

# **A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr**

## **The history of development the atom theory: the course of Dalton until Bohr**

*Ehrick Eduardo Martins Melzer<sup>1</sup>*

*Joanez Aparecida Aires<sup>2</sup>*

1. UFPR/Universidade Federal do Paraná, [ehrickmelzer@yahoo.com.br](mailto:ehrickmelzer@yahoo.com.br)

2. UFPR/Universidade Federal do Paraná, [joanez@ufpr.br](mailto:joanez@ufpr.br)

### **Resumo**

Este artigo apresenta uma síntese da história do desenvolvimento da teoria atômica em dois períodos: anterior e posterior a construção do laboratório de Cavendish, na Universidade de Cambridge na Inglaterra em 1874. Tem por objetivo mostrar como vários dos atores que participaram da construção dessa teoria estiveram intimamente ligados à história daquele laboratório e como estes, em seus trabalhos, mudaram os rumos de estudos da física e da química em todo o mundo. Conclui-se argumentando sobre o quanto o conhecimento deste episódio pode contribuir para o entendimento de como a ciência é construída.

**Palavras Chave:** História da Ciência, Teoria Atômica, Ensino de Química

### **Abstract**

This article presents one synthesis of the history of development of the atom theory in two times: anterior and posterior of the Cavendish laboratory construction, in Cambridge College in England in 1874. The primary objective is show as many that actors participated on construction of this theory was closely connected to the history of that laboratory and how these, in their works, changed the studies course on physics and chemistry in the whole world. We conclude arguing about how knowledge of this episode may help to the understanding of how the science is constructed.

**Keywords:** Science History, Atom Theory, Chemistry Education

### **Introdução**

Este artigo é parte de uma pesquisa de mestrado que está em andamento, junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática da UFPR, e tem por objetivo fazer uma retomada da história do átomo de John Dalton até Niels Bohr, contemplando as idas e vindas do desenvolvimento da teoria atômica. Essa retomada faz necessária na medida em que os livros didáticos, tanto da Educação Básica, quanto da Educação Superior, têm suprimido dados importantes para a compreensão de como os atores da teoria atômica chegaram a determinados modelos. Esta preocupação tem estado presente em vários trabalhos da área de Ensino de Ciências (LOPES, 2009; VIANA, 2007; LOBATO, 2007),

especialmente daqueles que discorrem sobre livros didáticos (LOPES, 1990; MORTIMER, 1988; NIAZ, 1998; QUINTANILLA et al, 2008).

Niaz (1998) e Quintanilla et al (2008) analisam os livros didáticos de química mostrando como estes tratam o episódio histórico do átomo. Ambos trabalhos sinalizam que esses se encontram modificados e com recortes acerca dessa história, encobrindo algumas características desse episódio histórico, não trazendo a forma de construção dos modelos atômicos e sem evidenciar alguns aspectos sociais que podem ser tangentes à construção desses.

Nesse sentido, Matthews (1995) lembra que se faz necessário a introdução de história e filosofia das ciências (HFC) para desconstruir essa imagem de ciência idealizada, mostrando-se a real história por trás de um conceito ou teoria. Assim, este trabalho tem como por objetivo fazer uma leitura histórica do episódio dos modelos atômicos, fixado em Manchester e Cavendish.

Para sistematizar este estudo, o artigo foi dividido em dois períodos: o primeiro corresponde ao período anterior à construção do laboratório de Cavendish, localizado na Universidade de Cambridge na Inglaterra e inaugurado em 1874, com a publicação de um artigo<sup>1</sup>. O segundo, corresponde ao período posterior a sua construção. Esta divisão é enfatizada em função da fama mundial atingida por Thomson (LOPES, 2009), a qual fez deste um centro de referência mundial no desenvolvimento de estudos a cerca da constituição da matéria.

A ordem de apresentação das propostas, portanto, está dividida nos dois períodos, objetivando demonstrar como cada modelo atômico foi sendo trabalhado e quais eram as preocupações dos pesquisadores em torno destes. O período anterior à construção do laboratório de Cavendish corresponde aos trabalhos de John Dalton. O período posterior aos trabalhos de J. J. Thomson, J. H. Jeans, H. Nagaoka, Lorde Rayleigh, G. A. Schott, E. Rutherford, J. W. Nicholson e Niels Bohr.

