Em física, no entanto, não era possível ser católico tridentino e antiaristotélico, ao menos do ponto de vista de quem achava a defesa dos dogmas da religião tridentina o objetivo principal de sua vocação religiosa e da própria atividade intelectual (REDONDI, 1991. p. 319).

Embora essa versão da história seja controversa entre historiadores, é fato que Galileu aderiu abertamente às ideias de Demócrito e Epicuro, de modo que trechos de seus escritos nesse sentido podem ser encontrados nas obras *Il Saggiatore* e *Dialogue*. Redondi (1991) expõe de maneira clara a grande objeção da Igreja ao atomismo:

O atomismo não é conforme com a doutrina católica do cânone 2 da XIII sessão do Concílio de Trento. [...] Se a substância corpórea é composta de “átomos sensíveis”, isto é, se são átomos de uma substância que produzem seus efeitos sensíveis, então,

---

<sup>1</sup> “Tridentino” se refere ao Concílio de Trento (1545-1563), que unificou a prática litúrgica na Igreja Ocidental.

dato que na eucaristia são sensíveis as aparências do pão e não as do corpo de substância do pão, como no fogo – segundo Galileu, há átomos de fogo, não a substância do corpo de Cristo, o que é falso (REDONDI, 1991. p. 349).

Ou seja, o problema reside justamente na articulação das ideias da Igreja às aristotélicas, conforme exposto anteriormente. Dada a popularidade da obra de Galileu e da necessidade de evitar um maior alastramento das ideias atomísticas do estudioso, a estratégia apologética e científica da Companhia de Jesus contra o grande adversário, segundo Redondi (1991) seguiu basicamente três direções:

- 1) Desacreditar a enorme autoridade científica conquistada por Galileu em astronomia, explorando todas as vantagens que se podiam tirar da condenação de suas convicções copernicanas.
- 2) Fazer oposição à geometria dos indivisíveis.
- 3) Objetar-se à ideia do recém-descoberto vazio, especialmente pelos experimentos de Evangelista Torricelli.

A ideia do vazio era um ponto de altíssima importância que fosse refutado, uma vez que, mesmo se não se podia mais falar de átomos, era sempre uma maneira de estar mais próximo de Demócrito do que de Aristóteles (REDONDI, 1991).

Na Itália, terra de Galileu, a influência da Igreja ainda se fazia sentir de maneira bastante contundente, restando a ele negar, após sua condenação, publicamente suas ideias – no caso, sua adesão a Copérnico – e pagar a pena de prisão domiciliar perpétua.

Giordano Bruno (1548-1600), outro italiano, trinta e três anos antes de Galileu ser condenado, teve um destino mais trágico por heresias semelhantes às de Galileu. Bruno era um atomista entusiasta, embora acreditasse que entre um átomo e outro houvesse o éter, em vez do vazio proposto pelos atomistas antigos. Defendendo o universo infinito, rejeita as proposições de Aristóteles, especialmente as referentes à cosmologia, como a hierarquia entre mundo celestial e sublunar. Apesar de sua

crença em Deus, Bruno manifestou uma espécie de panteísmo pessoal e questionava alguns dogmas da Igreja, como o conceito de pecado original. (PULLMAN, 1998). Tudo isso o colocou em rota de colisão com a Igreja, sendo acusado de heresia e pagando pelos seus “pecados” com a vida.

Já do lado protestante da Europa, a ciência desenvolvia-se com um pouco mais de liberdade. O país que destaca-se nesse sentido é a Inglaterra, que separa-se da Igreja Católica no século XVI sob as ordens de Henrique VIII, que toma essa atitude drástica pelo desejo de divorciar-se de sua esposa e casar-se novamente, na esperança de ter um herdeiro, já que a primeira mulher não lhe tinha dado um. Apesar da constante tensão religiosa pela qual passou o país nas décadas que se seguiram, a perseguição científica não era tensa como nos países onde a presença da Igreja era fortemente sentida, como na Espanha e na Itália.

No que diz respeito à alquimia, embrião místico da ciência química, no século XVII havia chegado ao limite, no sentido de que as teorias da época não davam qualquer explicação satisfatória para as relações entre a imensa quantidade de substâncias conhecidas e suas reações (SIEGFRIED, 2002). A busca pela transmutação dos metais em outro, a pedra filosofal e o elixir da vida eterna haviam falhado. Apesar de suas contribuições em termos de equipamentos (vidrarias), métodos (destilação) e substâncias (conhecimento do comportamento dos metais, caracterização do álcool e de ácidos inorgânicos) para a química, suas características ocultistas eram objeto de rejeição por parte daqueles que buscavam uma metodologia mais rigorosa em termos teóricos para o entendimento das transformações da matéria. Desse contexto, uma ciência nasceria.

## 2.4 SÉCULOS XVII E XVIII

A prática química que se desenvolvera até esse período é marcada pela aquisição de inúmeros fatos, ou seja, muitos dados sobre reações, tipos de compostos e suas reações. No entanto, uma teoria que explicasse tamanha multiplicidade de dados não havia sido encontrada, de modo que cada químico tinha sua

teoria particular e nenhum sistema geral ainda tinha sido delineado. Assim, a ciência química do século XVIII pode ser entendida como em período de adolescência, um período de transição, de evolução, de modo que regras básicas, definições, limites e procedimentos ainda estavam sendo desenvolvidos (SIEGFRIED, 2002).

Esses dois séculos foram marcados por figuras importantes, sendo que uma delas é Robert Boyle (1627-1691), que revela-se como um atomista cristão. Embora fosse partidário do atomismo, foi militante na luta contra a disseminação do ateísmo que ameaçava insurgir na Inglaterra naquela época (PULLMAN, 1998). Entre o estudo de obras de outros pensadores, seu interesse sobre a teoria atômica é especialmente conectado à leitura das obras de Gassendi, elaborando sua própria “teoria corpuscular”. Assim como seus antecessores, era crítico da doutrina aristotélica. Boyle teve grande contribuição para o campo da química com a obra “*Sceptical Chymist*”, que, para alguns historiadores é considerado o marco inicial desta ciência, na medida em que preconiza parâmetros rígidos para a química. Suas contribuições principais podem ser enumeradas da seguinte forma:

- Percebeu que a química merece ser estudada por ela própria, não apenas como uma ciência auxiliar da medicina, ou como Alquimia (embora acreditasse na transmutação);
- Introduziu na química um método experimental rigoroso;
- Apresentou uma definição clara de “elemento”, e mostrou experimentalmente que nem os quatro elementos de Aristóteles, nem os três princípios dos alquimistas paracelsianos são elementos. (PARTINGTON apud MAAR, 2008).

Era de se esperar que Boyle então propusesse seus próprios elementos, mas ele afirma simplesmente que seriam:

Corpos primitivos simples ou perfeitamente homogêneos, os quais, sendo

constituídos de nenhum outro ingrediente [...] dos quais os corpos compostos são feitos e nos quais estes podem ser, em última instância, decompostos (BOYLE Apud PULLMAN, 1998. p.141).

Cabe ressaltar que a definição de elemento é claramente distinta da noção de átomo. Enquanto um átomo seria a partícula última da matéria, um elemento é simplesmente algo que não se pode dividir, de modo que os pensadores diferiam também sobre o que deveria ser considerado um elemento. Enquanto para Aristóteles um elemento seria a água, por exemplo, Boyle apresenta uma definição mais geral, sem creditar material algum como sendo um elemento. Também deve-se deixar claro que a discussão sobre se os elementos são feitos de átomos perdurou por séculos.

Um outro inglês imprescindível de ser mencionado é Isaac Newton (1642-1727), que também teve suas próprias concepções acerca do atomismo. Newton era conhecidamente um religioso fervoroso, e, por isso, jamais seria partidário do atomismo na forma como propuseram os gregos. Ainda, segundo Schofield (1980):

Apenas raramente Newton usava as palavras átomo ou atomismo [...] ele tendia a evitar essas palavras substituindo-as por termos como “a filosofia de Epicuro” ou “filosofia de Lucrecio. [...] Newton privadamente, insistia que a teoria era “erroneamente interpretada... como ateísmo (SCHOFIELD, 1980, p.211).

Newton contudo, adotou uma filosofia natural mecânica, que tinha algumas semelhanças com o atomismo clássico - isso incluía a noção de vazio, e de que a matéria seria composta por pequenas partículas (SCHOFIELD, 1980). Surpreendentemente, não atribuía a gravidade como força de atração entre as partículas, de forma que considerava que haveria forças sim, mas de diferente natureza e que, a nível microscópico, a gravidade não teria efeito (PULLMAN, 1998). Seus muitos oponentes acusaram Newton de reintroduzir qualidades ocultas na ciência, e apesar de suas recusas indignadas, as acusações

poderiam muito bem ser verdadeiras (SCHOFIELD, 1980). Para aceitação das proposições atomísticas de Newton, eram necessárias evidências experimentais, as quais não foram possíveis de serem obtidas à sua época:

O atomismo newtoniano foi particularmente atraente para químicos do início do século, eles também tentaram determinar forças e tamanho das partículas [...] Muitas das medidas de força foram inconclusivas e nenhuma delas transferíveis ao nível microscópico; as forças entre partículas e seus tamanhos permaneceram desconhecidas.

[...] Claramente explicações força-e-partícula tinham perdido poder de comandar a aceitação geral. E embora a falha em achar valores quantitativos para os parâmetros essenciais não fosse a única razão para isso, com certeza foi um fator que contribuiu muito para a substituição, depois de 1740, das explicações atomísticas newtonianas por outro modelo, derivativamente newtoniano, o qual, curiosamente, terminaria no atomismo não-newtoniano de John Dalton (SCHOFIELD, 1980, p.4).

Assim, o atomismo conforme proposto por Newton encontrou um obstáculo intransponível para a época. A importância de sua contribuição está em ter tentado aplicar seu modelo de forças de ação a distância aos átomos, conferindo-lhe um aspecto matemático e científico. No entanto, as proposições atômicas de Newton mostraram-se falhas e o átomo enquanto entidade física encontrou um fim nesse período, mas que serviria de inspiração para Dalton, quase um século depois.

Apesar do século XVII ter sido palco para o retorno do pensamento atômico por meio da bem-sucedida filosofia mecanicista, sua interação com a experiência química não obteve o devido êxito (SIEGFRIED, 2002). Com o fracasso em encontrar valores quantitativos para os parâmetros do átomo proposto por Newton, a noção de átomo foi novamente abandonada (SCHOFIELD, 1980). Não mais porque era vista como uma ideia tola, ou porque era proibido sequer falar no

assunto, mas porque não parecia factível. Não havia meios de encontrar a partícula fundamental da matéria nem algum efeito que só pudesse ser explicado pela teoria atômica.

Apesar disso, a ciência não deixou de evoluir por outros caminhos. A química quantitativa foi um grande avanço do período, que tem tanto a prerrogativa de medir quantidades de reagentes e produtos, quanto a de explicar quantitativamente fenômenos químicos (MAAR, 2011). Pullman (1998) também atribui às contribuições de Lavoisier como fundamentais não só para a química, mas também para a consolidação do atomismo científico no século XIX.

A primeira delas é a decomposição da água em outros dois elementos, o que, somada às críticas que o pensamento aristotélico sofreu ao longo do tempo, contribuiu para provocar o abandono da teoria aristotélica dos quatro elementos. Essa descoberta também leva à definição de elemento por Lavoisier: “... todas as substâncias que não foram ainda decompostas por nenhuma maneira, consideramos elementos” (Lavoisier apud Pullman, 1998).

A segunda é o estabelecimento da lei da conservação da matéria associada à demonstração da importância dos estudos gravimétricos na estrutura da matéria. Um dos experimentos que levou à formulação desta lei foi a reação da fermentação, de forma que reagiu sacarose na presença de água e fermento e determinou com razoável rigor a quantidade de carbono, hidrogênio, oxigênio e azoto (nitrogênio), constatando sua conservação ao final da reação (MAAR, 2008).

## 2.5 SÉCULO XIX – A TEORIA ATÔMICA DE DALTON E SUA REPERCUSSÃO

A química moderna construída nos séculos anteriores, ergue-se sobre os princípios da racionalidade, empirismo, matematização e quantificação (MAAR, 2011). Ainda há que se levar em consideração que a ciência química estrutura-se em torno do composto químico, sendo que este conceito em sua forma moderna implica na existência de relações determináveis empiricamente entre as substâncias químicas, relações que expliquem as sínteses e análises químicas, bem como a

composição e homogeneidade dos compostos químicos (MAAR, 2011).

E é nesse contexto, que em 21 de outubro de 1803, Dalton apresenta sua teoria atômica em uma palestra para sete pessoas, a qual seria posteriormente publicada, da mesma forma que outras conferências suas. Sua teoria atômica difere daquela dos atomistas gregos por ter não ser apenas uma teoria corpuscular da matéria, mas também por explicar, no novo paradigma sob o qual a química se encontrava, os fatos empíricos (MAAR, 2011).

Muitos historiadores afirmam que a teoria de Dalton tem como influência a concepção corpuscular de Newton, embora falte clareza a esse respeito nos próprios textos de Dalton. Além disso, Dalton, meteorologista por formação, fez um grande trabalho experimental com gases, determinando a composição da atmosfera e estabelecendo relações estequiométricas para reações gasosas. Um dos grandes suportes para a teoria de Dalton é uma tabela de “pesos relativos das últimas partículas de gases e outros corpos”, sendo a primeira tabela de Pesos Atômicos.

A teoria atômica de Dalton forneceu à química a possibilidade de uma ordenação matemática com uma simplicidade pela qual se procurava há muito tempo. A teoria também criou uma conexão coerente com a composição empírica, expressa pelos pesos atômicos característicos de cada elemento (SIEGFRIED, 2002).

Efetivamente, de acordo com Maar (2011), Dalton propunha que:

- 1) Todo elemento é subdividido em partículas últimas qualitativamente iguais, e diferentes das de qualquer outro elemento
- 2) As reações químicas são explicadas em termos de transferências ou transposições de átomos.
- 3) Quando os átomos de dois elementos se combinam, formam “átomos compostos” de um “elemento” mais complexo.
- 4) Quando os átomos de diferentes elementos se combinam entre

si, o fazem segundo relações numéricas simples: uma partícula de A combina-se com uma de B, ou 1 de A com 2 de B e assim por diante. (MAAR, 2011. p. 199).

As três primeiras proposições de Dalton não eram necessariamente originais. Contudo, a quarta proposição trazia algo realmente novo à teoria atômica, sendo uma grande fonte de problemas para o cientista por ser uma proposição estabelecida *a priori* (MAAR, 2011). Esta regra, segundo Dalton, resultava de circunstâncias físicas, uma vez que um menor número de átomos combinados teria uma maior estabilidade mecânica. Qualquer outro composto que envolvesse novas combinações dos mesmos elementos deveria ter proporções distintas: 1:2 ou 1:3 ou outras, que envolvessem números inteiros e pequenos (OKI, 2009).

Mas o que levou Dalton a estabelecer algo tão controverso? O fato é que Dalton – juntamente com o caráter científico de sua teoria – baseia-se em fenômenos e na tentativa de relacioná-los matematicamente. A fundação dos princípios estabelecidos por Dalton encontra-se nas reações químicas com gases, relacionando o peso dos reagentes, com o peso dos produtos, bem como a composição química de todos os envolvidos na reação. O problema então era determinar a fórmula dos compostos segundo o peso de cada um dos seus elementos. No entanto, o estabelecimento do peso atômico é dependente da fórmula química do composto e vice-versa. Ora, caso se tenha um saco com bolas, e se saiba o seu peso total, a fim de determinar o peso de cada bola, precisa-se necessariamente saber quantas existem! Daí a proposição da regra da maior simplicidade, para ter como base a fórmula dos compostos e aí sim, medir o peso de cada elemento isoladamente.

A regra da maior simplicidade foi um recurso usado como ponto de partida, mas que, infelizmente, levou a resultados errôneos. A fórmula da água, por exemplo, Dalton determinaria como sendo HO, por estabelecer que dois elementos se combinariam preferencialmente como compostos binários, a menos que outra causa exigisse o contrário (MAAR, 2011). O mesmo aconteceria com a amônia, e muitos outros compostos, o

que não passaria ileso do crivo da comunidade científica da época.

Hoje apresentadas de forma tão dogmáticas no contexto das aulas de química, as teorias de Dalton, Avogadro e Gay-Lussac fazem o mais perfeito sentido e parecem em consonância. Historicamente, contudo, a situação foi bem diferente. Em 1809, Gay-Lussac publica as leis volumétricas das combinações químicas, chegando a conclusão de que:

Parece evidente que gases sempre se combinam quando um reage com o outro em proporções simples. [...] É importante observar que considerando os pesos não há relações simples entre os elementos de qualquer composto [...] Gases, pelo contrário, quaisquer que sejam as proporções segundo as quais se combinam, dão origem sempre a compostos cujos elementos, em volume, são múltiplos um do outro (GAY-LUSSAC apud MAAR, 2011).

Contudo, Dalton não aceitou a teoria de Gay-Lussac, que por sua vez, não aceitou a teoria atômica de Dalton, causando uma longa controvérsia entre os dois cientistas. A principal causa da divergência era justamente a diferença de dados obtidos por Gay-Lussac em relação às proposições de Dalton. Por exemplo, para Dalton, a água deveria ter fórmula HO, segundo a regra da maior simplicidade. Já Gay-Lussac, com sua lei das proporções volumétricas, estabelece que a água existe numa proporção de dois volumes de hidrogênio para cada um de oxigênio.

Nessa discórdia, Avogadro tenta conciliar as duas teorias, enquanto ele próprio faz sua contribuição fundamental, hoje conhecida como Hipótese de Avogadro: volumes iguais de quaisquer gases ou vapores, contém, nas mesmas condições de temperatura e de pressão, igual número de partículas. Posição trágica para a química da época, ambos, Dalton e Gay-Lussac, veementemente rejeitaram a proposição de Avogadro, cujas ideias teriam o devido reconhecimento apenas postumamente (MAAR, 2011).

Todas as contribuições dos cientistas mencionados apontavam para evidências que corroboravam o atomismo (ainda

que eles mesmos não assumissem tal posição). Dalton poderia usar a teoria de Gay-Lussac para justificar a sua própria, e vice-versa, mas impedimentos experimentais e supervalorização das suas próprias ideias fizeram com que a química fosse prejudicada, bem como o atomismo.

Nesse contexto, pode-se, de maneira geral, classificar as percepções sobre o átomo nessa época segundo três visões principais:

- 1) Os que aceitam o átomo como realidade física
- 2) Os que rejeitam o átomo como realidade física
- 3) Os que rejeitam o átomo como realidade física, mas que o consideram como uma explicação útil para determinados fenômenos. Assim, o átomo não é concebido como algo real, mas como um modelo.

Dentro dos que aceitam o átomo como realidade física, o universo era entendido de forma materialista: tudo o que existe é formado por átomos, partículas últimas da qual a matéria é constituída.

Na perspectiva dos que rejeitam o átomo, Maar (2011) classifica alguns aspectos que corroboram a recusa ao atomismo. São eles de ordem filosófica, estética, metodológica e científica.

➤ **Aspectos filosóficos de recusa ao atomismo:**

Corrente posterior ao Iluminismo e ao Idealismo de Kant, a *Naturphilosophie* – Filosofia da Natureza - surge como uma tentativa de elaborar um sistema filosófico que abrangesse os resultados empíricos das investigações científicas. Liderado por cientistas e filósofos, esta corrente preconiza um materialismo científico que defende que espírito e matéria formam uma unidade indivisível. Acreditam na unidade da matéria e dela procuram derivar a diversidade da natureza. Nessa perspectiva, não é difícil compreender por que a noção de uma partícula última, indivisível, é inconcebível a estes filósofos, visto que enxergam o mundo de maneira holística. Também permeia uma noção romântica, para a qual as limitações da razão devem ser compensadas por qualidades como fé, sentimento, paixão, inspiração e sonho. Segundo Maar (2011), “*A Naturphilosophie, descontrolada, permite escapar-se para a pseudociência.*”

Outra questão filosoficamente importante diz respeito ao atomismo como problema epistemológico e ontológico. Enquanto entidade invisível, o átomo tem sua existência questionada – aspecto ontológico. Já o aspecto epistemológico refere-se a químicos que faziam uso dos conceitos atomísticos sem se preocuparem com a realidade dos átomos (Rocke apud Maar, 2011). Ambos os conceitos também podem ser compreendidos em termos de atomismo físico, relativo ao aspecto ontológico, e atomismo químico, relativo ao aspecto epistemológico.

A *suposta* influência do positivismo também aparece como fator histórico de rejeição filosófica ao atomismo. O termo “suposta” é proveniente do fato de que *“positivista e positivismo não são termos suficientemente caracterizados para servirem de base para uma rejeição do atomismo”* (Bensaude-Vincent apud Maar, 2011). O atomismo era rejeitado por Comte, pai do positivismo, por preferir a noção de equivalentes. Pullman (1998), no entanto, aponta que as proposições de Comte (1798-1857) tiveram impacto sobre cientistas de influência da sua época, os quais eram ativos participantes na controvérsia sobre a teoria atômica. O mesmo autor explica os motivos pelos quais a filosofia de Comte foi tão danosa e, no fim, abandonada pela comunidade científica:

Sua doutrina filosófica era hostil para com os cálculos de probabilidade, criticava qualquer esforço para entender a constituição física de corpos celestiais, rejeitou a idéia de unidade da matéria e condenou qualquer pesquisa direcionada a determinar sua estrutura, ao ponto de proibir o uso de microscópios. Ele denunciou toda pesquisa física conduzida fora de condições “usuais”, todas as teorias de evolução de espécies biológicas, todas as investigações sobre a origem das sociedades e muito mais. (PULLMAN, 1998)

É fato que o atomismo foi amplamente rejeitado na França por conta da presença de Dumas e Berthelot, dois antiatomistas convictos. Dumas é autor da frase: *“se eu pudesse, apagaria a palavra átomo da ciência, pois estou convencido de que ela ultrapassa a experiência”* (MAAR, 2011).

➤ **Aspectos estéticos de recusa ao atomismo:**

Sem se estender no assunto, Maar (2011), afirma que, por conta de uma utopia estética que permeava o pensamento da época em que se formulou o novo atomismo, alguns pensadores tinham como princípio que a Arte era superior à ciência, como Schelling, Schiller e Schopenhauer. Este pensamento teve influência sobre o pensamento científico da época, de maneira que conceitos como forma e simetria, ligados a uma idéia de perfeição, tiveram maior importância do que explicações dedutivas ou indutivas sobre o funcionamento da natureza.

➤ **Aspectos metodológicos de recusa ao atomismo:**

Estes aspectos relacionam-se com as questões acerca de como é constituído o conhecimento científico e até que ponto a experiência pode nos fornecer comprovações de teorias, especialmente no caso de um não-observável, como o átomo. O fato de não haver uma prova experimental crucial que justifique o atomismo é um argumento usado por muitos daqueles que o rejeitam.

➤ **Aspectos científicos de recusa ao atomismo:**

Apesar de ter sido, depois de longa batalha, aceita, a teoria de Dalton não era a única da época a pretender fornecer explicações sobre a estrutura da matéria. Havia teorias concorrentes, as quais são brevemente explanadas a seguir:

i. Teoria dos “átomos-turbilhão”: proposta por Lorde Kelvin, é um aprofundamento da teoria cinética dos gases, que imagina o átomo como um anel tubular em contínuo movimento e explica de modo satisfatório propriedades como a elasticidade e o comportamento espectroscópico.

ii. A química matemática: seu autor, Brodie, considerava os átomos um “produto de marcenaria materialista” e elaborou uma teoria que supria uma demanda científica de matematização da química. Por ser de alta complexidade e exigir conhecimentos matemáticos, acabou por ser abandonada.

iii. O Energetismo foi uma corrente filosófica bastante forte e coerente contra o atomismo. Ostwald,

seu proponente, não acreditava no que não pudesse ser provado por meio de experimentos ou que não pudesse ao menos inferir ou calcular indiretamente a partir de dados empíricos. Foi franco opositor do atomismo ontológico, crítico do materialismo científico e criou uma química em torno do conceito de energia, já que esta, em suas diversas formas podia ser medida. Ao lado de Arrhenius e van't Hoff, Ostwald foi um dos criadores do ramo da Físico-química. Levada às últimas consequências, a teoria de Ostwald simplesmente negava a existência da matéria (PULLMAN, 1998). Sua posição científica o colocou em choque com atomistas, conflitandose especialmente com Ludwig Boltzmann e Max Planck. Apesar de seus esforços, a teoria de Ostwald não foi frutífera e, posteriormente, ele rendeu-se ao atomismo.