Entre Dalton e Thomson, apresentam-se alguns trabalhos que também tiveram alguma influência na forma de pensar dos físicos e químicos e que foram base para muitas das propostas atômicas elaboradas. Ao final é apresentada uma reflexão para o ensino de ciências acerca do episódio histórico da teoria atômica.

## **Período anterior a construção do laboratório de Cavendish**

### **John Dalton (1766 – 1844)**

Anteriormente a construção do laboratório de Cavendish, John Dalton marcou o desenvolvimento da teoria atômica, apoiado, segundo Lobato (2007) e Viana (2007), por uma série de fatores de ordem profissional e de opções teóricas assumidas por Dalton. O Primeiro destes fatores refere-se ao fato de Dalton não ter, originalmente, uma formação química, mas sim matemática, que de acordo com Viana (2007), pode ter influenciado por uma perspectiva diferente de sua percepção dos fenômenos físicos e químicos. Outros fatores também podem ter sido importantes para a sua teoria, gerando uma série de interpretações sobre como Dalton chegou ao seu modelo atômico. Dentre estas podem ser citadas as influências dos trabalhos de Richter, a leitura do livro de Berthollet (1803-1804)<sup>2</sup>, algumas fontes também fazem referência aos trabalhos de análise do eteno e do metano aliado as leis das proporções

---

<sup>1</sup> De acordo com Fitzpatrick e Whetham (1910) a data de início da mobilização da construção deste laboratório é antes de 1874, porém é nesta data que é inaugurado o laboratório sobre a gerência de Maxwell.

<sup>2</sup> Viana (2007) lembra que Dalton ao lecionar química, aprofundou-se nos trabalhos de Lavoisier e Berthollet, dando as bases para compreensão da química naquela época.

múltiplas. Bem como, são citados os trabalhos e suas reflexões sobre as teorias de mistura gasosa, pelo estudo de pesos atômicos e o justificando com uma proposta mecanicista, com base em sua reflexão acerca das reações com Óxido Nitrogênio e das leis das proporções múltiplas. Tornou-se difícil uma idéia mais precisa sobre a elaboração do seu modelo, em função dos registros da sua produção terem sido, em grande parte, perdidos durante a Segunda Guerra Mundial<sup>3</sup>.

Lobato (2007) argumenta que nenhuma destas interpretações apresentadas pelos historiadores da ciência pode ser desprezada, pois não se pode aferir o desenvolvimento teórico de Dalton a um único fator. O que é sugerido pelo autor é que todos esses trabalhos e acontecimentos fizeram parte de uma construção, culminando na proposta do átomo publicado em seu trabalho de 1810. Logo, o que se pode afirmar é que Dalton trabalhou sua teoria com base em múltiplas influências de físicos e químicos renomados de sua época, sendo que, de acordo com Viana (2007), a mais notável influência pode ter vindo da tradição newtoniana inglesa. *O Principia* (questão 26) e o *Óptica* (questão 31), de Isaac Newton, parecem também terem influenciado Dalton em suas leituras e interpretações dos fenômenos naturais e acerca da expansão e contração dos gases, determinando a sua proposta de teoria atômica.

Assim, pode-se compreender que a teoria atômica foi construída a partir de uma série de trabalhos publicados por Dalton, todos eles com foco específico nas questões relacionadas aos gases e à composição da atmosfera. Ou seja, grande parte dos estudos pertencente à área de meteorologia. Nesse sentido, parece haver uma progressão e uma mudança na forma que Dalton encarava o átomo, de um corpuscularismo newtoniano, chegando a uma espécie de híbrido entre a teoria corpuscular de Newton e a leis de afinidade química, teorias muito estudadas na época, de acordo com os relatos apresentados por Viana (2007) e Lobato (2007). Lembrando que a construção do seu modelo começa em 1802 com a publicação da 1ª lei das misturas gasosas e termina em 1810, com a publicação das mudanças teóricas ocorridas a partir de 1804, quando Dalton tem um encontro com T. Thomson e W. Henry, os quais discutem as bases da sua teoria atômica. De acordo com Viana (2007), o próprio Dalton em seu trabalho de 1810, reconhece o ano de 1804 como definidor de sua teoria atômica.