Embora houvesse toda sorte de objeções, o fato é que a teoria atômica era satisfatória para explicar fenômenos, mas a existência do átomo como entidade física, ainda era motivo de dúvida para a comunidade científica. Mas isso iria mudar.

Em 1828, Robert Brown (1773–1858) havia publicado o artigo *“A brief account of microscopical observations made in the months of June, July and August, 1827, on the particles contained in the pollen of plants and on the general existence of active molecules in organic and inorganic bodies”* no qual apresenta o que posteriormente viria a ser conhecido como “Movimento Browniano”. No documento, Brown descreve, de forma pormenorizada, suas observações e experimentos acerca do estranho movimento de pequenos grãos em água, que moviam-se incessantemente sem causa aparente.

Van der Pas (1971) enumera de forma sucinta as contribuições de Brown nesse estudo:

- 1) observar o vívido movimento das pequenas partículas suspensas em água.
- 2) reconhecer de fato que esse movimento é exibido não apenas por partículas que são obtidas da matéria orgânica viva, mas também por partículas obtidas de material inorgânico morto.

Mas o que isso tem a ver com átomos? A história é fascinante. Embora os trabalhos de Brown à época não tenham tido grande repercussão, a compreensão do fenômeno por ele investigado seria determinante para a consolidação do atomismo como conceito científico. É inusitado que um fenômeno identificado por um médico que trabalhava com botânica tenha sido seminal para as áreas da química e da física. Entre os cientistas que tomaram como base o trabalho de Brown estão Jean Perrin – que, por meio do movimento browniano, deu sustentação à teoria atômica pela determinação do número de Avogadro, obtendo-o por mais de 13 equações relativas a diferentes métodos (OKI, 2010) - e, posteriormente, Albert Einstein, cujos trabalhos se deram no âmbito da matematização do movimento, estabelecendo que a causa seria o choque entre partículas ínfimas – os átomos.

## 2.6 O FIM DO ÁTOMO INDIVISÍVEL

Proposto em 1803, o modelo atômico de Dalton não sobreviveria até o fim do século XIX. Em meio às críticas e objeções às evidências experimentais ao átomo daltoniano, a suposta partícula indivisível passaria a ter divisões em 1897, sem mesmo que toda a comunidade científica estivesse convencida da existência dela.

Em 1835, Michael Faraday havia observado descargas elétricas luminosas em gases rarefeitos, dentro de um recipiente de vidro, produzidas por dois eletrodos com cargas opostas, notando que manchas fosforescentes eram produzidas nas paredes do recipiente. Em 1858, o físico alemão Julius Plücker, ao aproximar um ímã de um recipiente similar, viu as manchas fosforescentes se deslocarem nas paredes do vidro. Seu aluno, Johann Hittorf, em 1869, observando a sombra projetada sobre a parede de vidro por um objeto colocado diante do catodo, mostrou que as emissões dele emanadas se deslocavam em linha reta, o que foi denominado “raios catódicos” (MOREIRA, 1997).

O inglês William Crookes, em 1879, retomou essas experiências, de forma mais precisa, com um tubo aperfeiçoado por ele e com alto vácuo em seu interior. Em 1895, Jean Perrin

concluiu que os raios catódicos são jatos de partículas e mostrou que têm carga elétrica negativa (MOREIRA, 1997).

Mas foram os experimentos de Joseph John Thomson (1856-1940) que trouxeram luz à existência da estrutura do átomo. J.J. Thomson (como viria a ser conhecido) realizou experimentos com descargas elétricas em um tubo com gás rarefeito, denominado tubo de raios catódicos. Sua contribuição foi a de confirmar a natureza corpuscular e medir a razão entre a carga elétrica e a massa dos corpúsculos. Nas palavras do próprio Thomson:

Em todos os casos conhecidos nos quais a eletricidade negativa ocorre em gases a pressões muito baixas, ela ocorre na forma de corpúsculos, pequenos corpos com uma carga e uma massa invariáveis (THOMSON apud MOREIRA, 1997).

Thomson nunca nomeou a partícula que descobriu com o nome que se conhece atualmente, referindo-se a ela apenas como “corpúsculo”. O nome *elétron* foi cunhado por outro cientista, chamado George Johnstone Stoney, contemporâneo de Thomson (PULLMAN, 1998).

Avançando ainda mais em suas pesquisas, J.J. Thomson demonstrou que as propriedades dessas partículas permaneciam as mesmas qualquer que fosse o tipo de gás no qual eram criadas, o que lhe permitiu deduzir que essas partículas eram constituintes dos átomos de todos os elementos. (PULLMAN, 1998. p. 257)

Cabe ressaltar que a descoberta do elétron é produto de uma série de experimentos e de concepções sobre a estrutura da matéria geradas por cientistas de vários países. A identificação do elétron não foi, portanto, o produto de um ato de descoberta súbita e individual (MOREIRA, 1997).

Thomson viveu em uma época de grande efervescência científica e testemunhou inúmeras descobertas e o nascimento de diversos campos do conhecimento oriundos desses novos achados, o que impactou o mundo como a si próprio. Em sua autobiografia, ele revela, sobre a descoberta do elétron que:

...ambos o tempo e o lugar eram afortunados, porque o período entre agora e então tornou-se um dos mais significativos na história do mundo. Do início ao fim, e especialmente na segunda metade, houve uma sucessão rápida de um evento extraordinário após o outro. Monarquias caíram e foram substituídas por repúblicas e ditaduras. O livre comércio, que como um homem de Manchester, considerei sempre e naturalmente como essencial para a prosperidade do país, foi-se também... Quando eu era um menino, não havia bicicletas, nem automóveis, nem aviões, nem luz elétrica, nem telefone, nem telégrafo sem fio, nem gramofone, nem engenharia elétrica, nem radiografia de raios X, nem cinema... (THOMSON apud MOREIRA, 1997).

A descoberta do elétron abriu caminho para que fossem encontradas outras partículas, como o próton e o nêutron. A partir desses avanços, foi possível compreender a estrutura do átomo, mecanismos de reações químicas e a posição dos elementos na tabela periódica, além de fomentar o desenvolvimento da mecânica quântica.

Mal sabia Thomson que o homem ainda iria à Lua, construiria robôs, conectaria as pessoas por computadores, entre tantos outros feitos que a ciência proporciona e ainda proporcionará à humanidade.

## 2.7 CONCLUSÃO

Questões referentes à composição do mundo e sua origem foram – e continuam sendo – objeto de estudo e pensamento dos seres humanos. A busca por respostas vai de concepções que se erguem em conceitos distintos e até mesmo paradoxais, como o cheio e o vazio. Assim, entende-se que a construção científica

não é imediata nem definitiva, mas um caminho que se trilha por muitas dúvidas e escassez de certezas.

Um aspecto que sobressai na história do átomo é a importância do contexto sócio-cultural no desenvolvimento científico, de modo que a aceitação das ideias não é sujeita meramente à validade de sua explicação, mas também das implicações culturais e da interpretação que lhes é dada.

Assim, procurou-se fazer um resgate histórico do átomo que contemplasse não só a história do atomismo em si, mas que permitisse também compreender como ela se transformou dentro do contexto no qual estava inserido. Concepções de mundo, de religião, de filosofia e de ciência influenciaram fortemente a maneira como se utilizou e se enxergou o átomo através dos tempos.

É perceptível que o aspecto crítico é característico não somente da modernidade, que, embora tenha sofrido fortes restrições na Idade Média, constitui-se uma herança do livre pensamento grego. Os atomistas foram alvo de crítica de Aristóteles, que, por sua vez, teve suas ideias pouco a pouco minadas por outros estudiosos. O reinado ideológico aristotélico não pode ser desprezado e nem as razões pelas quais perdurou tanto, mas o fato é que o átomo e o vazio triunfaram, afinal. Não da forma que propuseram os antigos atomistas, mas tanto o átomo, como o vazio são hoje conceitos científicos amplamente aceitos e estabelecidos, sendo base para o entendimento das ciências físicas e químicas.

Evidentemente, o atomismo moderno também não teve um desenvolvimento ideológico e cientificamente pacífico. No contexto da ciência do final do século XIX, muitos cientistas, entre eles químicos, consideraram o átomo um mero modelo ou uma hipótese simplesmente não científica por se tratar de um ente não observável. Portanto, o julgamento de ideias passadas deve ser realizado com cautela, tendo em vista que as hipóteses científicas são produto de um contexto maior, bem como suas objeções. Assim, algo que hoje parece ultrapassado, no cenário científico de sua época possivelmente teve grande relevância, como se observa com o energetismo de Ostwald. Sua rejeição a ideia de átomo tinha fundamentos sólidos e era aliada a uma outra maneira de compreender a realidade, erguida sobre o conceito de energia.

Para quem não acreditava no átomo, deve ter sido uma surpresa e tanto saber que ele não só existe, como tem subdivisões. O domínio do átomo e de sua estrutura passariam, no século XX, de interesse científico a assunto de Estado. A sua compressão levou a construção de tecnologias tão pacíficas, como uma ressonância magnética nuclear, quanto perigosas, como a bomba atômica.

Apesar dos progressos na pesquisa do átomo e de suas várias subpartículas, a estrutura da matéria ainda permanece misteriosa e exercendo fascínio entre cientistas e leigos.



### 3 AS INTUIÇÕES ATOMÍSTICAS DE BACHELARD

Tem-se como princípio que nenhuma história é neutra: ela é carregada de concepções acerca do que é relevante e da maneira pela qual é contada. Assim, para compreender a história da ciência, é necessário trazer à luz a filosofia pela qual ela é contada, pois um mesmo relato histórico pode estar revestido de diferentes ideias.

Muitos estudiosos trabalharam com as questões referentes à natureza da ciência e do desenvolvimento científico, no campo da epistemologia. No entanto, poucos químicos aventuraram-se nessa empreitada. Um deles foi Gaston Bachelard, cujas ideias encontram-se bastante presentes no ensino de ciências.

#### 3.1 GASTON BACHELARD – PENSADOR, PROFESSOR E AUTOR

O trabalho de Gaston Bachelard (1881-1962) tem sido amplamente referenciado no ensino de ciências (LOPES, 1996; MELO, 2005; FONSECA, 2008; MORTIMER, 1992, entre outros). Noções como as de “Perfil Conceitual” e “Obstáculo Epistemológico”, bastante conhecidas dos educadores, têm origem no pensamento deste filósofo francês que quase foi engenheiro e tornou-se professor de química e física (PENSADORES, 1978), 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.

As considerações epistemológicas de Bachelard são expostas em uma de suas obras mais famosas: “A formação do espírito científico”, onde 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, e usando-os como exemplo para a demonstração 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 supremacia do conhecimento abstrato e científico sobre o conhecimento primeiro e intuitivo (BACHELARD, 1996 p.132)

Uma frase que caracteriza bem a origem dos obstáculos epistemológicos é a de que “a experiência científica é [...] uma experiência que *contradiz*<sup>2</sup> a experiência comum” (BACHELARD, 1996. p. 14). Desse modo, um dos maiores obstáculos ao conhecimento científico é a opinião, afirmando que “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). Sustenta que:

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) .

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, bastante advogada por muitos pesquisadores na área de ensino de ciências, Bachelard considera a experimentação com o intuito de chamar a atenção do aluno, cheia de efeitos marcantes, como falsos centros de interesse e 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, o qual acusa de serem verdadeiras regressões infantis, as quais podem ser divertidas, mas nunca instrutivas (BACHELARD, 1996 p.45).

No que tange às suas preocupações históricas, Bulcão (1981) faz as seguintes considerações:

---

<sup>2</sup> Os destaques encontram-se como na obra original.

- Bachelard opõe-se à concepção positivista da época, ou seja, o 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.
- Para Bachelard, a história precisa ser julgada, pois não teria sentido simplesmente descrever os fatos sem uma crítica que mostre o fundamento e a validades 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.

Dado o exposto, Bulcão (1981) afirma que a epistemologia de Bachelard é diferente daquela de sua época, e ainda 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).

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, aí reside a implicação de aprender ciências.

### 3.2 HISTÓRIA E FILOSOFIA DO ATOMISMO

Menos conhecida e estudada, a obra “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, como apontado pelo pesquisador Demétrio Delizoicov, acompanhou mudanças drásticas na concepção e na estrutura do átomo<sup>3</sup>. Proposto em 1803, o modelo de Dalton postulava que os átomos seriam esferas maciças. Mas em 1897, J.J. Thomson descobre os elétrons, levando à suposição de uma estrutura de cargas positivas e negativas espalhadas em uma esfera (PULLMAN, 1998). Ou seja, o átomo deixou de ser indivisível para ter uma estrutura interna. Já em 1911, as experiências conduzidas por Rutherford e seus colaboradores – Geiger e Marsden - levaram a supor um átomo com carga positiva centralizada e uma eletrosfera externa, dando origem ao modelo atômico solar ou planetário (ibid.. p. 259). Em 1913, as pesquisas de Soddy levaram a crer que átomos de um mesmo elemento podiam ser diferentes em massa, embora mantivessem as mesmas propriedades físico-químicas – os isótopos (ibid. p. 270). Em 1920, Rutherford cunha o termo próton para designar o núcleo positivo do átomo—de hidrogênio. (ibid. p. 260). Em 1924, a matéria deixava de ser apenas matéria, para ser também onda, por meio dos estudos de Louis de Broglie (ibid.. p. 273). Em 1932, o átomo ganhava uma nova partícula em seu núcleo, o nêutron, por James Chadwick (ibid. p. 259 - 270). Nas décadas seguintes, houve uma maior compreensão dos fenômenos nucleares, e a fusão e a fissão de núcleos passaram a ser manipuladas e realizadas artificialmente.

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, já 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,

---

<sup>3</sup> Em conversa informal.

evidentemente, provocava incerteza na comunidade científica e também nos ambientes de ensino. Que átomo deveria ser ensinado? O que dizer para os alunos sobre um conceito que está sob constante mudança?

Na condição de professor de física e química, naturalmente, esse problema foi do interesse de Bachelard e que, dado o conteúdo da sua obra, e da data em que foi publicada, permite concluir 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 são baseadas em fatos históricos, além dos quais, 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 da autora desta dissertação. 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.

### **3.2.1 Primeiro capítulo da obra: Introdução**

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 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 conta 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, Huyghens, 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. Faz 80 anos que Bachelard fez a constatação de que não há relação entre as duas doutrinas e, no entanto, ela sobrevive na literatura apesar do alerta de Bachelard 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.

### 3.2.2 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 pode receber, desde seu princípio, uma base intuitiva 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; nessa visão é certo 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.

### **3.2.3 O Atomismo Realista**

Bachelard e o realismo têm um relacionamento de bastante tensão. O autor mostra-se, ao longo de suas obras, um ávido opositor dessa maneira de apreender o mundo .

Mas o que é, afinal, o realismo? De acordo com Hessen (1999), 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. Por exemplo, pode-se considerar que um objeto é vermelho porque seus átomos são vermelhos. Na realidade, hoje temos a compreensão de que a cor vermelha é oriunda de fenômenos de interação da matéria com a radiação, e está relacionada à capacidade humana de perceber e interpretar a luz quando alcança os olhos. É algo bem diferente e muito mais complexo do que essa atribuição imediata. Demócrito, conforme Hessen (1999), é adepto de uma vertente do realismo denominada “realismo crítico”, mais moderada, que não atribui ao objeto todas as suas propriedades, responsabilizando também o sujeito por suas impressões. Assim, para Demócrito, os átomos têm inerentemente fatores como forma e tamanho - as chamadas qualidades primárias - mas as cores e sabores (por exemplo) - qualidades secundárias - são produtos da interpretação do sujeito que as sente (Hessen, 1999).

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:

Dizemos imediatamente que o realismo em geral é a menos evolutiva das filosofias porque é o mais simples dos sistemas. Ele 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 de um outro tipo de realista, denominado “realistas sábios”. 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.

### **3.2.4 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. 72).

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 de costume, 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 oxigênio<sup>4</sup> e do hidrogênio<sup>5</sup>, 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 muitos dos estados desse elemento têm relação com a natureza da combinação da qual eles derivam (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 deixam a sedução do realismo imediato. Isso significa que não é possível atribuir 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 valor e o sentido das suposições iniciais serão explicitamente definidos (BACHELARD, 1933. p. 82).

---

<sup>4</sup> Ar inflamável, originalmente.

<sup>5</sup> Ar deflogisticado, originalmente.

### 3.2.5 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).

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. 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 instruções ministeriais estrangeiras, 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 e 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 ( $60 \times 10^{22}$  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 à 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).

### 3.2.6 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 lhe 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 intelecção (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 matematizou-se os fenômenos físicos, faz-se o caminho inverso, na visão de Hannequin: primeiro como ente matemático, e depois, como ente físico. Isso ocorre 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 desde 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 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. Por fim, fala do exemplo histórico do atomismo de Boscovich, o qual se apoia sobre um mínimo de suposições propondo um atomismo puntiforme e, surpreendentemente, utilizável pela física matemática.

### 3.2.7 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 seve para passar de uma experiência a outra (BACHELARD, 1933. p. 133).

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 arquitetônica 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. 139).

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).

### 3.2.8 Conclusão

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 dispensa total com 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. Em química, o corpo puro é a conquista de um espírito certo. A pureza produzida é a prova da certeza da técnica (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).

### 3.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A OBRA

Bachelard traz à luz 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.

Apesar da maestria de Bachelard ao falar do assunto, considera-se que ele falha no objetivo pedagógico de sua obra. A menos que o livro seja usado como livro-texto para aulas, de forma que suas ideias fossem complementadas oralmente, 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 torna-se 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 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.

## 4 CAMINHOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho é realizado em duas etapas: uma teórica e uma empírica.

Na primeira etapa, que compreende o estudo histórico da evolução do conceito de átomo, da antiguidade até a descoberta do elétron, e a apreensão filosófica do atomismo, sob o referencial bachelardiano, o trabalho fundamenta-se em pesquisa bibliográfica. Segundo Sá-Silva et al. (2009), quando um pesquisador faz uso de documentos buscando tirar dele informações, o processo se dá pela investigação, exame e uso de técnicas apropriadas para seu manuseio e análise.

Segundo Oliveira apud Sá-Silva et al. (2009), a pesquisa bibliográfica:

...é uma modalidade de estudo e análise de documentos de domínio científicos tais como livros, periódicos, enciclopédias, ensaios críticos, dicionários e artigos científicos. Como característica diferenciadora [...] pontua que é um tipo de “estudo direto em fontes científicas, sem precisar recorrer diretamente aos fatos/fenômenos da realidade empírica” (Oliveira apud Sá-Silva et al., 2009, p. 5).

Uma característica importante da pesquisa bibliográfica é que as fontes examinadas já são reconhecidamente do domínio científico. Em contraponto, a pesquisa documental, caracteriza-se justamente por não ter recebido tratamento analítico, ou seja, o documento é apreciado em seu estado original, sem levar em conta as interpretações de outros estudiosos (SÁ-SILVA et al., 2009). São tipos de pesquisa muito próximos. Para elucidar a questão da diferenciação entre as duas, deve-se observar a distinção entre fontes primárias e secundárias.

Fontes primárias são caracterizadas justamente como aquelas que se constituem como dados originais, enquanto que, as fontes secundárias são dados de “segunda mão”, já analisados por outros pesquisadores (Oliveira apud Sá-Silva et al., 2009, p. 5).

Nessa perspectiva, no que tange ao resgate histórico do atomismo, é feito uso de fontes secundárias, utilizando-se de obras produzidas por historiadores que trataram das fontes primárias de informação.

Acredita-se que, pelo fato do trabalho ter interesses educacionais, o estudo puramente historiográfico foge do escopo da presente pesquisa. Ainda assim, esse estágio da investigação não deixa de ser caracterizado como pesquisa histórica, uma vez que, segundo Richardson (1985):

A pesquisa histórica ocupa-se do passado do homem, e a tarefa do historiador [...] consiste em “localizar, avaliar e sintetizar sistemática e objetivamente as provas para estabelecer os fatos e obter conclusões referentes aos acontecimentos do passado” (RICHARDSON, 1985, p. 199).

Ainda tem-se que a pesquisa histórica apresenta dois objetivos básicos: o de produzir um registro fidedigno do passado e de contribuir para a solução de problemas atuais (RICHARDSON, 1985, p. 200). Nesse sentido, acredita-se estar perseguindo ambos os propósitos, uma vez que, de posse do resgate histórico do atomismo, pretende-se levá-lo para o ensino de química.

Além disso, as preocupações envolvidas para o bom desenvolvimento da pesquisa histórica são compactuadas com Martins (2001), na medida em que é necessário fazer um desprendimento de concepções prévias acerca da história que se pretende estudar, buscando o novo, numa procura pelo inesperado. Essas atitudes devem estar imersas em um espírito de curiosidade pelo passado, sem deixar de lado o espírito crítico, mantendo a cautela para evitar afirmações categóricas e generalizações apressadas (MARTINS, 2001, p.127).

Assume-se que essas atitudes estão presentes no próprio questionamento da história passada nos livros didáticos e na iniciativa de realizar uma pesquisa nessa área com a intenção de poder contribuir para modificar as concepções históricas do atomismo entre professores, e espera-se que, conseqüentemente, as dos seus alunos de química.

Ademais, a pesquisa procura contemplar as preocupações de Richardson (1985) quando ele afirma que:

... uma boa análise histórica consiste, por um lado, na interpretação dos dados existentes, e, por outro, no exame dos fatores que podem ter contribuído para a sobrevivência dessas informações e desaparecimento de outras. [...]

Assim, o historiador deve conhecer a definição do conceito utilizado em diferentes períodos históricos para elaborar um conceito que inclua elementos incorporados nessas diversas definições e seja capaz de entender o significado de um documento escrito em determinada época (RICHARDSON, 1985. p. 209).

Desse modo, a referência principal da pesquisa histórica é a obra “The atom in the history of human thought”, de Bernard Pullman (1998). A razão para isso encontra-se apoiada no fato da obra ser específica sobre a questão do atomismo, o qual é contextualizado segundo o pensamento de cada época. Pullman foi um pesquisador francês da área de química quântica teórica, de modo que o átomo era seu objeto de pesquisa, assim como sua história.

Outras referências históricas utilizadas majoritariamente são os dois livros de Juergen Maar: história da química – partes 1 e 2 (MAAR, 2008, 2012), as quais tratam da química em seu desenvolvimento geral e, muitas vezes, pormenorizado, com detalhes de autores e obras, com extensa bibliografia. Maar, assim como Pullman, faz uso recorrente de referências primárias, consultando artigos e documentos originais de diversos pensadores, o que torna sua obra uma fonte confiável e apropriada para o presente estudo. Este pesquisador é químico e foi professor da Universidade Federal de Santa Catarina durante muitos anos.

Além dos livros já mencionados, artigos, dissertações e teses constituem-se em fonte de pesquisa e referência para o trabalho.

Já no que diz respeito à apreensão epistemológica do atomismo, tendo como referencial Gaston Bachelard, faz-se uso de uma fonte primária no sentido mais estrito do termo, visto que a obra utilizada, “Les Intuitions Atomistiques”, encontra-se no idioma original, francês.

A partir dessas considerações e de posse da história do atomismo e das concepções bachelardianas sobre esse conceito, desenvolve-se um texto para o professor de química, apresentado no próximo capítulo, que, entre outros aspectos, procura evidenciar que:

- 1) O átomo tem uma história, e que essa história é muito distinta da que é contada nos livros didáticos;
- 2) A ciência não é uma construção linear – que há controvérsias e diferentes acepções acerca da estrutura da matéria e do conceito de átomo;
- 3) Em cada época existe uma filosofia hegemônica, e que as diferentes filosofias tiveram grande influência nas questões referentes à atomística;
- 4) O atomismo é uma matéria complexa e profunda, e que não pode ser abordado de forma tão superficial, como geralmente ocorre nos livros didáticos e no contexto escolar.