Com base nesta compreensão pode-se afirmar que a teoria atômica de John Dalton, como publicada em sua forma final em 1810, passa por dois momentos distintos de construção: Em um primeiro momento, Dalton, baseia sua proposta em uma teoria ligada a seus estudos acerca da física proposta por Isaac Newton (na leitura do *Principia* e do *Óptica*), ancorada no corpuscularismo newtoniano. E um segundo momento, através de seus estudos sobre misturas gasosas (1802 e 1805), com todas as discussões e críticas feitas pelos seus contemporâneos que o fizeram analisar e conceber uma união entre a proposta Newtoniana de partícula com as propostas de afinidade química, ambas apresentadas em sua época. Para sanar equívocos e más interpretações do calórico, Dalton, publicou o artigo “on heat” em 23 de maio de 1806, onde descreve a sua proposta para o calórico e como este seria intimamente ligado a sua proposta atômica. Formulando as bases de seu átomo e o descrevendo como um corpúsculo esférico de tamanho variável que seria envolvido por uma “atmosfera”<sup>4</sup>, denominada de calórico (*heat*), responsável pela atração e repulsão entre os elementos, sendo medido e variável entre diferentes elementos químicos e quantificado através do valor de calor específico.

---

<sup>3</sup> A segunda guerra mundial começou em 1939 a 1945.

<sup>4</sup> Vale lembrar que segundo Viana (2007) e Lobato (2007) o termo “atmosfera” aparece de fato nos trabalhos de John Dalton e em várias passagens este faz uma relação do átomo a um planeta com sua devida atmosfera.

Assim, este modelo dava conta, em sua época, de explicar os questionamentos que Dalton e outros pesquisadores tinham sobre o comportamento de gases, fenômenos meteorológicos, bem como a composição da atmosfera. Porém, essa proposta perdurou por vários anos até o seu modelo dar os primeiros sinais que chegara a um limite, onde era necessário novos estudos para a estrutura atômica.

## **Os Trabalhos do século XIX e XX e a construção do laboratório de Cavendish**

Antes de trazer os outros atores que participaram da construção da proposta atômica que culminou nas bases da quântica e da física moderna, se faz necessário trazer algumas leituras sobre o que foi desenvolvido no final do século XIX e início do século XX. Trabalhos estes que deram as bases e os dados empíricos necessários, bem como instrumentação para que a proposta atômica pudesse evoluir de um corpúsculo para algo mais complexo regido por leis mais complexas. Começar-se-á pelo final do século XIX que é marcado por notórios estudos da física, química e astroquímica. Muitos destes trabalhos foram vitais para o estabelecimento da teoria atômica que conhecemos hoje. Destes estudos destacam-se os trabalhos sobre radioatividade, raios catódicos, elétrons, valência, espectroscopia, efeito Zeeman e, posteriormente, a bases da quântica.

Nesse sentido, Lopes (2009) apresenta uma relação dos autores divididos em áreas: na radioatividade com os trabalhos de E. Rutherford, F. Soddy, P. Curie, M. Curie, A. H. Becquerel, A. S. Eve, W. Bragg, H. Geiger, E. Marsden e H. Moseley. Nos raios X temos os trabalhos de W. Röntgen e todas as outras pesquisas que foram possibilitadas por essa descoberta. A eletricidade representada nos trabalhos de M. Faraday, G. J. Stoney, J. J. Thomson e W. Crookes<sup>5</sup>. Na área de espectroscopia desde trabalhos assinados por J. Melvin, J. Draper, D. Alter, A. Angström, G. Stokes, B. Stewart, J. L. Foulcault, G. R. Kirchhoff, R. W. Bunsen, John Tyndall, J. Balmer, J. Evershed, J. Rydberg, H. Kaysen, Carl Runge, A. Fowler, W. Ritz, G. J. Stoney e Pieter Zeeman<sup>6</sup>. E na química com Moléculas, ligação química e valência representada por S. Arrhenius, R. Abegg, G. Lewis e W. Kossel. Junto a outros trabalhos de Tabela Periódica (Mendeliev) que contribuíam de forma profunda para as propostas de Thomson, Nicholson e Bohr. Lembrando que toda essa produtividade teve uma estreita relação com as teorias atômicas, já que todos estudavam efeitos ocasionados pela constituição da matéria, desenvolvendo inúmeras pesquisas.