Na estruturação do texto, há inevitáveis, mas necessárias, sobreposições de conteúdos abordados nos capítulos 2 e 3 da dissertação; mas sempre com o cuidado de tornar o texto inteligível e utilizável pelo professor. Para fins de uma leitura mais fluida e 'prática', optou-se por apresentar as referências no corpo do texto de uma forma mais sucinta.

Tendo em vista que não se está propondo um texto estritamente filosófico, mas um material no qual a filosofia tem o papel de orientar a história, de modo que as inserções filosóficas devem estar em consonância com a história que está sendo estudada, são abordados, da obra de Bachelard: a metafísica da poeira, o atomismo realista, o atomismo positivista e o atomismo axiomático.

Após o desenvolvimento do texto, tem início a segunda etapa da pesquisa: a avaliação do mesmo. Metodologicamente, adota-se o estudo de caso como parâmetro, o qual, segundo Triviños (1987), *é uma categoria de pesquisa cujo objeto é uma unidade que se analisa aprofundadamente.*

Em um primeiro momento, pensou-se na possibilidade de trabalhar o texto, com os devidos e indispensáveis complementos do professor, diretamente com alunos do curso de

química e fazer a avaliação a partir do entendimento deles sobre o texto. No entanto, em cursos reconhecidamente descontextualizados historicamente, tal iniciativa ficaria deslocada dos demais conhecimentos adquiridos, possivelmente caracterizando-se como uma curiosidade na forma de um episódio isolado, que certamente não encontraria continuidade na graduação. Esses fatos somados aos de que os alunos dificilmente teriam conhecimentos prévios em história da ciência e epistemologia, levaram a abandonar essa abordagem.

Assim, vislumbrou-se a possibilidade de trabalhar o texto diretamente com professores de Ensino Médio que, por sua atividade docente, pressupõe-se que seriam interessados em aprofundar-se na história da química e do seu desenvolvimento epistemológico. No entanto, entende-se que a simples entrega do texto ao professor não teria suficiente apelo ou utilidade. Seria preciso engajá-lo em discussões e aprofundar pontos que suscitassem dificuldades. Enfim, capacitá-lo de fato, não só para compreender o texto em sua essência, mas também para elaborar estratégias didáticas que fizessem diferença em sua atividade docente e na formação dos seus alunos. Contudo, isto extrapolaria os objetivos do presente trabalho.

Considerando o caráter inovador do texto, e o claro propósito de levar os seus conteúdos à sala de aula, mas ao mesmo tempo ciente das dificuldades que ele pode oferecer a um professor 'não preparado', optou-se por sondar as suas potencialidades, inicialmente, junto a especialistas. Isto é, por acadêmicos envolvidos com o ensino de química que possuam conhecimentos em história e epistemologia da ciência e/ou que já tenham lecionado disciplinas nessa área, buscando suas sugestões e seu parecer geral sobre a utilidade do texto para o professor em possíveis cursos de aperfeiçoamento, por exemplo.

O instrumento utilizado na avaliação constitui-se de um questionário de perguntas abertas. Segundo Richardson (1985), essa modalidade:

.... caracteriza-se por perguntas que levam o entrevistado a responder com frases ou orações. Portanto, o pesquisador não está interessado em antecipar as respostas, e sim, deseja maior elaboração das opiniões do entrevistado. [...]

Uma das grandes vantagens de perguntas abertas é a possibilidade de o entrevistado responder com mais liberdade, não estando restrito a marcar uma ou outra alternativa (RICHARDSON, 1985. p. 209).

Quanto a forma escolhida para o envio do questionário, fez-se a opção por “Questionário por Correio”, na qual o indivíduo responde às questões formuladas sem a presença do entrevistador (RICHARDSON, 1985). Uma “versão” deste procedimento é denominada “Questionário por Correio Eletrônico”, ou seja, via *e-mail*, dada a praticidade e a economia de tempo e recursos que essa tecnologia permite em comparação com o correio convencional. O entrevistado teve liberdade para escolher o meio mais conveniente para participar da pesquisa.

Entende-se que essa abordagem seja a mais adequada para os objetivos da pesquisa, pela necessidade da leitura do texto, e posterior resolução de questionamentos sobre ele. Dessa forma, o entrevistado tem tempo para leitura e reflexão sobre o material instrucional, sem interferência do pesquisador em suas opiniões. As questões versam sobre a contextualização adequada do assunto, relevância dos aspectos filosóficos abordados, linguagem utilizada, pertinência da história apresentada, e, finalmente, se o utilizariam como subsídio para a preparação de suas aulas. Também é deixado um espaço para comentários gerais e demais sugestões.

## 5 ATOMISMO: UM RESGATE HISTÓRICO E FILOSÓFICO PARA O ENSINO DE QUÍMICA

Neste capítulo, apresenta-se o texto que foi desenvolvido, o qual foi objeto de avaliação pelos acadêmicos que constituíram a amostra da pesquisa.

### 5.1 INTRODUÇÃO

As ciências não são obra do acaso e nem um produto instantâneo do pensamento humano, pelo contrário, a construção do conhecimento é um processo histórico e coletivo. Com a química, a situação não é diferente. No ensino desta matéria, há tentativas de se contemplar aspectos históricos dos conteúdos abordados. Essa iniciativa aparece em livros didáticos e em programas de exames de ingresso às universidades, por exemplo.

No entanto, ao analisar essa história com um olhar mais minucioso e crítico, percebe-se falhas que vão desde a origem dos fatos até a forma como são relatados. Um dos temas onde a história faz parte do currículo e das preocupações didáticas dos professores é o atomismo. A sequência apresentada, em geral, é bastante simples: Dalton retoma diretamente as ideias de Demócrito, abordando-se, em seguida, os modelos atômicos de Thomson, Rutherford, Bohr, e o modelo atual (pontuado por proposições da mecânica quântica, como a dualidade onda-partícula).

De imediato, pode-se fazer alguns questionamentos sobre essa sequência: quantos anos de história separam Demócrito de Dalton? É possível que um conceito adormeça e 'ressuscite' sem motivo aparente após dois mil anos? Os átomos de Demócrito e de Dalton representam, conceitual e epistemologicamente, a mesma coisa? A história do atomismo é linear, ou seja, fruto de uma acumulação contínua de conhecimentos? A ciência diz respeito apenas aos cientistas, independentemente do contexto em que é criada?

Pesquisadores da área de história, e também do ensino de ciências, têm se ocupado com essas e outras questões. Sendo a maior fonte de referências para professores e alunos, os livros didáticos de química, tanto de ensino médio como superior, são problemáticos acerca de questões históricas. Entre outros fatores, a pesquisa aponta que os livros didáticos apresentam informação histórica “predominantemente ligeira e superficial”<sup>[1]</sup>. Há casos onde os cientistas são apresentados como pessoas geniais, de inteligência incomum, como se habilidades cognitivas e individuais fossem os únicos fatores relevantes no trabalho científico. É também usual a supressão dos problemas que deram origem às ideias científicas, de forma que os conceitos são simplesmente mencionados de maneira a-histórica.

Além disso, por meio de análise dos livros didáticos, pesquisadores concluem que os autores procuram manter o foco nas ideias que “deram certo”, reforçando indiretamente a noção de que a ciência se modifica de maneira linear e acumulativa<sup>[1]</sup>; existe elevada incidência de que a ciência é desenvolvida pelo trabalho de personagens individuais e que há tendência de os livros didáticos copiarem seus antecessores – muitas vezes de maneira acrítica<sup>[2]</sup>.

Essas questões merecem atenção e são objeto do presente texto, cujas preocupações são compartilhadas por diretrizes governamentais expressas em documentos como os PCN (Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio, 1999), PCN+ (PCN+ ensino médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, 2002) e, mais recentemente, as OCEM (Orientações Curriculares para o ensino médio, 2006), textos que buscam apontar problemas e sugerir diretrizes e estratégias objetivando a melhoria do ensino e da aprendizagem em âmbito nacional.

As OCEM reconhecem que a realidade escolar ainda é marcada pelo conteudismo que restringe o aprendizado de química à reprodução dos saberes passados pelo professor<sup>[3]</sup>, de modo que um dos fatores de grande importância para o ensino apontados pelas mesmas, na área da química é o da contextualização sócio-histórica dos conhecimentos científicos.

A preocupação com a história e filosofia da ciência no ensino de química é demonstrada também nos PCN+, constando como item da competência que diz respeito à contextualização sócio-cultural, a qual corresponde à inserção dos conhecimentos

da química nos diferentes setores da sociedade, reconhecendo-a como parte de diferentes contextos históricos <sup>[4]</sup>. Já os PCN são mais enfáticos na questão da história da química, afirmando que esta deve permear todo o ensino de química, possibilitando ao aluno a compreensão do processo de elaboração desse conhecimento, com seus avanços, erros e conflitos <sup>[5]</sup>.

No que diz respeito à filosofia, uma ideia bastante corrente na comunidade científica é a de que os químicos, em geral, não possuem interesse algum em filosofia da ciência. Esse desinteresse vai tanto na direção dos químicos como dos filósofos da ciência, os quais, em tempos modernos, raramente dedicaram-se aos problemas da química, tomando a física como ciência-modelo para suas análises, afirmando que, sem dúvida, os físicos são a origem dessa opinião <sup>[6]</sup>. O fato é que tal desdém pela filosofia da ciência levou os químicos a estarem inconscientes a respeito de sua própria metodologia <sup>[6]</sup>. Portanto, é necessário promover oportunidades para a compreensão epistemológica, proporcionando ao químico – e aos estudantes dessa ciência – um pensar crítico e reflexivo sobre a construção científica.

Tendo em vista os fatos apresentados, o presente texto tem como proposta fazer um resgate histórico do atomismo, assunto central e contemplado curricularmente na disciplina de química. Pretende-se abordar a trajetória pela qual passou o atomismo da antiguidade à descoberta do elétron e também buscando discutir questões epistemológicas relacionadas ao desenvolvimento científico desse conceito. Assim, objetiva-se evidenciar que:

- 1) O átomo tem uma história, e que essa história é muito distinta da que é contada nos livros didáticos;
- 2) A ciência não é uma construção linear – que há controvérsias e diferentes acepções acerca da estrutura da matéria e do conceito de átomo;
- 3) Em cada época existe uma filosofia hegemônica, e que as diferentes filosofias tiveram grande influência nas questões referentes à atomística;
- 4) O atomismo é uma matéria complexa e profunda, e que não pode ser abordado de forma tão superficial, como geralmente ocorre nos livros didáticos e no contexto escolar.

## 5.2 O PRINCÍPIO DA TEORIA ATÔMICA: ANTIGUIDADE

O que somos nós? O que é a vida? Para onde vamos? De onde viemos? Do que é feito o mundo? Não se sabe quando o ser humano começou a fazer esses questionamentos, mas em dado local, em um determinado período da história, elas foram sistematizadas e soluções foram propostas de um modo tal que ressoam na ciência e filosofia contemporâneas. Isso data da época de cerca de 600 a.C., quando o pensamento dos filósofos denominados pré-socráticos começou a impactar a sociedade das cidades-estado que compunham o que hoje denominamos de Grécia. Suas indagações incluíam a origem, a natureza, as transformações da matéria e a relação da matéria com o divino [7].

Dentre todos os outros povos que habitavam a Europa na antiguidade, cabe ressaltar que não é uma casualidade que o pensamento tenha se desenvolvido com tanta florescência na Grécia. Quatro fatores podem ser elencados como determinantes para essa questão [8]:

1) Fator geográfico: as cidades-estado que compunham o território grego encontravam-se na rota que ligava o ocidente ao oriente. Assim, o tráfego frequente de viajantes permitiu inúmeras influências intelectuais.

2) Fator etnográfico: diz respeito à miscigenação cultural consequente das múltiplas influências estrangeiras em ação no contexto grego.

3) Fator econômico: dada a sua localização geográfica, não é estranho que o comércio fosse uma atividade bastante presente, que trouxe prosperidade econômica à região.

4) Fator sociopolítico: relaciona-se ao estabelecimento de uma rede de cidades-estado que cooperavam e debatiam seus interesses, em uma atmosfera de abertura intelectual e tolerância, e que escapava da interferência religiosa dogmática – fato singular na época. Essa configuração deu início à democracia, diferente da tirania e centralização do poder vividas por outros povos, como os egípcios.

Portanto, é possível afirmar que a Grécia agregou em seu território aspectos particulares e únicos para a época, e que realmente fomentaram a frutífera produção intelectual.

Retornando às questões que foram colocadas no início do texto, a mais pertinente para o presente estudo é “Do que é feito o mundo?”. É possível admitir que, olhando para a natureza nas suas mais diferentes formas e manifestações, essa pergunta é imensamente difícil de ser respondida. Afinal, de que matéria primordial, do quê realmente é constituído tudo aquilo que vemos, sentimos e somos? Teorias para responder à questão não faltaram. Thales de Mileto (624 a.C. – 544 a.C.) propôs que a água seria a matéria primordial, da qual, por processos de rarefação e condensação, originariam o fogo, o ar e a terra<sup>[7]</sup>. Já Anaxímenes (585 a.C – 525 a.C.), pensou de forma similar a Thales de Mileto, porém, adotando o ar como princípio fundamental, de modo que água, terra e pedra seriam condensações consecutivas do elemento, e, a rarefação do ar, levaria ao fogo<sup>[7]</sup>. Houve ainda quem pensasse que terra seria o princípio fundamental – Xenófanes de Colofônia (560 a.C. – 476 a.C.), e quem propusesse simplesmente que todos os quatro elementos eram os constituintes dos objetos e os seres, como Empédocles (490 a.C. – 430 a.C.)<sup>[7]</sup>.

Ainda na questão da composição do universo, Leucipo teve uma ideia que fugia do apelo sensível dos elementos de seus antecessores. Ele imaginou que a matéria seria feita de partículas muito pequenas, com variadas formas geométricas, fora do alcance dos sentidos e que, através de sua combinação, formariam tudo que há no universo. Essas partículas ele denominou de “átomos”, uma palavra que significa, em grego, indivisível [9]. Sob essa perspectiva, o universo seria composto de partículas que transitam aleatoriamente e colidem-se no vazio. Mas de onde teria surgido essa ideia? Afinal, a natureza parece contínua. O ar é contínuo, assim como os oceanos. À primeira vista, a ideia de átomo parece contra-intuitiva. No entanto, algum fenômeno a deve ter gerado.

Segundo Gaston Bachelard, a noção de particularização da matéria teria origem, primariamente, nos fenômenos da poeira e do pó, de forma que a poeira seria a imagem mais simples do atomismo<sup>[10]</sup>. E que, justamente por sua simplicidade, permaneceu. O fenômeno da particularização é observado quando se esmaga um pedaço de pedra, tornando-a um pó.

Esse fenômeno induz a uma reflexão sobre a estrutura da matéria e sobre um limite para essa divisão. De todo modo, cabe ressaltar que existem fenômenos visuais que levam à noção de uma partícula última da matéria – o átomo.

Por meio dos fenômenos da deterioração de diversos materiais como rochas e metais, bem como da decomposição da matéria viva, em terra, pode-se concluir que o átomo seria eterno e indestrutível. 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 [10].

E o vazio? Da mesma forma que o átomo, o vazio teria também uma inspiração visual, que seria o ar imóvel. Se não há vento, então o ar estático parece desprovido de matéria. Inclusive, a noção de que o espaço é preenchido por ar é um fato que se aprende na escola, pois tem-se como intuição primeira pensar que o espaço é vazio.

Desse modo, Leucipo pode ter imaginado que os átomos seriam indestrutíveis, imutáveis e estariam em contínuo movimento no vácuo [7]. É interessante ressaltar que a existência de Leucipo é questionada por historiadores [7]. No entanto, se ele realmente existiu, foi o mestre de Demócrito de Abdera (460 a.C. – 370 a.C.), que tem o mérito de sistematizar o pensamento de Leucipo, fazendo dele uma verdadeira Teoria Atômica [7]. Um terceiro atomista importante no contexto da Grécia antiga foi Epicuro (341 a.C. – 270 a.C.), que adicionou aos átomos o conceito de peso para justificar o fato de que os objetos caem em direção ao chão. Ainda assim, os átomos devem possuir liberdade para se movimentarem, e, por isso, Epicuro elabora o conceito de *clinamen*, que seria uma espécie de energia que manteria os átomos em constante movimento [8].

Conceitualmente, parece que as diferentes visões sobre a constituição do mundo não provocariam mais do que elegantes desacordos entre os pensadores. Mas, a realidade, é que as questões relativas a esse assunto suscitam uma problemática maior e mais complexa, que diz respeito a um criador do universo, e, também, de seus propósitos. O atomismo grego não era um conceito isolado na tentativa de explicar o mundo, mas parte integrante de sistemas filosóficos maiores.

Nesse sentido, é pertinente observar o pensamento de Epicuro. Esse filósofo ficou conhecido como aquele que queria

livrar os homens do medo da morte e da ira dos deuses <sup>[8]</sup>. Ele propunha que não há vida após a morte, de modo que, após o falecimento, os átomos do corpo e da alma se desintegram, sendo entregues ao acaso e chocando-se em colisões aleatórias. Com a sua filosofia estritamente materialista, Epicuro propõe, por exemplo, que os homens devem aproveitar a vida ao máximo, contentar-se com pouco e viver de maneira simples <sup>[8]</sup>. O atomismo, nesse modo de pensar, justifica a materialidade da vida, simplifica-a em fenômenos físicos e exclui a existência de um ser superior e criador, na medida em que os átomos *sempre* existiram e estão colidindo ao acaso, livres no espaço vazio.

O poeta-filósofo romano Lucrécio (95 a.C – 55 a.C) propaga o pensamento grego e expõe, em sua famosa obra, “*De Rerum Natura*”, as ideias atomistas de Demócrito e Epicuro <sup>[7]</sup>. A obra é composta de seis livros, sendo que o primeiro estabelece os princípios básicos do atomismo, e, o segundo, os movimentos, propriedades e combinação dos átomos. Os demais, tratam de assuntos como a natureza mortal da mente e espíritos, explicações sobre o pensamento e sensações, e fenômenos celestiais e terrestres [9].

No entanto, apesar dos esforços e da abstração afiada dos atomistas, a realidade é que “... os gregos não aceitavam e até mesmo ridicularizavam o atomismo” <sup>[7]</sup>. Seria, então, outro grego a propor uma teoria que melhor se adequasse ao pensamento de seus conterrâneos.

Aristóteles (384 a.C – 322 a.C.), desacreditava naquilo que os atomistas tinham como princípio: o vazio, o acaso, e a indivisibilidade da matéria. Ele desenvolveu um sistema cosmológico complexo, no qual o mundo sublunar seria composto de quatro elementos (ar, terra, água e fogo), e o mundo supralunar, constituído por éter. Em grande parte, a rejeição ao vazio é relacionada aos princípios de Aristóteles para o movimento dos corpos *Aristóteles era convencido de que não apenas era desnecessário insistir no vazio, como que o movimento no vazio era impossível* <sup>[8]</sup>. Uma das razões para isso era a de que, um corpo, se lançado no vazio, não teria nada que o freasse, e, portanto, jamais pararia. Como não é isso que se observa na realidade, Aristóteles conclui que o vazio não existe e, se essa proposição é tomada como verdadeira, os átomos não existem por consequência, uma vez que o vazio é parte fundamental da teoria atômica.

Além disso, Aristóteles acreditava que o mundo era produto de uma intenção racional de um ser superior, visão claramente contrastante com a dos atomistas [8]. Leucipo e Demócrito eram deterministas e materialistas, de modo que acreditavam que o mundo era resultado de leis naturais, sem procurar explicações para um propósito ou causa final, como Aristóteles e Platão [11].

Tanto as teorias dos atomistas quanto a de Aristóteles e seus predecessores têm em comum o caráter realista de suas proposições. Isso quer dizer o seguinte: todos eles atribuem à matéria características inatas, que determinam sua composição e propriedade. Cabe dizer que as proposições dos atomistas apresentam variações. Por exemplo, Epicuro atribui peso aos átomos, algo que Demócrito não afirmava. No entanto, apesar das diferentes concepções quanto a esse conceito, permanecem fixas duas ideias: a de que existem partículas indivisíveis – átomos, e o vazio. Nesse sentido, é atribuído o termo atomista aos pensadores que têm como base essas duas noções.

Assim, para certos atomistas, um objeto é vermelho porque seus átomos são vermelhos, e isso exemplifica bem o que é o realismo: é afirmar que essas propriedades existem independente do julgamento e do ser que as observa. A mente e as interpretações nada teriam a ver com isso. Hoje, tem-se a compreensão de que a cor vermelha é oriunda de fenômenos de interação da matéria com a radiação, e está relacionada à capacidade humana de perceber e interpretar a luz quando esta alcança os olhos. É algo bem diferente e muito mais complexo do que essa atribuição imediata.

Dito de outra forma, o realismo, em sua forma mais ingênua, compreende o fenômeno atribuindo puramente e simplesmente a essência do ser a uma qualidade. Pode-se pensar que uma superfície é áspera por conter átomos pontudos. Assim, a qualidade de ser áspero não está na mão de quem toca, nem da composição dos átomos, nem de qualquer outro fator exterior, e sim, no próprio átomo.

Apesar de ser uma atribuição simples e imediata, é, no entanto, infértil. A limitação do realismo reside no fato de que ele explica tudo e não fornece espaço para uma maior abstração.

Para escapar de uma associação tão simplista, Demócrito seria então adepto de uma vertente do realismo denominada “realismo crítico”, mais moderada, que não atribui ao objeto todas

as suas propriedades, responsabilizando também o sujeito por suas impressões <sup>[12]</sup>. Assim, para Demócrito, os átomos têm inerentemente fatores como forma e tamanho, mas as cores e sabores (por exemplo) que eles proporcionam são produto da interpretação do sujeito que as sente <sup>[12]</sup>.

Apesar de ser um modo de pensar recorrente no pensamento científico, o realismo, esta atribuição dos fenômenos aos objetos, é considerada por alguns pensadores como um obstáculo ao andamento da ciência <sup>[10]</sup>. Um dos grandes problemas com o modo realista de pensar encontra-se no fato de que “o realismo sempre tem razão” <sup>[10]</sup>. Isso reside no fato de que o realista tem o real ao seu favor. A explicação do realista é mais imediata e convincente. Pensando no sabor que uma substância ácida causa à língua: é mais fácil imaginar que isso é causado por átomos pontudos que a espetariam *ou* que ocorre a dissociação de uma molécula, que libera íons, os quais reagem com os receptores da língua e transmitem uma sensação ao cérebro que, finalmente, emite uma sensação desconfortável?

Embora se tenha conhecimentos científicos que, sob a ótica atual, levem diretamente ao segundo raciocínio, é indiscutível que o primeiro é mais simples, imediato e fornece uma explicação logicamente razoável. Ora, se uma agulha é pontuda e espeta, sabor azedo pode muito bem ser oriundo de minúsculas agulhas que espetam simultaneamente a língua. Assim, justamente por suas atribuições imediatas e simplistas, por sempre ter razão, constitui-se um obstáculo à abstração e a outras hipóteses para a existência de um dado fenômeno.

É interessante observar como o realismo, enquanto concepção filosófica, abre espaço para o desenvolvimento de ideias tão distintas como as de Demócrito e Aristóteles. No entanto, enquanto a noção de átomo sofrera grande rejeição, as proposições de Aristóteles difundiram-se amplamente, tendo ressoado por aproximadamente 2000 anos, apesar das críticas sofridas durante esse período por diversos pensadores <sup>[7]</sup>, embora de forma descontínua na baixa Idade Média.

Os fatos históricos que se seguiram determinaram a extensão e a influência da herança cultural grega até dias presentes: os romanos invadiram a Grécia, incorporando características importantes do pensamento grego, e espalhando-o pelo resto da Europa, à medida que iam conquistando o resto do continente.

Apesar da grande influência que o pensamento grego exerceu por todo o ocidente, cabe mencionar que outros povos tinham suas próprias ideias para a constituição e origens do universo. No que diz respeito ao atomismo, é imprescindível ressaltar que essas ideias também despontavam no longínquo território da Índia por volta do século VI a.C. A questão sobre se os indianos influenciaram os gregos (ou o contrário), ou se esses processos ocorreram de forma independente ainda é motivo de debate entre historiadores <sup>[13]</sup>. De todo modo, o fato é que o atomismo desenvolveu-se na Índia, mas com a diferença de ser agregado a sistemas teológicos, de maneira bastante diferente daquela dos gregos, que tinha como propósito libertar os homens da religião.