De acordo com Lopes (2009), Joseph Larmor, já assinalava o átomo com uma proposta para explicar certos efeitos. Demonstrando a necessidade que a comunidade naquela época tinha em explicar a modelagem e constituição atômica.

Outro fator de impacto na concepção da teoria atômica está relacionada à tradição de Manchester, com seus estudos na área de física experimental. Este impulso é fortalecido com a criação e consolidação de grupos de pesquisa e associações, concentrando importantes físicos experimentais na Cambridge, obtendo seu ápice em 1874<sup>7</sup>, a partir da inauguração do laboratório de Cavendish, o qual foi considerado por vários físicos como o maior centro de estudos de constituição da matéria do mundo, tornando-se palco para grande parte dos

---

<sup>5</sup> De acordo com Conn e Turner (1965) os trabalhos de Crookes com raios catódicos foram imprescindíveis para os estudos de Thomson e outros físicos de épocas posteriores.

<sup>6</sup> O efeito Zeeman pode ser compreendido como “hipótese de que a luz emitida por um átomo tem sua origem no movimento vibratório dos elétrons no interior dos átomos” (CARUSO e OGURI, 2006, p.234).

<sup>7</sup> Segundo Fitzpatrick e Whetham (1910) a construção do laboratório de Cavendish marca o ápice do investimento da Universidade em pesquisas de física experimental, culminou com toda a organização da sociedade de Física na Inglaterra.

avanços relacionados ao modelo atômico. Tal fama se deu muito em função de que Thomson, Rutherford, Nicholson, Schott, Jeans e Rayleigh integravam diversas equipes que trabalhavam com pesquisas neste laboratório, bem como pela estreita ligação que Hantaro Nagaoka e Niels Bohr também tiveram com o mesmo. Pode-se afirmar, portanto, que este laboratório concentrou uma grande diversidade de pesquisadores, vindos de todo o continente europeu, os quais buscavam aprimorar seus estudos e construir uma proposta coerente acerca da constituição da matéria e outras áreas afins.

A seguir são apresentados os pesquisadores que trabalharam com a constituição atômica após a construção do laboratório de Cavendish e suas respectivas influências na construção das teorias atômicas.

## **Período posterior a construção do laboratório de Cavendish**

### **Joseph John Thomson (1856 – 1940)**

Thomson foi físico experimental, esteve à frente do laboratório de Cavendish, sendo o grande responsável pela fama mundial deste, bem como pela migração de jovens cientistas que sonhavam em trabalhar em Cavendish sob sua orientação.

De acordo com Lopes (2009), Thomson começou seus estudos em engenharia no Owens College, em 1870, com 14 anos de idade, quando demonstrou interesse pela física, particularmente pelas leis de combinações químicas e teorias atômicas da matéria, influenciado, possivelmente, pelos escritos de John Dalton. Posteriormente foi indicado para entrar na Cambridge, foi sucessor de Lorde Rayleigh, na cátedra de física experimental, tornando-se a terceira geração de físicos no laboratório de Cavendish e coordenador de pesquisas na área neste laboratório.