No contexto medieval, os Árabes também desenvolveriam uma forma própria de atomismo, que, teria como propósito a exaltação da presença de Deus.

### 5.3 O ÁTOMO NO CONTEXTO MEDIEVAL E OUTRAS TEORIAS PARA A ESTRUTURA DA MATÉRIA

A Idade Média é caracterizada, no ocidente, pela hegemonia do cristianismo e pelo grande poder sóciopolítico que a Igreja Católica deteve nesse período. Desse modo, enquanto sistema religioso e filosófico dominante na Europa posicionou-se incisivamente frente aos costumes e ideias que circulavam na época, incluindo-se as ideias dos pensadores gregos. Sendo sua referência principal os ensinamentos bíblicos, mostrou aversão quanto a noção de entidades indivisíveis ou de qualquer substância primordial da qual tudo seria formado <sup>[8]</sup>.

Dentre as ideias lançadas pelos grandes filósofos da Antiguidade, e no que diz respeito ao quesito “composição da matéria”, a Igreja tinha maior afinidade com as proposições de Platão e Aristóteles, que também rejeitavam o atomismo e uma única matéria primordial, de modo que a influência de Platão foi mais significativa até o século XII, e a de Aristóteles, desse período em diante. Esse fato tem origem na interpretação de São Tomás de Aquino sobre o mistério da transubstanciação que

ocorre na Eucaristia, e tem como consequência a “cristianização” do grego e ampla aceitação de suas ideias entre o clero <sup>[8]</sup>.

Por outro lado, uma filosofia que tem por princípio livrar os homens do medo da morte, falar em partículas que existem sem um criador e que movem-se aleatoriamente não é exatamente compatível com os interesses do cristianismo abundantemente disseminado na Europa. Assim, não é de se estranhar que a teoria atômica tal qual proposta por Epicuro tenha sido considerada alta heresia por parte da Igreja Católica.

É interessante apontar o impacto cultural que causaram tais objeções à teoria atômica. Dante Alighieri, em sua mais famosa obra, A Divina Comédia, retrata a viagem de um homem do inferno ao paraíso, passando pelo purgatório, em busca de Beatriz, figura que representa a virtude e o bem supremos. Como homem bastante fiel às crenças do catolicismo, retratou a história de acordo com os princípios bíblicos e colocou nos distintos níveis as pessoas conforme as suas ações. Por exemplo, os santos encontravam-se no paraíso. Os assassinos, no inferno. Todos aqueles que nasceram antes de Cristo, bem como as crianças que morreram antes de serem batizadas, tiveram o limbo como destino. Como os filósofos da antiguidade são antecessores ao nascimento de Cristo, lá encontram-se. Uma alma destaca-se dentre as outras:

Olhando um pouco à frente vi o imortal  
Mestre de todo saber  
Sentado em reunião filosofal.  
Honrarias todos vão lhe oferecer;  
Sócrates vejo entre eles e Platão  
Mais próximos que os outros, a o entreter <sup>[14]</sup>.

A figura em questão é a de Aristóteles, tratada por Dante com toda a pompa literária e sendo bajulado por outros filósofos. Tal retrato mostra como eram intensos o respeito e a presença do pensamento aristotélico no contexto medieval.

No entanto um filósofo não foi para o limbo. Epicuro, que, por desdenhar da presença e interferência divinas, foi posto no inferno. Mais precisamente, no círculo (uma espécie de subnível do inferno) dos hereges. Tal atitude demonstra a enorme repulsa pelas ideias desse filósofo. É curioso notar que até mesmo Demócrito foi posto no limbo, mas, por embutir tão avidamente

pressupostos contrários à religião e vida após a morte, Epicuro era considerado uma espécie de herege-mor, padecendo, portanto, no inferno segundo o pensamento de Dante e em consonância com o cristianismo da Idade Média.

Como ocorreu com outros ramos da atividade científica, a especulação sobre a composição do universo foi proibida, dado que a “verdade” já tinha sido descrita por Aristóteles e incorporada ao pensamento cristão.

Entretanto, os escritos deixados pelos antigos filósofos gregos e seus discípulos ainda se faziam disponíveis no ambiente medieval europeu. Paradoxalmente, as ideias de Demócrito e Epicuro sobreviveram por causa da crítica de Aristóteles à teoria atômica, o que permitia o contato e até mesmo a ressurreição das teses antigas, no sentido de dar-lhes uma relevância perdida<sup>[8]</sup>. Tal foi o caso de William de Ockham (1300-1350), um monge franciscano inglês que criticou severamente a física de Aristóteles e postulou que a matéria deveria ser composta de partículas elementares<sup>[8]</sup>. Contudo, no contexto europeu medieval, suas ideias não tiveram espaço para florescimento, sendo sua obra condenada em 1340 pela Igreja. Nicholas de Autrecourt (1300-1350) também foi um entusiasta do atomismo, e, como Ockham, criticou a física aristotélica, aconselhando que se observasse a natureza e recusasse a autoridade dos professores. Não surpreende que o destino de suas ideias tenha sido a fogueira. Em 1347 foi forçado a renunciar suas ideias publicamente e queimou seus escritos<sup>[8]</sup>.

Simultaneamente, no oriente médio, o atomismo propagava-se, mas de uma forma diferente: o objetivo do atomismo árabe era afirmar a onipotência de Deus, com uma natureza religiosa, em oposição ao atomismo grego<sup>[8]</sup>. Enquanto o cristianismo e o judaísmo execravam as posições atomistas, o Islã tem o mérito de ter sido a primeira religião monoteísta a conciliar a crença em Deus com uma visão corpuscular da matéria, criticando, também, a física de Aristóteles<sup>[8]</sup>.

Além disso, no âmbito da Alquimia, houve o desenvolvimento da teoria enxofre-mercúrio, segundo a qual metais seriam compostos de uma combinação de enxofre e mercúrio, de autoria do árabe Jabir ibn Hayyan como complemento aos quatro elementos aristotélicos<sup>[7]</sup>. Mais tarde, o médico Paracelso (1493-1541) adota o *tria prima*, de forma que os metais seriam compostos desses dois elementos, mais o sal,

e o aplica na medicina, de forma que as doenças seriam um desequilíbrio desses três princípios. Relacionou o enxofre à propriedade da combustibilidade, o mercúrio à volatilidade e o sal à incombustibilidade <sup>[7]</sup>. Assim, a febre, por exemplo, seria um excesso de enxofre, que deveria ser equilibrada pelo consumo de sal.

Sobre o trabalho como químico-médico, afirma-se que Paracelso concebe o tratamento de doenças do corpo humano pela ingestão de remédios à base de uma farmacologia química. Supostamente, processos e transformações químicas no interior do organismo explicariam a cura. A experimentação em um campo novo, sem bases teóricas claras, com frequência desencadeava a morte do paciente. Esse andar às cegas, de tentativas isoladas de acerto com base na correção de erros, é característico de um período que antecede a química moderna <sup>[15]</sup>.

#### 5.4 TENTATIVAS DE CRISTIANIZAÇÃO DO ÁTOMO: POLÊMICAS COM A IGREJA CATÓLICA

Por volta do século XVI, a Igreja Católica começa a perder espaço e poder no cenário europeu, fato decorrente especialmente das reformas protestantes que despontaram nesse período. Como consequência desse declínio, o controle que essa instituição tinha sobre o pensamento e o desenvolvimento científico começa a enfraquecer, originando o período que hoje se conhece como Renascimento.

Como em diversos ramos da ciência, a questão da composição da matéria volta à cena. E, com ela, uma nova hipótese atômica. Nesse novo contexto, em processo de abertura, ocorre a iniciativa do padre francês Pierre Gassendi (1592-1655) de trazer o átomo ao pensamento da época, aliando-o aos princípios cristãos. Para isso, começou reabilitando a filosofia de Epicuro. Por exemplo, Gassendi propôs que os átomos teriam sido criados por Deus, de forma que permanecem sob a ação e vontade do Criador <sup>[8]</sup>. Ou seja, abandonou princípios dos atomistas antigos que conflitassem com a filosofia

cristã. Além disso, do mesmo modo que outros atomistas, criticou a física aristotélica.

Outro personagem merece destaque na discussão dos atomistas. Amplamente conhecido por seu trabalho como astrônomo e pelo seu infeliz conflito com a Igreja, Galileu Galilei (1564-1642), nascido na Itália, também esteve envolvido nas polêmicas relacionadas ao átomo. Além de estudos marcantes na área da mecânica, uma das principais contribuições de Galileu deu-se na investigação do céu com o uso do recém-inventado telescópio, o qual foi sendo aperfeiçoado pelo italiano na medida em que suas pesquisas progrediam. Suas observações forneceram evidências que davam suporte à teoria heliocêntrica de Copérnico, motivo pelo qual se atribui seu conflito com o clero <sup>[16]</sup>.

No entanto, em 1982, Pietro Redondi descobriu, nos arquivos secretos do Vaticano, um documento que aparenta ser uma denúncia de heresia contra Galileu, acusando-o de endossar o atomismo. A tese de Redondi é que esta pode ter sido a real causa do choque com a Igreja, sendo a questão cosmológica um bode expiatório usado para evitar a disseminação das ideias atomísticas entre o povo <sup>[17]</sup>. Embora essa versão da história seja controversa entre historiadores, é fato que Galileu aderiu abertamente às ideias de Demócrito e Epicuro, de modo que trechos de seus escritos nesse sentido podem ser encontrados nas obras *Il Saggiatore* e *Dialogue* <sup>[17]</sup>.

Dada a popularidade da obra de Galileu e da necessidade de evitar um maior alastramento das ideias atomísticas do cientista, a estratégia da Companhia de Jesus contra o grande adversário procurou, entre outros direcionamentos:

- 1) Desacreditar a enorme autoridade científica conquistada por Galileu em astronomia, explorando todas as vantagens que se podiam tirar da condenação de suas convicções copernicanas.

- 2) Objetar-se à ideia do recém-descoberto vazio, especialmente pelos experimentos de Evangelista Torricelli.

A ideia do vazio era um ponto de altíssima importância que fosse refutado, uma vez que, mesmo se não se podia mais falar

de átomos, era sempre uma maneira de estar mais próximo de Demócrito do que Aristóteles<sup>[17]</sup>.

Na Itália, terra de Galileu, a influência da Igreja ainda se fazia sentir de maneira bastante contundente, restando a ele negar publicamente suas ideias – no caso, sua adesão a Copérnico – e pagar a pena de prisão domiciliar perpétua.

Giordano Bruno (1548-1600), outro italiano, teve um destino mais trágico por heresias semelhantes às de Galileu. Bruno era um atomista entusiasta, embora acreditasse que entre um átomo e outro houvesse o éter, em vez do vazio proposto pelos atomistas antigos. Ao defender o universo infinito, Bruno rejeita as proposições de Aristóteles, especialmente as referentes à cosmologia, como a hierarquia entre mundo celestial e sublunar. Apesar de sua crença em Deus, manifestou uma espécie de panteísmo pessoal e questionava alguns dogmas da Igreja, como o conceito de pecado original<sup>[8]</sup>. Tudo isso o colocou em rota de colisão com a Igreja, sendo acusado de heresia e pagando pelos seus “pecados” com a vida.

Já do núcleo protestante da Europa, a ciência desenvolvia-se com um pouco mais de liberdade. O país que se destaca nesse sentido é a Inglaterra, que se separa da Igreja Católica no século XVI sob as ordens de Henrique VIII, que toma essa atitude drástica pelo desejo de divorciar-se de sua esposa e casar-se novamente, na esperança de ter um herdeiro, já que a primeira mulher não lhe tinha dado. Apesar da constante tensão religiosa pela qual passou o país nas décadas que se seguiram, a perseguição científica não era tensa como nos países onde a presença da Igreja era fortemente sentida, como na Espanha e na Itália.

No que diz respeito à alquimia, embrião místico da ciência química, no século XVII havia chegado ao limite, no sentido de que as teorias da época não davam qualquer explicação satisfatória para as relações entre a imensa quantidade de substâncias conhecidas e suas reações<sup>[18]</sup>. A busca pela transmutação dos metais em ouro, a pedra filosofal e o elixir da vida eterna havia falhado. Apesar de suas contribuições em termos de equipamentos (vidrarias), métodos (destilação) e substâncias (conhecimento do comportamento dos metais, caracterização do álcool e de ácidos inorgânicos) para a química, suas características ocultistas eram objeto de rejeição daqueles que buscavam uma metodologia mais rigorosa em termos

teóricos para o entendimento das transformações da matéria. Desse contexto, uma ciência nasceria.

## 5.5 A QUEDA DOS ELEMENTOS DE ARISTÓTELES E O NASCIMENTO DA QUÍMICA QUANTITATIVA

A prática química que se desenvolvera até esse período é marcada pela aquisição de inúmeros fatos, ou seja, muitos dados sobre reações e tipos de compostos. No entanto, uma teoria que explicasse tamanha multiplicidade de dados não havia sido encontrada, de modo que cada químico tinha sua teoria particular e nenhum sistema geral ainda tinha sido delineado. Assim, a ciência do século XVIII pode ser entendida como em período de adolescência, um período de transição, de evolução, de modo que regras básicas, definições, limites e procedimentos ainda estavam sendo desenvolvidos<sup>[18]</sup>.

Esses dois séculos foram marcados por figuras importantes, sendo que uma delas é Robert Boyle (1627-1691), que se revela como um atomista cristão. Embora fosse partidário do atomismo, foi militante na luta contra a disseminação do ateísmo que ameaçava insurgir na Inglaterra naquela época<sup>[8]</sup>. Entre o estudo de obras de outros pensadores, seu interesse sobre a teoria atômica é especialmente conectado à leitura das obras de Gassendi, elaborando sua própria “teoria corpuscular”. Assim como seus antecessores, era crítico da doutrina aristotélica. Boyle teve grande contribuição para o campo da química com a obra “*Sceptical Chymist*”, que, por alguns historiadores é considerado o marco inicial desta ciência, na medida em que preconiza parâmetros rígidos para esta. Suas contribuições principais podem ser enumeradas da seguinte forma:

- Percebeu que a química merece ser estudada por ela própria, não apenas como uma ciência auxiliar da medicina, ou como Alquimia (embora acreditasse na transmutação);

- Introduziu na química um método experimental rigoroso;
- Apresentou uma definição clara de “elemento”, e mostrou experimentalmente que nem os quatro elementos de Aristóteles, nem os três princípios dos alquimistas paracelsianos são elementos <sup>[7]</sup>.

Era de se esperar que Boyle então propusesse seus próprios elementos, mas ele afirma simplesmente que estes seriam:

Corpos primitivos simples ou perfeitamente homogêneos, os quais, sendo constituídos de nenhum outro ingrediente [...] dos quais os corpos compostos são feitos e nos quais estes podem ser, em última instância, decompostos <sup>[8]</sup>

Outro inglês imprescindível de ser mencionado é Isaac Newton (1642-1727), que também teve suas próprias visões acerca do atomismo. Newton era conhecidamente um religioso fervoroso e, por isso, jamais seria partidário do atomismo na forma como propuseram os gregos. No entanto, apenas raramente Newton usava as palavras átomo ou atomismo, de forma que ele tendia a evitar essas palavras, substituindo-as por termos como “a filosofia de Epicuro” ou “filosofia de Lucrecio. Newton, privadamente, insistia que a teoria era “erroneamente interpretada como ateísmo <sup>[19]</sup>.

Newton, contudo, adotou uma filosofia natural mecânica, que tinha muitas semelhanças com o atomismo clássico - isso incluía a noção de vazio, e de que a matéria seria composta por pequenas partículas <sup>[19]</sup>. Surpreendentemente, não atribuía a gravidade como força de atração entre as partículas, de forma que considerava que haveriam forças sim, mas de diferente natureza e que, a nível microscópico, a gravidade não teria efeito <sup>[8]</sup>. Seus muitos oponentes acusaram Newton de reintroduzir qualidades ocultas na ciência, e apesar de suas recusas indignadas, as acusações poderiam muito bem ser verdade. Para aceitação geral das proposições de Newton, eram necessárias

evidências experimentais, as quais não foram alcançadas por nenhum estudioso<sup>[19]</sup>.

Assim, o atomismo conforme proposto por Newton encontrou um obstáculo intransponível para a época. A importância de sua contribuição está em ter tentado aplicar seu modelo de forças de ação a distância aos átomos, conferindo-lhe um aspecto matemático e científico. No entanto, as proposições atômicas de Newton mostraram-se falhas e o átomo enquanto entidade física encontrou um fim nesse período, mas que serviria de inspiração para Dalton, quase um século depois.

Apesar do século XVII ter sido palco para o retorno do pensamento atômico por meio da bem-sucedida filosofia mecanicista, sua interação com a experiência química não obteve o devido êxito<sup>[18]</sup>. Com o fracasso em encontrar valores quantitativos para os parâmetros do átomo proposto por Newton, a noção de átomo foi novamente abandonada. Não mais porque era vista como uma ideia tola, ou porque era proibido sequer falar no assunto, mas porque não parecia factível. Não havia meios de encontrar a partícula fundamental da matéria nem algum efeito que só pudesse ser explicado pela teoria atômica.

Ainda assim, a ciência não deixou de evoluir por outros caminhos. A química quantitativa foi um grande avanço do período, que tem tanto a prerrogativa de medir quantidades de reagentes e produtos, quanto a de explicar quantitativamente fenômenos químicos<sup>[15]</sup>. As contribuições de Lavoisier também foram fundamentais não só para a química, mas também para a consolidação do atomismo científico no século XIX<sup>[8]</sup>.

A primeira delas é a decomposição da água em outras duas partes, o que provocou o abandono da teoria aristotélica dos quatro elementos<sup>[8]</sup>. Essa descoberta também leva à definição de elemento por Lavoisier: “... *todas as substâncias que não foram ainda decompostas por nenhuma maneira, consideramos elementos*”<sup>[8]</sup>.

A segunda é o estabelecimento da lei da conservação da matéria associada à demonstração da importância dos estudos gravimétricos na estrutura da matéria<sup>[8]</sup>. Um dos experimentos que levaram à formulação desta lei, foi a reação da fermentação, de forma que reagiu sacarose na presença de água e fermento e determinou com razoável rigor a quantidade de carbono, hidrogênio, oxigênio e azoto (nitrogênio), constatando sua conservação ao final da reação<sup>[7]</sup>.

## 5.6 INÍCIO DA ERA DO ATOMISMO CIENTÍFICO: PROPOSIÇÕES, CONFRONTOS E TEORIAS ALTERNATIVAS

A química moderna construída nos séculos anteriores, ergue-se sobre os princípios da racionalidade, empirismo, matematização e quantificação <sup>[15]</sup>. Ainda há que se levar em consideração que a ciência química estrutura-se em torno do composto químico, sendo que este conceito em sua forma moderna implica na existência de relações determináveis empiricamente entre as substâncias químicas, relações que expliquem as sínteses e análises químicas, bem como a composição e homogeneidade dos compostos químicos <sup>[15]</sup>.

E é nesse contexto, que em 21 de outubro de 1803, Dalton apresenta sua teoria atômica em uma palestra para sete pessoas, a qual seria posteriormente publicada, da mesma forma que outras conferências suas <sup>[15]</sup>. Sua teoria atômica difere daquela dos atomistas gregos por não ser apenas uma teoria corpuscular da matéria, mas também por explicar no novo paradigma sob o qual a química se encontrava, os fatos empíricos <sup>[15]</sup>.

Muitos historiadores afirmam que a teoria de Dalton tem como influência a concepção corpuscular de Newton, embora falte clareza a esse respeito nos próprios textos de Dalton. Além disso Dalton, meteorologista por formação, fez um grande trabalho experimental com gases, determinando a composição da atmosfera e estabelecendo relações estequiométricas para reações gasosas. Um dos grandes suportes para a teoria de Dalton é uma tabela de “*pesos relativos das últimas partículas de gases e outros corpos*”, sendo a primeira tabela de Pesos Atômicos.

A teoria atômica de Dalton forneceu à química a possibilidade de uma ordenação matemática com uma simplicidade pela qual se procurava há muito tempo. A teoria também criou uma conexão coerente com a composição

empírica, expressa pelos pesos atômicos característicos de cada elemento<sup>[18]</sup>.

Efetivamente, Dalton propunha que:

- 1) Todo elemento é subdividido em partículas últimas qualitativamente iguais, e diferentes das de qualquer outro elemento
- 2) As reações químicas são explicadas em termos de transferências ou transposições de átomos.
- 3) Quando os átomos de dois elementos se combinam, formam “átomos compostos” de um “elemento” mais complexo.
- 4) Quando os átomos de diferentes elementos se combinam entre si, o fazem segundo relações numéricas simples: uma partícula de A combina-se com uma de B, ou 1 de A com 2 de B e assim por diante<sup>[15]</sup>

As três primeiras proposições de Dalton não eram necessariamente originais. Contudo, a quarta proposição trazia algo realmente novo à teoria atômica, sendo uma grande fonte de problemas para o cientista por ser uma proposição estabelecida *a priori*<sup>[15]</sup>. Esta regra, segundo Dalton, resultava de circunstâncias físicas, uma vez que um menor número de átomos combinados teria uma maior estabilidade mecânica. Qualquer outro composto que envolvesse novas combinações dos mesmos elementos deveria ter proporções distintas: 1:2 ou 1:3 ou outras, que envolvessem números inteiros e pequenos<sup>[20]</sup>.

Mas o que levou Dalton a estabelecer algo tão controverso? O fato é que Dalton – juntamente com o caráter científico de sua teoria – baseia-se em fenômenos e na tentativa de relacioná-los matematicamente. A fundação dos princípios estabelecidos por Dalton encontra-se nas reações químicas com gases, relacionando o peso dos reagentes, com o peso dos produtos, bem como a composição química de todos os envolvidos na reação. O problema então era determinar a fórmula dos compostos segundo o peso de cada um dos seus elementos. No entanto, o estabelecimento do peso atômico é dependente da fórmula química do composto e vice-versa. Ora,

caso se tenha um saco com bolas, e se saiba o seu peso total, a fim de determinar o peso de cada bola, precisa-se necessariamente saber quantas existem! Daí a proposição da regra da maior simplicidade, para ter como base a fórmula dos compostos e aí sim, medir o peso de cada elemento isoladamente.

A regra da maior simplicidade foi um recurso usado como ponto de partida, mas que, infelizmente, levou a resultados errôneos. A fórmula da água, por exemplo, Dalton determinaria como sendo HO, por estabelecer que dois elementos se combinariam preferencialmente como compostos binários, a menos que outra causa exigisse o contrário <sup>[15]</sup>. O mesmo aconteceria com a amônia, e muitos outros compostos, o que não passaria ilesa do crivo da comunidade científica da época.

Hoje apresentadas de forma tão dogmáticas no contexto das aulas de química, as teorias de Dalton, Avogadro e Gay-Lussac fazem o mais perfeito sentido e parecem em perfeita consonância. Historicamente, contudo, a situação foi bem diferente. Em 1809, Gay-Lussac publica as leis volumétricas das combinações químicas. Nas palavras do cientista:

Parece evidente que gases sempre se combinam quando um reage com o outro em proporções simples. [...] É importante observar que considerando os pesos não há relações simples entre os elementos de qualquer composto [...] Gases, pelo contrário, quaisquer que sejam as proporções segundo as quais se combinam, dão origem sempre a compostos cujos elementos, em volume, são múltiplos um do outro <sup>[15]</sup>

Contudo, Dalton não aceitou a teoria de Gay-Lussac, que por sua vez, não aceitou a teoria atômica de Dalton, causando uma longa controvérsia entre os dois cientistas. Dalton argumentava que átomos iguais não poderiam ligar-se uns aos outros pois, segundo sua própria teoria, partículas de um mesmo gás se repelem <sup>[15]</sup>. Dalton também criticou os dados experimentais de Gay-Lussac, acusando-os de inconsistentes. Nessa discórdia tenta Avogadro conciliar as duas teorias, enquanto ele próprio faz sua contribuição fundamental, hoje conhecida como Hipótese de Avogadro: volumes iguais de

quaisquer gases ou vapores, contêm, nas mesmas condições de temperatura e de pressão, igual número de partículas. Posição trágica para a química da época, ambos Dalton e Gay-Lussac veementemente rejeitaram a proposição de Avogadro, o qual só seria reconhecido como grande cientista postumamente <sup>[15]</sup>.

Todas as contribuições dos cientistas mencionados apontavam para evidências que corroboravam o atomismo (ainda que eles mesmos não assumissem tal posição). Dalton poderia usar a teoria de Gay-Lussac para justificar a sua própria, e vice-versa, mas impedimentos experimentais e supervalorização das suas próprias ideias fizeram com que a química fosse prejudicada, bem como o atomismo, por perder em termos de evidências que poderiam ser usados para corroborá-lo.

Nesse contexto, pode-se, de maneira geral, classificar as percepções sobre o átomo nessa época segundo três visões principais:

- 1) Os que aceitam o átomo como realidade física
- 2) Os que rejeitam o átomo como realidade física
- 3) Os que rejeitam o átomo como realidade física, mas que o consideram uma útil explicação para determinados fenômenos. Assim, o átomo não é concebido como algo real, mas como um modelo.

Dentro dos que aceitam o átomo como realidade física, o universo é entendido em uma visão materialista: tudo o que existe é formado por átomos, partículas últimas da qual a matéria é constituída.

Rejeitar o átomo pode parecer uma ideia estranha nos dias de hoje, mas no início do século XIX a questão era de grande relevância. Um dos principais entraves para a sua aceitação era o caráter não-observável da partícula última da matéria, ou seja, não era possível observá-la diretamente e nem efeitos aos quais ela pudesse ser imediatamente atribuída. Ora, de que maneira aceitar como científica algo cuja observação não é possível? Não havia aparato experimental nem evidências suficientes que sustentassem que a matéria era feita de átomos. Mas só pode ser científico então aquilo que podemos ver?

A questão torna-se, então, mais profunda. Afinal, quais são os critérios de demarcação científica? O que é ciência e o que não é? Auguste Comte (1798-1857) cunhou suas próprias ideias

a esse respeito, em uma doutrina denominada positivismo e que teve grande influência no contexto francês, inicialmente, limitando ou até mesmo impedindo a disseminação das ideias atomísticas até mesmo no âmbito educacional, as quais foram tomadas como não-científicas <sup>[10]</sup>.

De acordo com Bachelard, uma boa maneira de descrever o positivismo seria a de que ele preconiza que a ciência é uma construção de fatos, somente pelos fatos <sup>[10]</sup>. Assim, teorias e especulações sobre a origem e funcionamento dos fenômenos não seriam científicas, de modo que não se deve postular nada que não possa ser submetido à verificação no laboratório. 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 nesse contexto seriam atividades para além do imediatamente detectável e observável, o que não seria condizente com os princípios positivistas <sup>[10]</sup>.

Assim, a Lei das Proporções Definidas, de Proust, seria uma expressão clara do 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 <sup>[10]</sup>. Dito de outro modo, sabia-se a quantidade de reagentes, a quantidade de produtos, os elementos dos quais eram feitos e era o que bastava para descrever uma reação química.

Apesar de todas as restrições que esta filosofia impunha, o fato é que as proposições de Comte tiveram impacto sobre cientistas de influência da sua época, os quais eram ativos participantes na controvérsia sobre a teoria atômica. No entanto, a filosofia de Comte foi danosa e, no fim, abandonada pela comunidade científica, pois era hostil para com os cálculos de probabilidade, criticava qualquer esforço para entender a constituição física de corpos celestes, rejeitava a ideia de unidade da matéria e condenava qualquer pesquisa direcionada a determinar sua estrutura, ao ponto de proibir o uso de microscópios <sup>[8]</sup>. Comte denunciou toda pesquisa física conduzida fora de condições “usuais”, todas as teorias de evolução de espécies biológicas, todas as investigações sobre a origem das sociedades e muito mais <sup>[8]</sup>.

Como resultado, o atomismo foi amplamente rejeitado entre os simpatizantes das ideias de Comte, especialmente na

França por conta da presença de Dumas e Berthelot, dois antiatomistas convictos. Dumas é autor da frase: *“se eu pudesse, apagaria a palavra átomo da ciência, pois estou convencido de que ela ultrapassa a experiência”*<sup>[15]</sup>.

Nesse contexto, outros cientistas tiveram diferentes ideias sobre a composição da matéria, de modo que a teoria de Dalton não era a única da época a pretender fornecer explicações sobre a estrutura da matéria. Havia teorias concorrentes, as quais são brevemente explanadas a seguir:

a. Teoria dos “átomos-turbilhão”: proposta por Lord Kelvin, é um aprofundamento da teoria cinética dos gases, que imagina o átomo como um anel tubular em contínuo movimento e explica de modo satisfatório propriedades como a elasticidade e o comportamento espectroscópico<sup>[15]</sup>.

b. A química matemática: seu autor, Brodie, considerava os átomos um “produto de marcenaria materialista” e elaborou uma teoria que supria uma demanda científica de matematização da química. Por ser de alta complexidade exigir conhecimentos matemáticos, acabou por ser abandonada<sup>[15]</sup>.

c. Energetismo: foi uma corrente filosófica bastante forte e coerente contra o atomismo. Ostwald, seu propositor, não acreditava no que não pudesse ser provado por meio de experimentos ou que não pudesse ao menos inferir ou calcular indiretamente a partir de dados empíricos. Foi franco opositor do atomismo ontológico, crítico do materialismo científico e criou uma química em torno do conceito de energia, já que esta, em suas diversas formas podia ser medida, ressaltando que, ao lado de Arrhenius e van't Hoff, Ostwald foi um dos criadores do ramo da Físico-química. Levada às últimas consequências, a teoria de Ostwald simplesmente negava a existência da matéria<sup>[8]</sup>. Sua posição científica o colocou em choque com atomistas, conflitando-se especialmente com Ludwig Boltzmann e Max Planck. Apesar de seus esforços, a teoria de Ostwald não foi frutífera e, posteriormente, ele rendeu-se ao atomismo<sup>[15]</sup>.

Somado às objeções filosóficas e teorias concorrentes para explicar a estrutura da matéria, o fato é que a teoria de Dalton tinha problemas. Tal como apontado por Gay-Lussac, algumas reações com gases não tinham o produto previsto pela teoria de Dalton.

A causa principal para esse erro reside na não-aceitação de moléculas diatômicas. Do contrário, Dalton afirmava que átomos de um mesmo elemento se repeliriam. Além disso, Dalton teve que formular hipóteses *a priori*, ou seja, postular ideias como ponto de partida. Além da impossibilidade da existência de moléculas diatômicas, Dalton admitiu que os átomos se combinavam em proporções fixas, o que nem sempre correspondia à realidade. 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:

- Lei de Dulong-Petit (1819): 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 <sup>[10]</sup>.

- Lei de Raoult: permite determinar o peso molecular de certas substâncias em função do abaixamento do ponto de congelamento do líquido onde elas estão dissolvidas <sup>[10]</sup>.

- 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, 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 <sup>[10]</sup>.

Apesar de todas as objeções, o fato é que o átomo era um modelo satisfatório para explicar fenômenos, mas sua existência real, como entidade física, ainda era motivo de dúvida para a comunidade científica. Mas isso iria mudar.

Em 1828, Robert Brown (1773–1858) havia publicado o artigo *“A brief account of microscopical observations made in the months of June, July and August, 1827, on the particles contained in the pollen of plants and on the general existence of active molecules in organic and inorganic bodies”*<sup>6</sup> no qual apresenta o que posteriormente viria a ser conhecido como “Movimento Browniano”. No documento, Brown descreve, de forma pormenorizada, suas observações e experimentos acerca do estranho movimento de pequenos grãos em água, que se moviam incessantemente sem causa aparente.

De forma sucinta, as contribuições de Brown nesse estudo podem ser enumeradas da seguinte forma:

- 1) observar o vívido movimento das pequenas partículas suspensas em água.
- 2) reconhecer de fato que esse movimento é exibido não apenas por partículas que são obtidas da matéria orgânica viva, mas também por partículas obtidas de material inorgânico morto <sup>[21]</sup>.

Mas o que isso tem a ver com átomos? A história é fascinante. Embora os trabalhos de Brown à época não tenham tido grande repercussão, a compreensão do fenômeno por ele investigado seria determinante para a consolidação do atomismo

---

<sup>6</sup> Um breve relato de observações microscópicas realizadas nos meses de Junho, Julho e Agosto de 1827 sobre partículas contidas no pólen das plantas e sobre a existência geral de moléculas ativas em corpos orgânicos e inorgânicos.

como conceito científico. É inusitado que um fenômeno identificado por um médico que trabalhava com botânica tenha sido seminal para as áreas da química e da física. Entre os cientistas que tomaram como base o trabalho de Brown estão Jean Perrin – que, por meio do movimento browniano, deu sustentação à teoria atômica pela determinação do número de Avogadro, obtendo-o por mais de 13 equações relativas a diferentes métodos<sup>[20]</sup> - e, posteriormente, Albert Einstein, cujos trabalhos se deram no âmbito da matematização do movimento, estabelecendo que a causa seria o choque entre partículas ínfimas – os átomos.

## 5.7 O ÁTOMO EXISTE. E TEM TOMOS.

Proposto em 1803, o modelo atômico de Dalton não sobreviveria até o fim desse século. Em meio às críticas e objeções às evidências experimentais ao átomo daltoniano, a suposta partícula indivisível passaria a ter divisões em 1897, sem mesmo que toda a comunidade científica estivesse convencida da existência dela.

Em 1835, Michael Faraday havia observado descargas elétricas luminosas em gases rarefeitos, dentro de um recipiente de vidro, produzidas por dois eletrodos com cargas opostas, notando que manchas fosforescentes eram produzidas nas paredes do recipiente. Em 1858, o físico alemão Julius Plücker, ao aproximar um ímã de um recipiente similar, viu as manchas fosforescentes se deslocarem nas paredes do vidro. Seu aluno Johann Hittorf, em 1869, observando a sombra projetada sobre a parede de vidro por um objeto colocado diante do catodo, mostrou que as emissões dele emanadas se deslocavam em linha reta, o que foi denominado “raios catódicos”<sup>[22]</sup>.

O inglês William Crookes, em 1879, retomou essas experiências, de forma mais precisa, com um tubo aperfeiçoado por ele e com alto vácuo em seu interior. Em 1895, Jean Perrin concluiu que os raios catódicos são jatos de partículas e mostrou que têm carga elétrica negativa<sup>[22]</sup>.

Mas foi o experimento de Joseph John Thomson (1856-1940) que trouxe luz à existência da estrutura do átomo. J.J. Thomson (como viria a ser conhecido) com descargas elétricas

em um tubo com gás rarefeito, denominado tubo de raios catódicos. Sua contribuição foi a de demonstrar que os raios que se originavam no tubo eram, na realidade, partículas carregando cargas negativas. Nas palavras do próprio Thomson.

Em todos os casos conhecidos nos quais a eletricidade negativa ocorre em gases a pressões muito baixas, ela ocorre na forma de corpúsculos, pequenos corpos com uma carga e uma massa invariáveis<sup>[22]</sup>.

Thomson nunca nomeou a partícula que descobriu com o nome que conhecemos hoje, referindo-se a ela apenas como “corpúsculo”. O nome *elétron* foi cunhado por outro cientista, chamado George Johnstone Stoney, contemporâneo de Thomson<sup>[22]</sup>.

Avançando ainda mais em suas pesquisas, J.J. Thomson, demonstrou que as propriedades dessas partículas permaneciam as mesmas qualquer que fosse o tipo de gás no qual eram criadas, o que lhe permitiu deduzir que essas partículas eram constituintes dos átomos de todos os elementos. Isso seria corroborado por pesquisas com radioatividade mais tarde<sup>[8]</sup>.

Cabe ressaltar que a descoberta do elétron é produto de uma série de experimentos e de concepções sobre a estrutura da matéria geradas por cientistas de vários países. A identificação do elétron não foi, portanto, o produto de um ato de descoberta súbita e individual<sup>[22]</sup>.

Thomson viveu em uma época de grande efervescência científica e testemunhou inúmeras descobertas e o nascimento de diversos campos do conhecimento oriundos desses novos achados, o que impactou o mundo como a si próprio. Em sua autobiografia, ele revela, sobre a descoberta do elétron:

...ambos o tempo e o lugar eram afortunados, porque o período entre agora e então tornou-se um dos mais significativos na história do mundo. Do início ao fim, e especialmente na segunda metade, houve uma sucessão rápida de um evento extraordinário após o outro. Monarquias caíram e foram substituídas por repúblicas e ditaduras. O livre comércio, que como um

homem de Manchester, considere sempre e naturalmente com essencial para a prosperidade do país, foi-se também... Quando eu era um menino, não havia bicicletas, nem automóveis, nem aviões, nem luz elétrica, nem telefone, nem telégrafo sem fio, nem gramofone, nem engenharia elétrica, nem radiografia de raios X, nem cinema... [22].

A descoberta do elétron abriu caminho para que fossem encontradas outras partículas, como o próton e o nêutron. A partir desses avanços, foi possível compreender a estrutura do átomo, mecanismos de reações químicas e a posição dos elementos na tabela periódica, além de fomentar o desenvolvimento da mecânica quântica. Nesse sentido, segundo Bachelard, o átomo passa a ser um axioma. 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. Um exemplo disso é 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 a própria a materialização de um teorema [10].

E, assim, as teorias passam a gerar fatos, em vez dos fatos serem tratados de maneira solitária e desprezidos 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, e esta se autoafirma na medida em que consegue mostrar fatos previstos anteriormente, originando, assim, o axioma científico [10].

A ciência, então, progride, de forma que ultrapassa as intuições realistas ingênuas; vão para além e colocam a racionalidade humana no limite.

## 5.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Questões referentes à composição do mundo e sua origem foram – e continuam sendo – objeto de estudo e pensamento dos seres humanos. A busca por respostas vai de concepções que se erguem em conceitos distintos e até mesmo paradoxais, como o cheio e o vazio. Assim, entende-se que a construção científica não é imediata nem definitiva, mas um caminho que se trilha por muitas dúvidas e escassez de certezas.

Um aspecto que sobressai na história do átomo é a importância do contexto sócio-cultural no desenvolvimento científico, de modo que a aceitação das ideias não é sujeita meramente à validade de sua explicação, mas também das implicações culturais e da interpretação que lhes é dada.

Assim, procurou-se fazer um resgate histórico do átomo que contemplasse não só a história do atomismo em si, mas que permitisse também compreender como ela se transformou dentro do contexto no qual estava inserido. Concepções de mundo, de religião, de filosofia e de ciência influenciaram fortemente a maneira como se utilizou e se enxergou o átomo através dos tempos.

É perceptível que o aspecto crítico é característico não somente da modernidade, que, embora tenha sofrido fortes restrições na Idade Média, constitui-se uma herança do livre pensamento grego. Os atomistas foram alvo de crítica de Aristóteles, que, por sua vez, teve suas ideias pouco a pouco minadas por outros estudiosos. O reinado ideológico aristotélico não pode ser desprezado e nem as razões pelas quais perdurou tanto, mas o fato é que o átomo e o vazio triunfaram. Não da forma que propuseram os antigos atomistas, mas tanto o átomo, como o vazio são hoje conceitos científicos amplamente aceitos e estabelecidos, sendo base para o entendimento das ciências naturais.

Evidentemente, o atomismo moderno também não teve um desenvolvimento ideológico e cientificamente pacífico. No contexto da ciência do final do século XIX, muitos cientistas, entre eles químicos, consideraram o átomo um mero modelo ou uma hipótese simplesmente não científica por se tratar de um

ente não observável. Portanto, o julgamento de ideias passadas deve ser realizado com cautela, tendo em vista que as hipóteses científicas são produto de um contexto maior, assim como suas objeções. Assim, algo que hoje parece ultrapassado, no cenário científico de sua época possivelmente teve grande relevância, como se observa com o energetismo de Ostwald. Sua rejeição a ideia de átomo tinha fundamentos sólidos e era aliada a uma outra maneira de compreender a realidade, erguida sobre o conceito de energia.

Para quem não acreditava no átomo, deve ter sido uma surpresa e tanto saber que ele não só existe, como tem subdivisões. Tal sequência de fatos levou a construções de modelos atômicos para além da bola de bilhar de Dalton, cada vez mais sofisticados. O primeiro passo nesse sentido deu-se com a descoberta do elétron. Posteriormente, o estudo do núcleo atômico e de suas subpartículas e o crescente interesse na compreensão da estabilidade deste, com fenômenos como a radioatividade. O domínio do átomo, então, e de sua estrutura passariam, no século XX, de interesse científico a assunto de Estado. A sua compressão levou a construção de tecnologias tão pacíficas, quanto uma ressonância magnética nuclear, quanto perigosas, como a bomba atômica.

Apesar dos progressos na pesquisa do átomo e de suas subpartículas, a estrutura da matéria, mesmo com o modelo padrão, ainda segue misteriosa e exercendo fascínio entre os cientistas e, porque não dizer, também do leigos.

Com essas reflexões, espera-se contribuir para subsidiar as ações do professor de química interessado em levar o conhecimento histórico a seus alunos, no âmbito do atomismo. Esse processo pode e deve acontecer para além da aquisição de informações na medida em que se pretende inspirar o docente a buscar a história de sua própria ciência. Evidentemente, essa busca deve ser permeada por um olhar crítico e orientado filosoficamente, uma vez que, conforme foi abordado no texto, as concepções filosóficas acerca do atomismo, bem como o pensamento externo à atividade científica, influenciam de maneira intensa essa belíssima construção humana que é a ciência.

## 5.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. H. O. VIDAL, A história da ciência nos livros didáticos de química no PNLEM 2007, São Paulo: Dissertação de Mestrado - USP, 2009.
- [2] H. E. B. Viana, A Construção da teoria atômica de Dalton como estudo de caso - e algumas reflexões para o ensino de química, São Paulo: Dissertação de Mestrado - USP, 2007.
- [3] M. d. E. BRASIL, Orientações Curriculares para o Ensino Médio, Brasília: Secretaria da Educação Básica, 2006.
- [4] BRASIL, PCN+ Ensino Médio: orientações curriculares complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias., Brasília: Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002.
- [5] BRASIL, Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio, Brasília: Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 1999.
- [6] R. J. GOOD, "Why are Chemists "turned off" by philosophy of science?," *Foundations of Chemistry*, vol. 1, n. 2, pp. 185-215, 1999.
- [7] J. Maar, História da Química - Parte 1 - dos Primórdios a Lavoisier, Florianópolis: Conceito Editorial, 2008.
- [8] B. Pullman, The atom in the history of human thought, New York: Oxford University Press, 1998.
- [9] Lucrécio, De rerum natura, Loeb Classical Library, 2001.
- [10] G. Bachelard, Les Intuitions Atomistiques, Paris: Bovin & Cie, 1933.
- [11] S. Califano, "The concept of atom from the Greek Philosophers to the Karlsruhe Congress," *Accademia Nazionale Lincei Rendiconti Classe Scienze Fisiche Matematiche e Naturali Serie VIII*, n. 21, 2010.
- [12] J. Hessen, Teoria do Conhecimento, São Paulo: Martins Fontes, 2000.
- [13] R. Horne, "Atomism in ancient Greece and India," *Ambix* 8, pp. 98-110, 1960.

- [14] D. Alighieri, *A Divina Comédia: Inferno, Purgatório e Paraíso*, São Paulo: Editora 34, 1999.
- [15] J. H. Maar, *História da Química - Segunda Parte: De Lavoisier ao Sistema Atômico*, Florianópolis: Papa-Livro, 2011.
- [16] L. O. Q. Peduzzi, *Força e movimento: de Thales a Galileu*, Florianópolis: UFSC - Publicação Interna, 2008.
- [17] P. Redondi, *Galileu Herético*, São Paulo: Companhia das Letras, 1991.
- [18] R. Siegfried, *From Elements to Atoms*, Philadelphia: American Philosophical Society, 2002.
- [19] R. E. Schofield, "Atomism from Newton to Dalton," *American Journal of Physics*, vol. 3, n. 49, pp. 211-216, 1980.
- [20] M. d. C. M. Oki, "Controvérsias sobre o atomismo no século XIX," *Química Nova*, vol. 32, n. 4, pp. 1072-1082, 2009.
- [21] P. W. Van der Pas, "The discovery of the brownian motion," *Scientarium Historia*, n. 13, pp. 127-132, 1971.
- [22] I. d. C. Moreira, "Conferência Nobel de Thomson sobre a descoberta do elétron," *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 19, n. 3, pp. 299-307, 1997.



## 6 ANÁLISE DO TEXTO

Conforme o que foi estabelecido na metodologia do trabalho, o texto desenvolvido foi submetido à avaliação de acadêmicos na área de Ensino de Química buscando identificar se o texto cumpre o que propõe em termos de adequação da contextualização histórica, relevância dos aspectos filosóficos, conexão entre aspectos históricos e filosóficos, pertinência dos conteúdos e clareza da linguagem. Essa iniciativa busca também a identificação de pontos de fragilidade no texto, sugestões para modificações, novas referências e metodologias para sua utilização.

Para isso, o texto foi enviado aos participantes, os quais responderam a um questionário composto por seis perguntas abertas. A amostra selecionada para responder às questões foi constituída por acadêmicos da área de ensino de química que possuam conhecimentos em história e epistemologia da química. Apesar da formação específica nessa área ser desejável, não foi considerada um critério indispensável pois a maioria dos participantes atua ou já atuou com disciplinas relacionadas ao tema. A exceção é o respondente A1, que ainda está em formação inicial, mas já trabalha com o Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) e realiza atividades com o tema.

### 6.1 ANÁLISE PRELIMINAR – ESTUDO PILOTO

Fez-se uma análise preliminar do questionário a fim de verificar o efetivo potencial do instrumento para a avaliação do texto “Atomismo: Um resgate histórico para o ensino de química”. O estudo-piloto deve ser compreendido como uma pesquisa que envolve todas as etapas previstas para a realização do estudo. Assim, de acordo com Manzini (2012):

Ao final do estudo piloto é possível afirmar ou não se os dados coletados responderam ao objetivo inicial. [...] O estudo piloto pode ser realizado com duas ou três entrevistas com entrevistados que não irão participar da pesquisa principal, mas que possuem características semelhantes à população que fará parte da pesquisa.

Para tal, o texto juntamente com o questionário, foi enviado via correio eletrônico a três acadêmicos da área de Ensino de Química, que além de formação específica também possuem experiência com docência nessa disciplina, em consonância com a amostra previamente determinada. Apesar de todos terem concordado em participar da pesquisa, apenas dois responderam. Seu grau acadêmico e sua instituição de ensino são descritas a seguir:

E1 – Doutorando na área de Ensino de Química (UFSC)

E2 – Mestrando na área de Ensino de Química (UFSC)

As questões foram respondidas e devolvidas também por correio eletrônico. A sua análise é feita a seguir.

**QUESTÃO 1** – A história exposta no texto visa mostrar as diferentes faces que o atomismo adquiriu através dos tempos, contrapondo-se à lacuna histórica de Demócrito a Dalton existente nos livros didáticos. O texto cumpre esse objetivo? O aprofundamento dado aos episódios históricos relatados é adequado?

Ambos E1 e E2 concordam que o texto cumpre com o objetivo. E1 sugere que as lacunas históricas nos livros didáticos devam ser mencionadas e contrastadas no corpo do texto. Como o propósito do texto é fazer um outro retrato histórico, essa proposta foge do escopo do mesmo e pode ser direcionada para ser tratada no curso que se pretende realizar com os professores. E2 aponta que o aprofundamento dado ao texto é suficiente para compreender os episódios históricos no período selecionado.

**QUESTÃO 2** - O texto faz vínculos entre a abordagem histórica do atomismo e a epistemologia de Bachelard, mencionando também as filosofias hegemônicas que, segundo este autor, influenciaram as concepções científicas ao longo do tempo. A relação entre a história apresentada e o referencial epistemológico é apropriada?

Tanto E1 como E2 consideram a relação apropriada, mas com ressalvas. E2 afirma que o referencial é adequado se o texto não se propuser a suscitar no professor uma visão epistemológica muito ampla, isto é, que pretenda servir como único guia para conceituar os posicionamentos epistemológicos abordados, mas como texto introdutório a questões sobre a natureza da ciência, pode ser utilizado.

E1 levanta o fato de que outras ideias de Bachelard poderiam ser usadas para compreender melhor visões positivistas e realistas. Coloca também que os obstáculos epistemológicos também contribuiriam para um melhor entendimento do texto. É um ponto de vista interessante, pois tais ideias fazem parte do ideário bachelardiano. Apesar de fugir dos objetivos perseguidos com o texto, sem dúvida, outras obras de Bachelard podem ser associadas ao mesmo, enriquecendo as discussões quando do seu uso em sala de aula

**QUESTÃO 3** - Entre outros propósitos, o texto tem a finalidade de apresentar uma história pensada, ou seja, uma história que possibilite ao professor a percepção de que aspectos referentes à natureza da ciência são inerentes ao próprio desenvolvimento de conceitos científicos. O texto alcança este objetivo?

E1 declara que há uma maior necessidade de deixar mais explícita essa relação durante o texto, pois, da forma como foi apresentado, tais aspectos podem ficar “nebulosos” aos professores que não têm leituras sobre a natureza da ciência. E2 também levanta a questão do perfil do leitor como sendo crucial nesse sentido: “.... acredito que o texto alcançará o seu objetivo dependendo do público alvo no qual ele esta sendo inserido”.

**QUESTÃO 4** - O texto é adequado para subsidiar os estudos do professor sobre o assunto, com o objetivo de levar

este conteúdo para a sala de aula do professor em Ensino Superior, Ensino Médio ou ambos?

Nesta questão, E1 e E2 diferem. E1 afirma que para o professor o texto é adequado. No entanto “o texto está longo, os meus alunos da licenciatura reclamariam, mas também sei que o recorte de boa parte do texto daria uma visão mais deturpada do desenvolvimento que se relacionam ao atomismo (isso é sempre um problema)”. O participante mostra consciência quanto à dificuldade de se escrever um texto histórico, pois recortes necessariamente sacrificam episódios históricos importantes, suprimindo personagens e ideias intermediárias à construção de um conceito, que é o que, feito ao extremo, leva à noção de uma ciência linearmente construída, sem quaisquer controvérsias. Apesar disso, E1 recomenda que se o texto fosse levado diretamente ao estudante de Ensino Médio, deveria sofrer uma redução até que ficasse com duas páginas no máximo, sendo utilizado recursos auxiliares para uma maior compreensão da história, como histórias em quadrinhos. Esse comentário sugere fortemente que o respondente parece ter tido uma compreensão muito pobre acerca dos objetivos do texto.

E2 declara que o texto seria um excelente material complementar para qualquer nível de ensino, pois trata de assuntos que muitos professores não possuem conhecimento e também afirma que esse tipo de texto não é encontrado com facilidade pelos profissionais na área.

**QUESTÃO 5** – A abordagem linguística e argumentativa utilizada no texto é clara e acessível para o professor?

Ambos E1 e E2 consideram a linguagem clara para os propósitos do texto, sem críticas.

**QUESTÃO 6** - Como professor, você utilizaria o texto proposto, ou parte dele, para trabalhar o tema do atomismo com seus alunos? Em caso positivo/afirmativo, que referências e/ou metodologias de ensino você associaria ao texto?

Sobre essa questão, E1 afirma que “ usaria parte do texto para a formação inicial, associado-o com discussões de cunho epistemológico sobre a natureza da ciência (tais como os

referenciados em Hessen e Bachelard, dos quais tenho um bom conhecimento)”. Já E2 declara que “Como professor eu utilizaria alguns LD e este texto como contraponto ao que os LD trazem. Faria com que os próprios alunos vislumbrassem o “erro” sobre a história do átomo que um LD traz.”

É interessante constatar como os participantes propõem diferentes meios de utilizar o texto, revelando a versatilidade do mesmo. Enquanto E1 propõe um estudo dirigido sobre a natureza da ciência, E2 coloca o texto como uma forma de se obter uma visão crítica acerca do conteúdo dos livros didáticos de química, sendo que este último converge para a ideia proposta por E1 na Questão 1, que era justamente essa.

### **Comentários gerais, críticas e sugestões sobre o texto.**

E1 oferece duas sugestões: uma é a de criar uma espécie de sumário do texto em forma de linha do tempo, com o nome do cientista e a ideia que ele defendia. Argumenta que tal recurso pode ajudar a manter uma perspectiva temporal e nominal do desenvolvimento do conceito. A segunda sugestão vai ao encontro do que ele levantou na Questão 1, sugerindo que se destaque os limites do que está escrito no livro didático e a “potencialidade do que está expresso neste texto para avançar em visões inadequadas de ciência que podem ser aprendidas pelos estudantes”. Além disso, E1 mostra-se curioso quanto à continuidade do conceito até o átomo moderno.

E2 aponta que o texto tem grande valor para o Ensino de Química, e que iniciativas de estudar a história dessa ciência são escassas, mas necessárias.

## **6.2 CONCLUSÕES SOBRE A ANÁLISE PRELIMINAR**

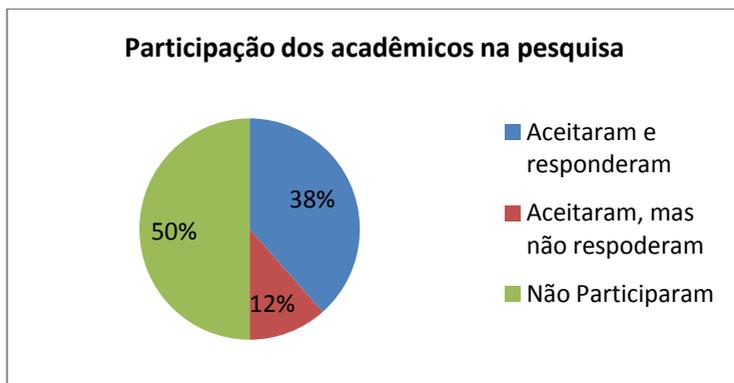
A partir das respostas dadas pelos respondentes, pode-se afirmar que o questionário, como instrumento avaliativo, mostra-se bastante satisfatório em relação a clareza de seus itens, não sendo visíveis erros de interpretação ou qualquer outro tipo de problema no enunciado das questões. Sendo assim, não houve

razão para fazer alterações nas perguntas elaboradas e nem incluir novos itens.

### 6.3 ANÁLISE DO TEXTO

O questionário do estudo-piloto foi endereçado a 27 acadêmicos da área do ensino de química de diferentes instituições de ensino, de acordo com a caracterização da amostra feita anteriormente. O contato com os respondentes foi realizado via correio eletrônico e o texto foi enviado pelo mesmo meio. Além disso, foi oferecida a opção de envio do texto impresso, a qual não foi solicitada por nenhum dos participantes. O prazo solicitado para o envio da resposta foi de 25 dias.

Da amostra selecionada, 10 responderam ao questionário. Outros 4 acadêmicos responderam aceitando participar, mas não entregaram o questionário. Os dados relativos aos percentuais de resposta podem ser visualizados no gráfico 1:



**Gráfico 1: Percentual de participação dos acadêmicos convidados para participar da pesquisa**

O percentual de resposta supera as expectativas relatadas por Viera, Castro e Junior (2010), que indicam que a participação nesse tipo de pesquisa costuma ser de apenas 25%.

Dentre aqueles que justificaram a não-participação, o motivo alegado foi o comprometimento prévio com outras atividades, o que impossibilitou ter o tempo necessário para a leitura e avaliação do texto.

O perfil dos acadêmicos (representados pela letra A, para preservar sua identidade) que responderam ao questionário, suas formações e instituições de ensino são listados a seguir, por ordem de entrega do questionário.

- A1 – Licenciando em Química (UFRN)
- A2 – Químico Doutorando em Ensino de Ciências (UFSC)
- A3 – Químico Doutor em Química (UFSC)
- A4 – Químico Mestre em Educação em Ciências (FURG)
- A5 – Químico Mestre em Ensino de Ciências Naturais e Matemática (UFRN)
- A6 – Químico Doutor em Química (UFBA)
- A7 – Químico Pós-Doutor em Filosofia da Ciência (UFBA)
- A8 – Química Doutoranda em Ensino, Filosofia e História das Ciências (UFBA)
- A9 – Químico Doutor em Psicologia (UFSC)
- A10 – Químico Doutorando em Educação em Ciências (FURG)

Apesar de pequena, entende-se que o perfil dos indivíduos que constituíram a amostra permite uma avaliação preliminar fidedigna do texto, para fins de identificação de suas potencialidades e limitações. Cabe ressaltar que alguns dos participantes foram além do que lhes foi solicitado no questionário, incluindo revisão intensiva do texto. Os comentários versaram sobre alguns termos utilizados no texto (substituição, supressão ou maior elucidação), indicação de referências e questionamentos de um modo geral.

As perguntas, os posicionamentos dos respondentes e os comentários da autora desta dissertação são apresentados a seguir.

**QUESTÃO 1 – A história exposta no texto visa mostrar as diferentes faces que o atomismo adquiriu através dos tempos, contrapondo-se à lacuna histórica de Demócrito a Dalton existente nos livros didáticos. O texto cumpre esse**

## **objetivo? O aprofundamento dado aos episódios históricos relatados é adequado?**

A maioria dos participantes concorda que o texto cumpre os objetivos e dá aprofundamento adequado às questões. Enquanto A3 e A7 limitaram-se a dizer que sim, outros acadêmicos fizeram considerações mais completas:

**A1** – *Sim o texto mostra as diversas faces mostrando um aprofundamento significativo uma vez que discute aspectos filosóficos que fundamentaram cada uma das concepções de átomos. Acredito que o aprofundamento dado foi essencial para o entendimento epistemológico do conceito de átomo.*

**A4** – *Cumprir o objetivo de “explicar” a referida lacuna no momento em que, de modo cronológico, conta e explica o percurso atomístico Demócrito - Dalton. Penso que o aprofundamento teórico é adequado, há uma série de episódios históricos que não tinha conhecimento. A forma sistemática da narrativa nos dá uma idéia do contexto histórico-cultural e tempo. Sugiro que seja criado um esquema, na forma cronológica, com pequenos textos, fica mais didático ao ser levado para a sala de aula, se for o caso do Ensino Médio. Assim, pode favorecer uma leitura mais clara e compreensiva por parte dos alunos, que na maioria não tem maturidade interpretativa.*

**A5** – *Em minha opinião, o texto cumpre o objetivo exposto nessa questão 1. Em relação ao aprofundamento dado aos episódios históricos, a depender do recorte feito na pesquisa, poderia se dar um tratamento mais aprofundado das importantes controvérsias envolvendo o atomismo no séc. XIX, principalmente com a proposta energetista, que a meu ver não foi tratada tão profundamente. Uma sugestão para essa discussão seria a leitura do texto: MORENO GONZÁLEZ, Antonio. ATOMISMO versus ENERGETISMO: Controversia científica a finales del siglo XIX. **Enseñanza de las ciencias**. v. 24, n.3, p. 411-428, 2006.*

*Acrescentaria também uma breve discussão das contribuições para a resolução deste debate no séc. XIX, incluindo uma citação da importância do congresso de Karlsruhe em 1860, e qual o papel da comunidade científica e de um*

*evento como esse no processo de produção do conhecimento científico, já que o texto está sendo pensado para professores.*

**A8** - *O texto cumpre o objetivo específico de cobrir a lacuna histórica presente não só no discurso de vários professores como também nos manuais didáticos, que apresentam o período da idade média como um grande vazio teórico. O texto apresenta um aprofundamento histórico adequado. Sem cometer o erro de ser simplista e anacrônica a autora apresenta os episódios históricos mostrando que a ciência é um conhecimento coletivo de natureza não linear e não acumulativa.*

**A10** – *Entre outras considerações, o respondente afirma que : O texto é muito interessante, pois retrata episódios vividos no decorrer de todos esses séculos não somente a respeito da teoria atômica mas também a própria história da Ciência, especialmente o momento em que a Química se consolida enquanto Ciência. Os fatos históricos escolhidos na composição do texto são muito pertinentes, uma vez que concordo com vocês no sentido de que os livros didáticos [alguns deles] [...] propõem uma visão generalizante e linear da produção de conhecimento sobre a teoria atômica, por exemplo.*

Quanto a A2, A6 e A9, eles acreditam que as metas do texto foram atingidas apenas parcialmente. O primeiro afirma que o texto alongou-se demais no período da Grécia Antiga, e pouco nos restantes. De qualquer modo, considera o texto “*longo demais*”. Já A6, afirma que falta profundidade aos episódios tratados:

**A6** – *Noto a divergência entre o texto desta questão e o objetivo declarado nas primeiras linhas, acima — “a elaboração de um texto que aborde aspectos históricos e epistemológicos do atomismo, da antiguidade à descoberta do elétron, tendo como público-alvo professores de química” — pois o elétron só foi descoberto ao final do séc. XIX e Dalton formulou sua teoria atômica no início do mesmo século. Penso que o texto cumpre apenas parcialmente o objetivo proposto ao informar que a noção de átomo foi sendo utilizada ao longo do tempo. Entretanto, em vista do objetivo proposto, eu esperava que o texto discutisse*

*mais os diversos conceitos de átomo — ao invés de simplesmente constatar sua permanência — apontando as mudanças e procurando explicá-las. Nem sempre há clareza do conceito de átomo em tela, como no caso de Newton, dos átomos-turbilhões etc. e, por isso, também não se sabe o que os átomos possibilitavam explicar. Nesse sentido, falta profundidade aos episódios tratados.*

De fato, o enunciado da questão e objetivo do texto declarado nas primeiras linhas parecem não estar em consonância. Explica-se: a ideia para a elaboração do texto teve sua âncora na lacuna deixada pelos livros didáticos de Demócrito a Dalton. No entanto, durante sua elaboração pareceu pertinente mostrar o ponto em que o “a-tomo”, o indivisível, acaba por ter divisões.

Ainda que profundidade e extensão não sejam sinônimos, não raro andam juntas, pois o aprofundamento a qualquer questão exige maiores discussões e pluralidade de pontos de vista; sendo assim, estender-se é algo praticamente inevitável. Desse modo, cabe dizer que não é exagero afirmar que cada parágrafo do texto poderia ser transformado em uma obra própria. Há muitos conceitos, episódios e personagens sendo tratados; então é exigido do escritor uma boa dose de discernimento para minimizar os efeitos de distorções históricas, que invariavelmente acontecem quando se faz um relato desta natureza. Isso é ainda mais pungente quando se fala de um conceito desenvolvido em um período muito grande de tempo.

Tendo isso em vista, o guia para escrever o texto deve ser o seu objetivo, seu propósito. Por exemplo, não se pode tratar de um conceito sem falar adequadamente em sua origem. E, no caso do atomismo, por que os elementos Aristotélicos foram adotados em detrimento da teoria atômica na antiguidade, por exemplo. Assim, é preciso dizer quais eram as ideias concorrentes, seus autores e implicações. E isso é necessário para ir em direção ao intuito de desmistificar o aparente sumiço do átomo de Demócrito e sua ressurreição muitos anos mais tarde.

O participante A9 elabora uma resposta bastante extensa, de aproximadamente duas páginas e meia. Os pontos principais são elencados a seguir:

**A9** – *Apesar do texto propor uma apresentação interessante de fatos históricos acerca da etapa inicial do atomismo, que sem dúvida parecem necessários, eles não são suficientes. Em relação à parte inicial do texto, por exemplo há uma centralidade muito grande nas referências aos livros de Juergen Heinrich Maar. Nesse sentido, seria necessário variar um pouco mais as referências para não tomar como verdades históricas o que é apresentado nos livros desse autor.* Em seguida, o acadêmico propõe a inserção de diversos episódios históricos que não foram tratados no texto como a ascensão de Demóstenes, a queima de livros em Alexandria, congresso de Karlsruhe, entre outros. Respeitando a crítica, pode-se dizer que é evidente que um texto de pouco mais de trinta páginas é insuficiente para tratar de todos os episódios históricos em um período de dois mil anos, conforme discutido anteriormente. Quanto às referências, apesar do texto ter duas referências manifestamente preponderantes – Maar e Pullman – buscou-se trazer outras obras que tratassem também do assunto.

Como se pretende levar o texto para professores, procurando elucidar uma lacuna temporal tão frequente nos livros didáticos, acredita-se que o texto é um bom ponto de partida para discussões mais aprofundadas e que deve ser parte de um conjunto de ações e bibliografias que buscam sanar falhas e perseguir a construção de uma imagem menos simplista e imediatista da ciência química.

**QUESTÃO 2 - O texto faz vínculos entre a abordagem histórica do atomismo e a epistemologia de Bachelard, mencionando também as filosofias hegemônicas que, segundo este autor, influenciaram as concepções científicas ao longo do tempo. A relação entre a história apresentada e o referencial epistemológico é apropriada?**

A1, A3, A8 e A10 acreditam que o texto cumpriu com sucesso o objetivo. A3 foi econômico nas palavras e declarou um simples “sim”. Abaixo seguem trechos das respostas dos demais.

**A1** - *... a relação é apropriada, uma vez que dentro do texto são expostos, explicados e exemplificados conceitos da teoria de Bachelard permitindo aos professores um fácil*

*entendimento, mesmo se eles não tenham conhecimento de tal teoria..*

**A8** – *Por alguns momentos, elementos da epistemologia bachelardiana são trazidos ao texto para fornecer um sustentáculo gnosiológico a construção do conhecimento químico dentro do contexto atômico. Penso que o referencial epistemológico é apropriado.*

**A10** – *Sim, uma vez que a epistemologia de Bachelard nos proporciona compreender os aspectos sócio-históricos da produção de conhecimento a respeito da teoria atômica. [...] a proposta do texto ancorada essencialmente em Bachelard é muito interessante!*

Porém, outros participantes apontaram insuficiências com base em seu conhecimento de outras obras e ideias de Bachelard.

**A5** – *Sim, como sugestão, citar ao longo do texto e do contexto histórico em discussão `qual tipo de obstáculo epistemológico, na ótica bachelardiana.*

**A2** - *É apropriada, mas deixa lacunas em pontos que Bachelard denota como importantes, como o papel na mudança de paradigma. Usa paradigma, mas não fala de Kuhn, ou paradigma é no sentido genérico? Então não pode ser usado em um texto que diz tratar de epistemologia. Qual a compreensão de paradigma? Precisa ser dito.”*

O termo “paradigma”, embora seja epistemologicamente ligado à obra kuhniana, seu uso não implica necessariamente em conexão com este autor. De todo modo, talvez deva se pensar em um sinônimo para esse termo que não implique em confusão por parte do leitor.

**A9** - *Acho que o texto apresenta muitas poucas referências à obra de Bachelard e ao seu próprio texto acerca do atomismo. Entre outras, há pelo menos duas questões importantes que não são abordadas: a fenomenotécnica e a cidadela científica. Para mais informações acerca do racionalismo da ciência e do*

*materialismo bachelardiano, recomendo os livros de Marly Bulcão, que é considerada por muitos como a maior referência acerca de Bachelard no Brasil.*

**A4** – *Penso que em relação ao referencial epistemológico está evidenciado a “descontinuidade”. Isso vem sendo relatado, discutido e endossado ao longo do texto. É difícil dar uma definição da adequação do texto ao referencial teórico, até porque li muito pouco de Bachelard [...]*

É necessário esclarecer que, apesar das noções bachelardianas como revoluções, obstáculos epistemológicos e fenomenotécnica terem fundamental importância na compreensão da natureza da ciência entre os pesquisadores contemporâneos, não foram esses os conceitos perseguidos pelo texto. Mesmo porque Bachelard tem uma obra específica sobre o atomismo, que é a que foi usada como referência para o presente trabalho. De todo modo, são sugestões interessantes e que podem servir para discussões mais avançadas sobre o texto.

Já A6 respondeu negativamente à questão:

**A6** - *O tratamento filosófico do texto ficou, a meu ver, pouco claro e pouco discutido. Sua escolha por Bachelard não me pareceu feliz, dado o tempo que deve ter tido para estudá-lo, pois não é um autor fácil para se iniciar na filosofia da ciência. A crítica bachelardiana ao realismo está fundamentada numa leitura muito própria dessa postura filosófica. Muitas das afirmativas que você faz — não sei até que ponto apoiadas em Bachelard — merecem fundamentação maior e explicação mais detalhada. Quanto às “filosofias hegemônicas”, quais são: positivismo e o que mais? Também aqui, não é fácil desqualificar o positivismo, porque muito da ciência do século XIX foi realizado sob sua bandeira. Em mais de um ponto do texto você citou características da ciência e estas não se casam bem com seu discurso bachalardiano. A relação entre a história apresentada e o referencial epistemológico deixou a desejar pelo citado acima e porque você não empregou a [relação] entre história e epistemologia que, a meu ver, Bachelard defendeu. (Minha leitura pode ser vista em artigo no seguinte link: <http://www.uefs.br/nef/ideacao9.htm>.)*

Essa postura de A6 certamente tem fundamentos, pois era objetivo do texto fornecer os primeiros passos para uma reflexão filosófica acerca da natureza científica, uma vez que, conforme constatado em capítulos anteriores, a formação do professor de química em filosofia da ciência deixa a desejar. Nesse caso, as intervenções bachelardianas usadas no texto têm o propósito de dar ao professor um novo olhar para a história que é contada, incitando sua curiosidade.

Por filosofias hegemônicas entende-se as ideias preponderantes em uma sociedade em um determinado espaço-tempo. No caso da Grécia Antiga, era a filosofia aristotélica, no caso da Idade Média europeia, a filosofia Cristã, e assim por diante. O questionamento do respondente revela que talvez seja necessário deixar mais claras essas filosofias ao longo do texto.

Por outro lado, pensa-se que, dentro de um texto histórico desenvolvido para o público-alvo pretendido, uma grande ênfase às questões filosóficas pode levar ao desvirtuamento do que se objetiva apresentar e deixar o texto fora de foco. Ainda assim, é objetivo utilizar este material em um curso de formação justamente para fazer essa discussão de maneira a dar o suporte adequado para o entendimento das intervenções filosóficas - e também de outras matérias - que são abordadas no texto. O papel do professor neste tipo de curso é, então, essencial, seja no esclarecimento de dúvidas mais pontuais, seja na indicação de leituras para aprofundamentos de tópicos mais polêmicos.

O participante A7 afirmou que acha importante apoiar-se nas ideias de Bachelard e sugere outras referências sobre o realismo.

**A7** - *Acho que se apoiar nas ideias de Bachelard [é] importante. Embora, como sabemos a filosofia de Bachelard busca exemplos da física (do relativismo de Einstein). Sobre o debate acerca do realismo sugiro dar uma olhada no livro sobre realismo de Ilka Niiniluoto. Talvez alguma passagem sobre o realismo de entidades e estrutural seja bom também. Em relação a posições não realistas acho bem legal a contribuição de Hilary Putnam, depois que fez a auto-crítica e se afastou do realismo científico.*

**QUESTÃO 3** - Entre outros propósitos, o texto tem a finalidade de apresentar uma história pensada, ou seja, uma história que possibilite ao professor a percepção de que aspectos referentes à natureza da ciência são inerentes ao próprio desenvolvimento de conceitos científicos. O texto alcança este objetivo?

Dos participantes, A2, A6 e A9 discordam do cumprimento desse objetivo.

**A2** - *Isso não fica evidente, tem que deixar bem mais claro, mais direto.*

**A6** - *Acho que não, pelo dito na resposta da questão 2. A discussão sobre a natureza da ciência está fraca” [...]*

**A9** - *Como se pode depreender de minha resposta à questão 1, entendo que o texto não atinge seus propósitos, justamente pelas lacunas históricas, de fatos e de interpretação. Além disso, há questões de forma do texto. A história é narrada de forma muito afirmativa e pouco reflexiva e interpretativa.*

O que se gostaria de determinar com a questão é se fica claro que a concepção de ciência / do que é considerado científico influencia na produção da ciência. Observando o conteúdo do texto, acredita-se ter mostrado essas situações com as intervenções filosóficas. No caso do positivismo, por exemplo, um ente invisível não poderia ser considerado científico, pois só era válido o que fosse produto da experimentação. A2 tem razão em partes, pois não se dá um destaque do tipo “observe a relação aqui entre a filosofia da época e a ciência produzida”. Pressupôs-se que isso seria identificável conforme a leitura progredisse. E parece ter sido assim para os outros pesquisadores:

**A1** - *... o texto deixa claro que o desenvolvimento científico não é solto, mas é um caso claro de que todo conhecimento é gerado por um contexto...*

**A7** - *[...] sua opção é coerente. Buscou “recheiar” um período histórico negligenciado e o fez com competência.*

*Sempre resta uma questão: o professor de química daria conta de transitar por esses caminhos?*

**A8** – *Na condição de professora, tanto do ensino médio quanto do nível superior, pude perceber que o texto aborda conteúdos referentes a teoria atômica, desde a hipótese atômica clássica até a teoria atômica de natureza quântica; de modo a fundamentar este conhecimento apresentando uma lógica de construção deste que revela os bastidores da Ciência Química. Deste modo o professor ao ler o material não apenas se deparará com os produtos desta Ciência, mas fundamentalmente com os elementos constitutivos desta.*

**A10** – *Sim, penso que o texto alcança o objetivo de contribuir no entendimento de que a Ciência é construída sócio-historicamente, bem como potencializa a compreensão de que no processo de ensino e de aprendizagem dos conteúdos conceituais da Química, discutir e dialogar no espaço da sala de aula a respeito da História da Química produz sentidos tanto aos alunos quanto aos professores envolvidos nos processos educativos, sendo que o processo de aprender adquire outro significado no momento que estes conteúdos produzem sentidos nas histórias de vida destes sujeitos.*

A3, A4, A5 sucintamente, também concordaram que o texto atinge seus objetivos no que tange à natureza da ciência e sua relação com o desenvolvimento científico.

**QUESTÃO 4 - O texto é adequado para subsidiar os estudos do professor sobre o assunto, com o objetivo de levar este conteúdo para a sala de aula do professor em Ensino Superior, Ensino Médio ou ambos?**

À exceção de A2 e A9, a utilização do texto é considerada adequada pelos demais participantes em ambos os níveis de ensino. A1 afirma que “...o texto serve de subsídio para aprofundar os conhecimentos tanto para o ensino médio como para o ensino superior”. Apesar de concordar quanto à adequação, vários acadêmicos fizeram ressalvas.

**A3** – Acho pertinente para o contexto do Ensino Médio, mas deveria ser mais expandido quando se objetiva o Ensino Superior!

**A4** – O texto é adequado para a utilização em sala de aula do Ensino Superior, mas para o Ensino Médio deveria ser construído na forma de esquemas (tabela, linha de tempo, com imagens e textos curtos), fica muito maçante para o Ensino Médio, e não dá tempo de ser trabalhado na sua totalidade, no tempo que temos disponível.

**A5** – Uma sugestão seria pensar também em uma forma de sistematização deste material a fim de que não se torne em uma leitura exaustiva [...], o que acredito que acontecerá com muitos professores que forem utilizá-lo. Poderia se construir quadros, tabelas, esquemas, mapas, enfim, uma sistematização que ajude a situar o leitor [...]

**A7** – Com mais dificuldade no ensino médio. No ensino superior, desde que o professor goste de história da ciência ou tenha sido formado nessa perspectiva. Sempre é complicado acrescentar algo a mais ao professor. Há uma poluição de conteúdos tanto no nível médio como no superior (em química geral, por exemplo). De maneira que tanto a história e a filosofia são sempre sacrificadas. Agora, se o professor quiser, terá em seu material uma fonte de apoio.

**A8** – O texto é adequado para subsidiar os estudos do professor sobre os modelos atômicos dentro de uma perspectiva histórica. Penso inclusive que o material pode ser utilizado como material didático no nível superior, fundamentalmente nos cursos de formação de professores de Química.

**A10** – ...acredito que o texto se constitui num dispositivo de formação do professor...

Enquanto A3 julga o texto suficiente para o Ensino Médio, A4, A5, A7, A8 e A10 o consideram excessivamente longo nesta etapa. Isso demonstra que as opiniões são variadas, e, nesse caso, antagônicas, podendo levar a abordagens completamente diferentes. No entanto, a frequência das respostas obtidas

fornece um bom indicador sobre o melhor caminho a seguir. A4 e A5 levantam pontos interessantes, pois, de fato, o texto carece de ilustrações e esquemas. Esses recursos podem não só suscitar maior interesse pelo tema, como, também, proporcionar uma leitura mais agradável ao professor. Acredita-se que isso também seria válido no âmbito do Ensino Superior.

Já A6 afirma o seguinte:

**A6** - *Eu penso que sim, no sentido de que traz uma história do átomo mais completa do que a costumeira. Há o problema da falta de clareza do aspecto epistemológico, mas, se o professor que usar seu texto tiver algum domínio de epistemologia da química — independentemente de concordar ou não com você— poderá explorar as limitações do seu texto e complementá-lo. Mas eu espero que você melhore seu texto e supere as limitações apontadas. Afinal, estou fazendo essas críticas visando contribuir para essa esperada melhora. É possível que no Ensino Médio haja mais dificuldades com os aspectos filosóficos.*

Quanto à opinião de A2:

**A2** - *Nem um nem outro, além do texto ser muito longo é muito linear, a redação pouco atrativa. Uma forma mais interessante seria falar em controvérsias mais atuais e discutir como elas ocorrem em outros momentos da história. O professor do EM não utilizaria como referência para preparar suas aulas, ele precisaria ser mais claro, mostrar mais os objetivos que se pretende em cada etapa da história, já que é assim segmentado.*

O respondente faz afirmações contundentes e opostas às da maioria dos participantes. Seria interessante que ele tivesse sugerido quais trechos deveriam ser ceifados para tornar o texto em uma extensão que considerasse ideal para o uso no Ensino Médio, e a forma como deveriam ser tratados para que ficasse na clareza necessária.

O participante A9 não responde diretamente à questão, apenas opinando acerca do conteúdo presente no texto.

**A9** - *Entendo que ele é um interessante esboço, porém para os objetivos propostos compreendo que ele necessita uma*

*revisão de monta, principalmente em relação aos próprios fatos históricos que ele buscaria narrar. Porém, uma questão interessante de projeto é a falta de inclusão de imagens. No texto, algumas vezes, aborda-se textualmente questões acerca da imagem, porém faltam referências iconográficas. Por que não incluir imagens no texto? Além disso, outra decisão de redação importante em um texto histórico, é que faltam os nomes completos e outras referências biográficas (como época de vida e nacionalidade, por exemplo) aos personagens históricos da narrativa.*

Ambas as sugestões fornecidas por A9 são interessantes e possivelmente serão incorporadas à versão final apresentada aos professores.

#### **QUESTÃO 5 – A abordagem linguística e argumentativa utilizada no texto é clara e acessível para o professor?**

Os participantes A1, A3, A4 e A7 responderam positivamente à pergunta, sem estender-se nos comentários. Outros respondentes argumentam o seguinte:

**A5** - Acredita que a abordagem linguística é clara e acessível, mas complementa, de maneira muito pertinente: *Se for o professor da educação básica, talvez o texto precisasse passar por uma revisão para o esclarecimento de alguns termos comumente utilizados no âmbito acadêmico, tais como epistemologia, a-histórico, dentre outros. Quer dizer, criar uma espécie de box ao longo do texto ou notas de rodapé com estas informações.*

Ou seja, por mais que o texto procure ser claro em sua exposição, há que se ter cuidado para que a terminologia utilizada seja suficientemente inteligível ao leitor. A sugestão é bastante adequada, visto que A5 não sugere substituir os termos, mas elucidá-los a fim de que o professor se aproprie desses novos conceitos.

**A8** – *A abordagem linguística e argumentativa utilizada no texto é clara, talvez o professor que não tenha tido nenhum*

*contato com a teoria do conhecimento de Bachelard, apresente dificuldade em alguns pontos da leitura.*

**A10** – *Sim, penso que a linguagem é clara e no decorrer do processo de leitura conseguimos dialogar com vocês. Entretanto, acredito que seria interessante no término de cada parte retomar o argumento central pois estes contribuiriam nas considerações finais. Nesse sentido, potencializaria sempre retomar o argumento defendido por vocês a respeito de cada aspecto elencado, principalmente de cada momento histórico e da produção de conhecimento nesse período.*

A2 indica que certos termos precisam ser melhor esclarecidos e conceitos desenvolvidos, os quais estão marcados ao longo do texto, como, por exemplo, “epistemologia” e “química moderna”. E acrescenta que o texto dá a *ideia de que a história da humanidade é linear, numa sequência cronológica de fatos quase positivista.*

Ao longo do texto, pensa-se ter apresentado os fatos de acordo com sua cultura, localização temporal e espacial. Em certos trechos, ainda é afirmado que historiadores debatem sobre determinado fato, ou seja, a história não é uma ciência exata, nem pretende sê-lo. O processo histórico é vivo e em permanente reconstrução. Não se sabe ao certo o que o respondente quis dizer com o termo “positivista”, mas caso o associe a um relato exato, infalível e imutável, a crítica não procede.

Já o participante A6 dá a seguinte resposta

**A6** - *Apenas parcialmente, mas pode melhorar. Você faz muitas afirmativas sem argumentação suficiente, há alguns trechos confusos. Mais atenção à ortografia!*

Interpreta-se que essa afirmativa decorre do já exposto desacordo sobre a maneira com que a epistemologia é tratada no texto, bem como a alegada falta de profundidade em determinados episódios históricos, conforme respostas anteriores. A maneira proposital com que o respondente escreveu “ortografia” revela a presença de erros dessa natureza no texto e a consequente necessidade de revisão. O mesmo é exposto por A9:

**A9** - *Sim, o texto é claro e bem escrito, apesar de necessitar de uma revisão de redação, pois há alguns erros gramaticais e de digitação.*

**QUESTÃO 6** - **Como professor, você utilizaria o texto proposto, ou parte dele, para trabalhar o tema do atomismo com seus alunos? Em caso positivo/afirmativo, que referências e/ou metodologias de ensino você associaria ao texto?**

Com exceção dos participantes A2 e A9, os demais afirmaram que utilizariam o texto em sua prática pedagógica. Seguem listadas as metodologias sugeridas por cada um:

**A1** – *Acredito que utilizaria a estratégia de ensino com História da Ciência. Não utilizando a história de uma forma narrativa, mas como uma forma problematizada que permitissem que fossem levantadas questões de como esse conhecimento foi construído e transformado. Depois de levantadas algumas dessas questões o texto de apoio poderia ser utilizado junto aos alunos para eles poderem responder vendo que as ideias se modificaram conforme o tempo.*

**A3** – *Todas as citadas no texto, isto é, levaria os estudantes a confirmarem e expandirem a discussão, com base nas referências citadas.*

**A4** – *Sim, no Ensino Superior. Associaria ao trabalho pequenos seminários, em grupo. Utilizaria também partes do texto, que seriam discutidas de forma oral, em roda de formação e trabalhos de escritas de sala de aula a partir do texto.*

**A5** – *Utilizaria o texto, sim. Acrescentaria como referência recortes de textos dos livros - BENSUADE-VINCENT, B. e STENGERS, I. - **História da Química**, Instituto Piaget, Lisboa, 1992, e CHASSOT, A.I. - **A Ciência Através dos Tempos**. Moderna, São Paulo, 1994. Sobre metodologias de ensino uma proposta que já venho trabalhando na licenciatura em química na disciplina de história da química é um debate com os alunos*

*envolvendo as controvérsias acerca do atomismo no séc XIX, no qual parte da turma estuda e elabora argumentos para defender o atomismo desde a filosofia grega à época de Dalton, e a outra parte assume uma posição antiatomista calcada em argumentos equivalentistas e energetista. O trabalho com esta metodologia tem rendido bons resultados para a aprendizagem e em breve serão publicados os resultados.*

**A6** – *Utilizaria como respondido na Questão 4. Metodologia: disponibilizaria o texto para leitura e o discutiria em sala de aula. Apontaria as falhas nas concepções de ciência apresentadas no texto, inclusive a pouco fundamentada crítica ao realismo e ao positivismo. Como trabalho complementar, procuraria bibliografia que esclarecesse os conceitos de átomo ao longo do tempo.*

**A8** – *Trabalharia com o texto ou com fragmentos do texto por meio de estudos dirigidos em sala de aula. Ou ainda solicitando a exposição dos elementos centrais do texto por meio de uma apresentação em sala.*

O respondente A7 não deixa sugestões, apenas indica a leitura de comentários em seu texto, sendo que alguns consistem na indicação de referências bibliográficas.

A partir das respostas dos participantes, fica evidenciada a pluralidade de formas de trabalhar com o texto: apresentações, seminários, leituras, debates, entre outras. Isso atesta a versatilidade do material e seu potencial didático quando articulado a outros materiais e formas de ensino.

O acadêmico A2 justifica sua recusa com o seguinte argumento:

**A2** - *Eu não usaria, pois os alunos do Ensino Médio não teriam a menor paciência para lê-lo. Como sugeri antes, o texto poderia discutir controvérsias atuais da ciência (já que você citou isso) e voltar ao passado para mostrar como o conhecimento científico se desenvolve. Ou mostrar que a ciência não é neutra e é influenciada por fatores sociais, econômicos, culturais, políticos, etc., o texto não permite vislumbrar isso, parece que tudo ocorre só no mundo isolado dos cientistas.*

O respondente parece não ter vislumbrado a possibilidade do texto não ser diretamente entregue aos alunos, mas como parte de uma transposição didática realizada pelo professor, o qual pode e deve adaptar o texto à realidade dos seus estudantes, associando-o a uma metodologia adequada.

Embora não tenha ficado claro para o participante A2 a influência dos fatores externos no desenvolvimento científico, pensa-se ter mostrado isso ao longo do texto. Por exemplo, quando tratou-se da rejeição ao átomo por parte da Igreja Católica. De fato, não se podia explicar a concepção e composição do mundo evocando conceitos epicuristas, por exemplo. Esse panorama demonstra um contexto onde há claro domínio sócio-cultural no que pode ou não ser admitida uma maneira de explanar fenômenos naturais. A maior representação disso pode ser considerado caso de Galileu, exposto no texto. Embora não tenha ficado claro ao respondente tais ligações, não se pode negar que elas estão presentes no texto.

Quanto aos comentários de A9:

**A9** - *Não, eu mesmo costumo narrar um pouco da história relacionada ao atomismo, baseado em uma ampla diversidade de leituras que venho fazendo desde a minha formação inicial. Além disso, utilizo bastante alguns vídeos acerca do assunto, como os documentários de Jim Al Khalili, que podem ser encontrados no YouTube.com ou em alguns sítios específicos de divulgação da ciência.*

Assim sendo, o participante já possui seu aparato pessoal e conceitual não considerando necessária a utilização de mais uma referência à sua prática docente.

O respondente A10 faz uma exposição bastante prolongada da metodologia que utilizaria.

**A10** - *Adotaria o texto tanto no trabalho com os alunos da Educação Básica quanto do Ensino Superior, pois acredito que é muito consistente teoricamente, pertinente e interessante pois nos potencializa compreender a respeito da construção da teoria atômica historicamente. Penso que proporia aos licenciandos o planejamento e desenvolvimento de uma Unidade de Aprendizagem (UA) a respeito das Usinas Nucleares, por*

*exemplo, propondo aos licenciandos que construíssem perguntas a respeito dessa temática e estas perguntas orientariam a decisão por conteúdos conceituais, atitudinais e procedimentais necessários no entendimento da temática investigada. Numa das primeiras aulas, proporia a atividade da “caixa preta” que nos potencializa entender a respeito da ideia de modelos da Ciência, bem como a discussão da realidade que é essencialmente subjetiva.*

*Partindo dessa discussão proporia a leitura desse texto num segundo momento, seguido de outro texto sobre Marie e Pierre Curie, sendo que considerando todas as perguntas dos licenciandos poderíamos problematizar no espaçotempo da sala de aula a instalação de usinas nucleares no Brasil. Então, entender a distribuição eletrônica em níveis e subníveis de energia do urânio ( $Z = 92$ ) produz mais sentidos dentro de uma proposta que preconiza o diálogo numa epistemologia que se ancora no “educar pela pesquisa” (Galiuzzi, 2003; Moraes, Ramos e Galiuzzi, 2004). Na discussão a respeito dos elementos químicos radioativos, especialmente urânio, rádio e polônio retomaria sempre o texto de vocês no sentido de compreender a produção do conhecimento a respeito da teoria atômica, no caso desta investigação a respeito destes elementos químicos em particular. Por exemplo, como explicamos o modelo de átomo que acreditamos atualmente em relação ao urânio? Por que esse elemento é radioativo? [...] penso que inúmeras discussões emergiriam nesse contexto sendo que a teoria atômica seria o pano de fundo desse processo todo. A intenção seria articular temas como teoria atômica, tabela periódica e radioatividade no sentido de compreender um tema que sustenta essa investigação que são as usinas nucleares e a escassez energética no país. Argumento a respeito da potencialidade de escrevermos, lermos e conversarmos na sala de aula de Química, pois somente assim poderemos proporcionar que nossos alunos (re)construam teorias e paradigmas sobre as Ciências.*

*Por outro lado, penso que trazer no espaço da sala de aula aspectos da **História da Química** potencializa (re)pensar a respeito dos processos sócio-históricos de produção do conhecimento químico. Aprendemos sempre com os Outros, uma vez que entender a respeito da evolução da teoria atômica necessita de diálogo. Somos sujeitos sócio-históricos-culturais e*

*certamente a opinião dos alunos e dos professores envolvidos nos processos educativos proporcionará outras compreensões a respeito do átomo. Qual o modelo de átomo que construímos historicamente?*

*A dimensão abstracionista do átomo também merece atenção nesse processo, pois diferentemente da célula que conseguimos visualizar num microscópio, o átomo não. Então, a discussão de modelos nesse processo é pertinente, pois da mesma forma os modelos de equações químicas que adotamos para expressar determinado fenômeno, os modelos de mecanismos de reações orgânicas, os modelos de representacionais de Lewis, os modelos de interações intra e intermoleculares, entre tantos outros. Nesse sentido, o entendimento dos aspectos históricos a respeito do átomo proporciona intensificar a discussão sobre modelos adotados pela Ciência no intuito de explicar a realidade.*

*Reitero o argumento de que estas discussões merecem estar presentes nos processos de formação de professores, pois penso que consegui problematizar de forma mais intensa essas questões em poder pertencer ao grupo de pesquisa/formação “CEAMECIM – Comunidades Aprendentes em Educação Ambiental, Ciências e Matemática” coordenado pela Prof. Dra. Maria do Carmo Galiuzzi [minha eterna professora e orientadora no processo de doutoramento no Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências – Química da Vida e Saúde (PPGEC) na Universidade Federal do Rio Grande (FURG)] e no Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) coordenado pelo Prof. Dr. Moacir Langoni de Souza [meu eterno professor] que também discute no espaço do curso de Licenciatura em Química na Universidade Federal do Rio Grande (FURG) na disciplina de **História da Química** esses aspectos da natureza e epistemologia da Ciência.*

*Penso que somente coletivamente temos oportunidade de (re)pensar e (re)significar nossa prática pedagógica, uma vez que agradeço sempre por pertencer [embora agora em outro espaço] a uma Comunidade Aprendente numa proposta de formação acadêmico-profissional (Diniz-Pereira, 2008) defende na potencialidade de articular licenciandos, professores da Educação Básica e professores da universidade. Partilhar nossas experiências vividas e assim (re)significar nossas ações no espaço da escola quanto da universidade contribui para*

*proporcionarmos um entendimento mais intenso a respeito da epistemologia da prática docente e certamente a discussão e problematização a respeito da natureza sócio-histórica do átomo é concernente a formação do professor de Química. A oportunidade de estarmos todos coletivamente reunidos em Rodas de Formação (SOUZA, 2011) – licenciandos, professores da Educação Básica e professores da universidade é potencialmente formadora e transformadora. Nesse contexto, trazer para a Roda discussões a respeito da natureza epistemológica da teoria atômica penso que é muito pertinente.”*

As proposições que A10 faz para o uso do texto, deixadas por último, dada a sua extensão, são riquíssimas. Destaca-se a sugestão interdisciplinar, envolvendo estrutura da matéria, radioatividade, tecnologias de produção energética e construção do conhecimento químico. Ressalta-se então não só as várias possibilidades didáticas para a utilização do texto, como também sua relevância dentro do contexto atual do ensino de química, bem como na formação dos docentes.

É importante destacar a variedade de metodologias propostas pelos participantes: seminários, debates, estudos dirigidos, contextualização de uma situação atual, entre outros. Isso sinaliza para a versatilidade do texto, a multiplicidade de maneiras com que pode ser usado e, o melhor, que cada professor pode adaptá-lo à metodologia que considera mais adequada para sua turma.

### **Comentários gerais, críticas e sugestões sobre o texto.**

Nem todos os participantes fizeram comentários. A2, A7 e A8 abstiveram-se deste item. Abaixo, seguem os comentários dos demais respondentes:

**A1** – Entre outras sugestões (como pequenas modificações ortográficas) ele sugere que:

- Substitua-se na página 6 o termo “tirania” por teocracia, pois *“a tirania é um regime que existe somente em regimes democráticos, este era uma situação especial (em geral, uma situação de guerra) no qual as Cidades-Estados elegiam um líder dissolvendo o conselho de*

*cidadãos e no qual todos os poderes estavam centrados numa única pessoa, o tirano. Entretanto depois da situação especial o regime tirânico era dissolvido e voltava-se ao estado de democracia. O regime preponderante nos países do oriente próximo, como o Egito, era a teocracia no qual os poderes cabiam a uma única pessoa que tinha uma ligação direta com os deuses.”*

•Modifique-se o termo “adolescência” na página 17 por “transição”, uma vez que Não conheço muito da teoria de Bachelard, por isso posso estar cometendo um erro, mas acredito que ele tenha falado sobre a ocorrência de obstáculos animistas nos quais tentamos fornecer características de vida a objetos inanimados que acredito ser o caso desta analogia. Não é simplesmente por ser um caso de obstáculo animista, mas o fato do termo adolescência ser bastante complexo principalmente para ser tratado assim dentro de história, já que o próprio conceito de adolescência só vem a se consolidar já no século XX. Minha recomendação é a supressão do termo adolescência e utilizar o termo transição como você faz logo em seguida no texto.

•Encerra declarando que: *Desculpe se pareci presunçoso nas sugestões, mas espero ter ajudado de alguma maneira. Seu texto está realmente muito bom e espero poder ler seu trabalho quando defende-lo.*

A primeira sugestão do respondente é altamente pertinente e será adotada na versão final do texto. Quanto à segunda, o argumento é bem fundamentado, contudo, não acredita-se estar incorrendo em erro quando se usa o termo “adolescência”, visto que é um período que antecede a maturidade metodológica da ciência química. Quanto à crítica de A1, os termos “adolescência” e “transição” não devem ser entendidos em termos de uma história *whig*, isto é, não se defende o progresso linear, a acumulação em direção à melhoria, o enaltecimento da ciência

que progride em direção ao que é aceito hoje, desvalorizando períodos anteriores<sup>7</sup>. Ainda assim, cabe dizer que o uso de analogias é frequente na ciência e na argumentação em geral, mas que é importante atentar ao alerta dado por A1, visto que uma terminologia insuficientemente pensada pode levar a compreensões errôneas da mensagem que se pretende passar.

**A3** – *Parabenizo a Larissa pelo tema escolhido, mas embora pense que átomos pertencem naturalmente a Física, pois o químico se interessa principalmente por moléculas, ou seja, pela reação entre átomos e/ou entre átomos e moléculas e/ou entre moléculas. Senti falta de um enfoque quanto às contribuições da Física para o átomo, principalmente aquelas do final do século XIX e início do século XX quando o átomo teve a sua estrutura revelada através de modelos teóricos e de fantásticos experimentos.*

O comentário de A3 é bastante curioso, visto que é um químico que considera os átomos como pertencentes à física. O que está dito é correto: a química ocupa-se, majoritadamente, de estudar as relações entre átomos e moléculas. Mas isso é razão para o químico ignorar o alicerce de sua ciência? Ou seja, se montamos uma casa, não seria pertinente saber do que são feitos os tijolos? Acredita-se que sim, e que esse conhecimento tem uma implicação muito grande nas teorias que são desenvolvidas e nas reações elaboradas pelos químicos.

Quanto às demais contribuições da física, estão ausentes devido ao espaço de tempo selecionado. Um texto que abarcasse um período maior certamente faria essas explicações.

**A4** – *Sugiro para utilização, especialmente no Ensino Médio, seja feita uma “mudança” de apresentação do texto, como havia relatado, com imagens e textos curtos explicativos, isso dá maior visibilidade e favorece o entendimento do aluno. Obrigado pelo convite de participação da pesquisa! Parabéns pelo trabalho desenvolvido.*

---

<sup>7</sup> Agradeço a crítica e os esclarecimentos da professora Forato quanto à essa questão.

**A5** – *De modo geral o texto se compreende sem dificuldades, insistiria apenas no comentário feito na questão 4, sobre a criação de uma forma de sistematização destas ideias durante ou ao final do texto.*

Coincidentemente, A4 e A5 tiveram a mesma ideia, a qual possivelmente será integrada ao texto na ocasião da aplicação do mesmo texto com os professores.

**A6** – *Identificar os conceitos de átomo empregados ao longo do tempo e os fenômenos que permitiam explicar e suas limitações. Identificar que ideias permaneceram ao longo do tempo, de modo a poder afirmar quem influenciou quem. Desse modo ficará mais claro que os conceitos se modificaram e que Dalton não propôs o mesmo conceito de átomo que os atomistas gregos. Utilizar mais livros de história da química em suas pesquisas, por exemplo: BROCK, William H. The Chemical Tree: a history of chemistry. New York: W. W. Norton, 2000. Estabelecer a diferença entre átomo e modelo atômico. Ao longo do texto fiz vários questionamentos que visam auxiliar na sua melhoria.*

**A9** – *Infelizmente não foi possível apontar mais indicações de melhoria no texto, nem procurar por melhores reflexões sobre o que foi narrado, devido ao pouco tempo oferecido para a leitura e crítica do material enviado.*

**A10** – *Agradeço imensamente por participar desse processo da pesquisa com vocês e coloco-me a disposição no sentido de contribuir, bem como reitero o argumento de que o presente texto certamente potencializará discussões, problematizações e diálogos a cerca da natureza epistemológica do átomo na formação de professores e alunos envolvidos nos processos educativos.*



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve origem em uma inquietação sobre o conteúdo perpetuado por professores e livros didáticos quanto ao salto histórico do conceito de átomo de Demócrito a Dalton. A partir dela, teve início a presente pesquisa que ensejou a elaboração de um texto que visasse suprir, pelo menos em parte, essa lacuna. Efetivamente, a pesquisa em ensino de ciências mostra que a história da ciência não é tratada com a devida importância no ensino e que as fontes de informações acerca do assunto são escassas. Essas afirmações são corroboradas por Peduzzi (2005):

Não há dúvida de que os livros de texto e a sala de aula, para não falar da própria estrutura curricular, têm negligenciado o valor didático da História da Ciência. O aspecto utilitário dos programas de ensino, voltados à apresentação e aplicação de conceitos, leis e teorias, que enfatiza o produto do conhecimento acaba passando ao estudante a falsa impressão de que “a ciência é uma coisa morta e definitiva. (PEDUZZI, 2005)

Associados aos elementos sobre a história, aspectos relativos à filosofia das ciências enriquecem o entendimento de como o conhecimento científico desenvolve-se ao longo do tempo. Com a finalidade de fazer um resgate epistemológico e trazer essas discussões para o ensino de química, a óptica de Bachelard muito contribuiu para o pensamento crítico dos episódios históricos relatados. Isso decorre do fato de que suas reflexões são apoiadas em eventos históricos, embora tenha uma visão bem particular da história. Ainda, como afirma Bulcão (1981):

Partindo do princípio que a Epistemologia é importante na época

atual, pois contribui para uma reflexão crítica da ciência, que é uma atividade fundamental nas sociedades contemporâneas, temos que considerar a Epistemologia de Bachelard fundamental, pois inaugura uma nova concepção de ciência e de progresso científico (BULCÃO, 1981).

A necessidade desse resgate torna-se mais pungente quando no contexto da ciência química, por exemplo, são levadas em consideração as afirmações de Good (1999) sobre o desinteresse generalizado dos químicos acerca da filosofia de sua própria ciência.

Sendo assim, e conforme resultados obtidos por Oki (2006) em sua tese a respeito de história e filosofia da química no ensino superior é fundamental o desenvolvimento de materiais históricos com fins educacionais:

Outra conclusão importante é a necessidade de elaboração de materiais educativos com conteúdos que articulem a história, a filosofia e o ensino de ciências a fim de possibilitar conhecimentos diferenciados daqueles tradicionalmente contidos nos livros didáticos. Esses manuais não costumam se fundamentar nos registros históricos, adequadamente, quando abordam os conteúdos, predominando uma abordagem geralmente desprovida de historicidade (OKI, 2006).

Uma vez produzido o texto objeto da presente dissertação, procedeu-se à sua avaliação. Ora, tão necessária quanto a elaboração de materiais com as características mencionadas é o zelo que se deve ter pela qualidade e relevância de seus conteúdos e os possíveis resultados que pode gerar. Por meio da participação voluntária de 10 acadêmicos da área de química, procedeu-se a avaliação do texto, procurando-se responder à

pergunta de pesquisa que norteou o desenvolvimento desta investigação:

***Que contribuições pode ter um texto pautado em aspectos históricos e filosóficos acerca do atomismo para o ensino de química?***

Fundamentando-se nas respostas fornecidas pelos participantes, é possível afirmar que as contribuições podem ser as seguintes:

- Desmistificar a noção de “ressureição” do conceito de átomo de Demócrito por Dalton, conforme exposto nos livros didáticos;
- Introduzir o leitor a aspectos sobre a natureza da ciência;
- Subsidiar estudos acerca da história do atomismo tanto no Ensino Médio como no Ensino Superior, com a devida transposição didática.
- Contribuir para a compreensão de fenômenos que tenham como fundamento a teoria atômica;
- Servir como ponto de partida para estudos mais aprofundados em história e filosofia da ciência;

As conclusões obtidas com essa consulta à comunidade ressaltam que o texto não pode ser trabalhado isoladamente, e sim como parte de um arcabouço metodológico que englobe outras estratégias, como aquelas sugeridas pelos participantes. Isso é particularmente visível em afirmações como a do respondente A5 (Questão 5, p. 123), que observa que certos termos e conceitos precisam ser melhor esclarecidos, como epistemologia. Para isso, segundo ele, poderiam ser utilizadas notas de rodapé. Não obstante, há que se considerar que alguns conceitos (como o que ele menciona) carregam grande complexidade, demandando ações mais globais, articuladas ao texto. Nessa perspectiva, é necessária a presença de um professor e de metodologias para conduzir o texto, visto que, por pretender ser de caráter introdutório, ou seja, para um público-alvo que não tem muitos conhecimentos prévios do assunto, a

mera entrega e leitura não enseja, ou dificulta, ao menos, a reconstrução histórica e conceitual que se almeja com o material.

Outro ponto a ser levado em consideração é o que se refere a apresentação visual do texto. A4 e A9, por exemplo, sugerem a inserção de imagens no mesmo. De fato, este tipo de recurso pode tornar o material mais ‘agradável’ ao leitor, e até, de certo modo, instrutivo, ao proporcionar imagens que se reportam a instrumentos, à face e vestimentas dos personagens de quem se fala, etc.

Apesar disso, entende-se que o texto constitui-se como uma fonte consistente para edificar uma concepção menos simplista da história do atomismo, trazendo a essa compreensão aspectos sócio-culturais e científicos que influenciaram no desenvolvimento do atomismo ao longo do tempo e na desconstrução do átomo como unidade indivisível da matéria. Aliado a isso, o texto proporciona reflexões iniciais sobre conceitos relativos à epistemologia, tendo como amparo o referencial bachelardiano.

Certamente, muitas das críticas e sugestões apresentadas poderiam ter sido melhor elucidadas com uma entrevista após o processo de análise do questionário. Como isso não foi feito, certas respostas devem ser consideradas com parcimônia e à luz dos objetivos delineados no início da pesquisa. Por exemplo: A6 muito criticou a discussão epistemológica do texto, classificando-a como superficial. Mas deve-se observar que o texto nunca teve o propósito de aprofundar-se nesse âmbito nem de servir como única referência sobre os assuntos tratados.

Em relação a vários outros aspectos, no entanto, muitas críticas, observações e sugestões mostraram-se extremamente valiosas. Nesse contexto, cabe dizer que a avaliação do texto pelos acadêmicos contribuiu significativamente para evidenciar novas perspectivas e pontos de vista quanto ao material produzido.

Entre outras coisas, em uma nova versão do texto pretende-se implementar os seguintes pontos:

- Fazer uma revisão ortográfica e gramatical mais apurada;
- Incluir imagens e mapas cartográficos;

- Adicionar a nacionalidade, data de nascimento e falecimento de todos os personagens citados;
- Incluir o episódio histórico do Congresso de Karlsruhe;
- Introduzir uma linha no tempo que resuma os episódios principais relatados no texto;
- Incorporar um glossário com alguns termos que possam ser de difícil compreensão dos professores;
- Anexar um índice de referências bibliográficas organizado por temática de interesse.

No que tange aos espaços para a aplicação do texto, pensa-se que ele possa ser acomodado em um curso de aperfeiçoamento integrado à universidade. Em formação inicial seria mais desafiador, pois a instituição de origem deste trabalho (UFSC), por exemplo, não possui na grade curricular do curso de química a disciplina da história da química, de modo que seria necessária uma intervenção em outras disciplinas menos afins com o tema. Por isso, o curso de extensão parece mais adequado. Além disso, como ressalta Oki (2006):

... a disciplina da História da Química era um espaço privilegiado no currículo para discussões sobre a natureza da ciência com os alunos, durante a formação inicial. Consideramos que outros espaços curriculares precisam ser identificados para que lacunas relativas à dimensão epistemológica sejam preenchidas (OKI, 2006).

Além da questão do material didático, há que se levar em consideração também o esforço e as iniciativas perpetradas pelos docentes que tiveram a oportunidade de trabalhar com esses temas, ainda mais que a inserção desse tipo de conteúdo

é praticamente uma unanimidade nas diretrizes do ensino de ciências. No entanto, há muitos obstáculos que tornam essas atividades escassas no ensino. Estes incluem: a carga horária, o currículo extenso e uma visão pedagógica inadequada quando da aplicação dos conteúdos relativos à história e filosofia da ciência, tratando o assunto como mais uma matéria a ser ensinada (MARTINS, 2007). Portanto, o sucesso obtido com o emprego de tais conteúdos perpassa também a metodologia com que são aplicados e esse ponto deve ser objeto de grande atenção por parte de quem se propõe a tratar do assunto.

Com isso em vista, as propostas metodológicas deverão ser planejadas e inseridas de acordo com a definição do local, número de pessoas e perfil do grupo a participar de atividades que envolvam o texto. Nessa expectativa reside a perspectiva para trabalhos futuros: aplicação e divulgação dos resultados obtidos com essa intervenção. Tem-se como motivação o fato de que alguns dos participantes da pesquisa relataram aprendizado com o texto.

Dado o exposto, acredita-se no potencial do trabalho realizado para contribuir para o ensino de química, bem como para a desconstrução de passagens históricas excessivamente simplistas e visões ingênuas sobre a natureza da ciência. É necessário fomentar o senso crítico quanto à construção do conhecimento científico, suas facetas e o modo como são retratadas nos livros didáticos. Merece destaque o fato de que tais preocupações também devem ser objeto de atenção dos cursos de Licenciatura, e até mesmo Bacharelado, visto que é na formação do futuro professor, e também do cientista, que está a semente para superação dessas defasagens perpetuadas.

Espera-se sinceramente, que o presente trabalho, mesmo na fase em que se encontra, seja objeto de disseminação e inspiração para o resgate do interesse pela história e filosofia no ensino de química, almejando a desconstrução de concepções deformadas do progresso desta ciência que, por meio daqueles que dedicaram-se a tentar desvendar os segredos inerentes à transformação da matéria, tanto contribuiu - e permanece contribuindo - conceitualmente e tecnologicamente para o desenvolvimento da humanidade.

## REFERÊNCIAS

ALIGHIERI, Dante. **La divina commedia**.1308-1321. Tradução e notas de Ítalo Eugênio Mauro **A Divina Comédia: Inferno, Purgatório e Paraíso**. Em português e italiano (original). Editora 34, São Paulo, 1999.

ATKINS, P. W. **Princípios de Química**. Porto Alegre: Bookman, 1999.

BACHELARD, Gaston. **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).

BACHELARD, Gaston. **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.

BACHELARD, Gaston. **Les Intuitions Atomistiques**. Paris: Bovin & Cie, 1933. 162 p.

BATISTA, Rosana Paulo. **História Da Ciência: Investigação Do Tema Em Livros Didáticos Do Ensino Fundamental**. 2007. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BENSAUDE-VINCENT, Bernadette. **Atomism and Positivism: A legend about French Chemistry**. Annals of Science, 56: 81–94, 1999.

BIANCHI, J. C. A.; ALBREHT, C. H.; MAIA, D. J. **Universo da Química**. 1ª ed. São Paulo: FTD, 2005.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ ensino médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. ciências da Natureza, matemática e suas Tecnologias.** Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.

BRASIL, Secretaria de Educação Básica, **Orientações curriculares para o ensino médio** ; volume 2. Brasília : Ministério da Educação, 2006. 135 p.

BROWN, R. **A brief account of microscopical observations made in the months of June, July and August, 1827, on the particles contained in the pollen of plants and on the general existence of active molecules in organic and inorganic bodies.** Edinburgh New Philosophical Journal. 1828, 5, 358-371.

BULCÃO, Marly. **O Racionalismo da Ciência Contemporânea: Uma análise da epistemologia de Gaston Bachelard.** Rio de Janeiro: Antares, 1981.

CAILLOT M., 1996. La théorie de la transposition didactique est-elle transposable? In C. Raisky et M. Caillot (Eds), **Au-delà des didactiques, le didactique.** 19-35. Paris -Bruxelles : De Boeck.

CALIFANO, Salvatore. The concept of atom from the Greek Philosophers to the Karlsruhe Congress. **Accademia Nazionale Lincei Rendiconti Classe Scienze Fisiche Matematiche e Naturali Serie Viii**, n. 21, p.253-267, 2010.

FELTRE, R. **Química: Química Geral.** São Paulo: Moderna, vol. 1, 2 e 3, 2002.

FONSECA, Dirce Mendes da. A pedagogia científica de Bachelard: uma reflexão a favor da qualidade da prática e da pesquisa docente. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v.34, n.2, p. 361-370, maio/ago. 2008.

GOOD R.J. Why are Chemists `Turned Off' by Philosophy of Science? **Foundations of Chemistry**, Volume 1, Number 1, March 1999 , pp. 65-95(31)

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

HESSSEN, Johannes. **Teoria do conhecimento**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

HORNE, R.A. "Atomism in ancient Greece and India", **Ambix** 8, 1960, 98-10.

KOTZ, J.C.; TREICHEL Jr., P. **Química e reações químicas**. Tradução por J.R.P. Bonapace. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. v. 1

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. A Concepção de Fenômeno no ensino de química Brasileiro Através dos Livros Didáticos. **Química Nova**, v. 4, n. 17, p.338-341, 1994. Disponível em: <[http://www.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/1994/vol17n4/v17\\_n4\\_%20\(14\).pdf](http://www.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/1994/vol17n4/v17_n4_%20(14).pdf)>. Acesso em: 19 maio 2012.

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. Bachelard: o Filósofo da Desilusão. **Caderno Brasileiro de ensino de física**. 13, 3, 1996 p.248-273.

LUCRÉCIO. **De rerum natura**, Tradução por Martin Ferguson Smith. Loeb Classical Library. 2001.

MAAR, Jurgen Heinrich. **História da química - Parte 1 - dos Primórdios a Lavoisier**. Florianópolis: Conceito Editorial, 2008. 946 p.

MAAR, Jurgen Heinrich. **História da química: Segunda Parte: De Lavoisier ao Sistema Atômico**. Florianópolis: Papa-livro, 2011. 1182 p.

MACHADO, Andréia de Bem. **Concepções de ciência entre professores das séries iniciais do ensino fundamental em Florianópolis, SC e suas relações com o ensino de ciências**. 2007. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MAHAN, B.M.; MYERS, R.J. **Química: um Curso Universitário**. Trad. de H.E. Toma et al. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.

MANZINI, Eduardo José. Uso Da Entrevista Em Dissertações E Teses Produzidas Em Um Programa De Pós-Graduação Em Educação. **Revista Percorso - Nemo**, Maringá, v. 4, n. 2, p.149-171, 2012.

MARTINS, André Ferrer P. História E Filosofia Da Ciência No Ensino: Há Muitas Pedras Nesse Caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, n. 01, p.112-131, 2007.

MARTINS, Roberto de Andrade. Como Não Escrever Sobre história da física - um Manifesto Historiográfico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 1, p.113-129, mar. 2001. Disponível em: <<http://www.ghc.usp.br/server/pdf/ram-80.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2012.

MATOS, João A. de M. G. et al. ensino de Disciplinas de história da química em Cursos de Graduação. **Química Nova**, v. 4, n. 14, p.295-299, 1991.

MATOS, Kédima F. de Oliveira. História Da Ciência X Ensino De Química: Um Estudo De Caso ACerca Da Visão Dos Alunos Do Ensino Médio. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA (XIV ENEQ), 14., 2008, Curitiba. **Anais...** Disponível em: <<http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0840-1.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2012.

MELO, Juliana Ricarda de; ROTTA, Jeane Cristina Gomes. Concepção de ciência e cientista entre estudantes do ensino fundamental. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA (XV ENEQ), 2010, Brasília. **Anais...**

MOREIRA, Ildeu de Castro. Conferência Nobel de Thomson sobre a Descoberta do Elétron - Tradução e notas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p.299-307, 1997.

Disponível em: <[http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v19\\_299.pdf](http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v19_299.pdf)>. Acesso em: 22 maio 2012.

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

OKI, Maria da Conceição Marinho et al. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p.1072-1082, 2009.

OKI, Maria da Conceição Marinho. **A história da química possibilitando o conhecimento da natureza da ciência e uma abordagem contextualizada de conceitos químicos: um estudo de caso numa disciplina do curso de química da UFBA**. 2006. 430 f. Tese (Doutorado) - Ufba, Salvador, 2006. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufba.br/tde\\_arquivos/12/TDE-2006-11-10T101202Z-342/Publico/Tese\\_%20OkI,%20Maria%20da%20Conceicao%20P arte%201.pdf](http://www.bibliotecadigital.ufba.br/tde_arquivos/12/TDE-2006-11-10T101202Z-342/Publico/Tese_%20OkI,%20Maria%20da%20Conceicao%20P arte%201.pdf)>. Acesso em: 05 maio 2012.

PEDUZZI, L. Sobre a utilização didática da história da ciência. In PIETROCOLA, M. (org.) ensino de física – conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Editora UFSC, Segunda Edição, 2005.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr**. Florianópolis: Departamento de física/UFSC, 2005. (Publicação interna)

PEDUZZI, L. O. Q. **Força e movimento: de Thales a Galileu**. Florianópolis: Departamento de física/UFSC, 2008. (Publicação interna)

PEREIRA, Giulliano José Segundo Alves; MARTINS, André Ferrer P.. A INSERÇÃO DE DISCIPLINAS DE CONTEÚDO HISTÓRICO-FILOSÓFICO NO CURRÍCULO DOS CURSOS DE LICENCIATURA EM FÍSICA E EM QUÍMICA DA UFRN: UMA ANÁLISE COMPARATIVA. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, n. 01, p.229-258, 2011.

PEREIRA, C. L. N.; SILVA, R. R. A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS. **Revista Virtual de Gestão de Iniciativas Sociais**, Asdsad, n. , p.1-23, mar. 2009. Disponível em: <[http://www.ltds.ufrj.br/gis/a\\_historia.htm#legenda](http://www.ltds.ufrj.br/gis/a_historia.htm#legenda)>. Acesso em: 12 maio 2012.

PIRES, Romulo de Oliveira; ABREU, Thais Costa de; MESSEDER, Jorge Cardoso. Proposta de ensino de química com uma abordagem contextualizada através da história da ciência. **Ciência em Tela**, v. 3, n. 1, p.1-10, 2010. CD-ROM.

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

REDONDI, P. **Galileu Herético**. São Paulo, Companhia das Letras, 1991

REIS, A. S. Dos; SILVA, M. D. B.; SIQUEIRA, J. E. S.. A percepção dos alunos de graduação em química a respeito da história da química no ensino de química. In: 51 CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 51., 2011, Maranhão. **Anais..** Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2011/trabalhos/6/6-451-7636.htm>>. Acesso em: 05 maio 2012.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. São Paulo: Atlas, 1985. 175 p.

ROCKE, A. J.; **Chemical atomism in the nineteenth century**, Ohio State University Press: Columbus, 1984.

RUSSEL, J.B. **Química Geral**. 2a ed.Trad. M.A . Brot to et al . São Paulo: Makron Books, 1994.

SÁ-SILVA, Jackson Ronie; ALMEIDA, Cristóvão Domingos de; GUINDANI, Joel Felipe. Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas. **Revista Brasileira de História & Ciências Sociais**, n.1 , p.1-15, jul. 2009.

SALINAS, Silvio R. A. et al. Einstein, o Atomismo e o Movimento Browniano. **Física Na Escola**, v. 6, n. 1, p.23-26, 2005.

SCHOFIELD, Robert E.. Atomism from Newton to Dalton. **American Journal Of Physics**, v. 3, n. 49, p.211-216, mar. 1980.

SIEGFRIED, Robert **From Elements to Atoms: A History of Chemical. Composition**. Philadelphia: American Philosophical Society, 2002.

SILVA, Boniek Venceslau da Cruz. A Natureza da ciência pelos alunos do ensino médio: um estudo exploratório. **Latin American Journal Of Physics Education**, v. 4, n. 3, p.670-677, Setembro, 2010.

SOUZA, Roseli Ovale de et al. Concepções dos Estudantes sobre a ciência, os Cientistas e o Método Científico: uma Abordagem Histórico-Crítica como Base para uma Proposta de Intervenção Visando a Resignificação destes Conceitos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17., 2007, São Luis, Maranhão. **Anais..** Disponível em <[http://www.cienciamao.if.usp.br/dados/snef/\\_concepcoesdosestu\\_dantess.urldotrabalho.pdf](http://www.cienciamao.if.usp.br/dados/snef/_concepcoesdosestu_dantess.urldotrabalho.pdf)> . Acesso em: 05 de maio de 2012.

TEIXEIRA, Elder Sales ; ELHANI, Charbel Niño ; Freire Jr., O. **Concepções de estudantes de física sobre a natureza da ciência e sua transformação por uma abordagem contextual de ensino de ciências**. Revista Brasileira de Pesquisa Em Educação Em ciências, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 111-123, 2001.

TRIVIÑOS, Augusto N. S.. **Introdução à Pesquisa em ciências Sociais: A pesquisa qualitativa em educação**. 14. ed. São Paulo: Atlas, 1987. 175 p

USBERCO, J. ; SALVADOR, E. **Química: Química Geral**. São Paulo: Saraiva, vol. 1, 2 e 3, 2003.

UTIMURA, Teruko Y.; LINGUANOTO, Maria. **Química fundamental**. São Paulo: FTD, 1998. 592p.

VAN DER PAS, P. W. The discovery of the Brownian motion, **Scientiarum Historia** **13**, 127–132. 1971.

VIANA, Hélio Elael Bonini. **A construção da teoria atômica de Dalton como estudo de caso - e algumas reflexões para o ensino de química.**2007. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

VIDAL, Paulo Henrique Oliveira. **A história da ciência nos livros didáticos de química do PNLEM 2007.** 2009. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

VIEIRA, Henrique Corrêa; CASTRO, Aline Eggres De; SCHUCH JÚNIOR, Vitor Francisco. O uso de questionários via e-mail em pesquisas acadêmicas sob a ótica dos respondentes. In: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO, 8., 2010. **Anais..** Disponível em: <http://www.ead.fea.usp.br/Semead/10semead/sistema/resultado/trabalhosPDF/420.pdf> Acesso em: 05 de maio de 2012.