Thomson, durante sua vida acadêmica se debruçou sobre a questão da eletricidade e do átomo, mudando inúmeras vezes sua base teórica, que de acordo com Lopes (2009), é uma das mais notáveis características presentes nos estudos sobre a sua vida. Inicialmente, começou estudando o átomo vortex de Lorde Kelvin, aplicando-o a inúmeros problemas de combinações químicas, relacionando a questão da valência com o número de vórtices presentes no átomo. Posteriormente, influenciado pelas leituras de trabalhos de M. Faraday, Thomson elabora um modelo atômico baseado em girostatos. Ou seja, o átomo seria formado por uma série de girostatos. Dessa forma, esse estudo sobre o modelo batizado de girostatos abriu caminhos para o cálculo da razão de carga negativa. Mas, foi em 1897, com a publicação do seu estudo sobre raios catódicos intitulado “On the cathode rays” que abriu a possibilidade de uma profunda mudança em sua proposta atômica. No ano de 1903, seus estudos na tentativa de compreender a distribuição dos elétrons com os cálculos de carga e massa do elétron, culminaram em sua proposta atômica de 1904.

O modelo apresentado por Thomson seria formado por anéis coplanares de corpúsculos dentro de uma esfera de carga positiva e uniforme. As bases teóricas deste modelo são mais aprofundadas no livro “Theory of Matter” de 1907, no qual são apresentadas várias propostas e vários estudos, configurando-se na proposta atômica de Thomson.

Assim, pode-se perceber que há uma constante mudança ao longo da vida de J. J. Thomson no que diz respeito aos referenciais teóricos, mostrando a sua versatilidade em mudar de referencial em busca de novas perspectivas de pesquisa, bem como na junção de diferentes trabalhos para gerar teorias mais consistentes que respondiam a inúmeros problemas da época.

## James Hopwood Jeans (1877 – 1946)

Em 1901, em um artigo intitulado de “The Mechanism of Radiation”, Jeans apresentou uma particular forma de interpretar os dados de Thomson, gerando o que foi denominado de átomo “ideal” de Jeans.

Com base em Connor e Turner (1965), na proposta de Jeans o átomo seria formado por uma porção de cargas  $-e$  e uma porção de cargas  $+e$ , as quais estariam em um certo equilíbrio, permanecendo estáveis. Onde essas cargas estariam, mutuamente, se repelindo e se atraindo de acordo com a lei do inverso quadrado da distância. Baseando esta proposta na análise de linhas espectrais de várias observações espectroscópicas. Este átomo “ideal” de Jeans, de certa forma, explicava com êxito o efeito Zeeman e descrevia as linhas dos espectros de Rydberg.

Porém, ao que parece, este modelo era basicamente teórico, validado pelos dados da espectroscopia e que não ganhou muito destaque, pois três anos depois Thomson desenvolvera sua proposta atômica que daria conta desses problemas. O que pode ser observado dessa sua participação da história da Teoria Atômica, é que Jeans trabalhava sob orientação de Thomson, o que o levou a definir sua proposta de átomo ideal seguindo a linha de raciocínio deste.

## Hantaro Nagaoka (1865 – 1950)

Físico japonês formado em Tókyo, no Japão, na época da restauração Meiji<sup>8</sup>. Fez mestrado e doutorado na mesma instituição<sup>9</sup> sob a orientação de C. G. Knott. Após seu doutorado, por incentivo do governo japonês, foi estudar em Berlim e Munich, com L. Boltzman. Seu intuito era se aprofundar na física ocidental e levar ao Japão conhecimento para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia daquele país. Durante suas viagens, Nagaoka, fez uma série de contatos, inclusive com Rutherford, quando visitou o laboratório de Cavendish. E em 1904, publicou na revista *Nature* e depois na *Phil. Magazine* a sua proposta de modelo atômico, baseando-se nos cálculos de Maxwell dos anéis de Saturno e adaptando-os para a escala atômica.

Em seu modelo, Nagaoka, de acordo com Conn e Turner (1962) e Lopes (2009), colocava um centro grande e carregado envolvido de anéis formados por corpúsculos que giravam com mesma velocidade ao seu redor. Com esta proposta era possível explicar vários fenômenos relacionados a diversas áreas de pesquisa. Porém, sua teoria encontrava um percalço com base na estabilidade de todo o sistema proposto, fazendo com que o tamanho e a energia da carga central fosse muito mais forte que das cargas opostas que orbitavam ao redor do núcleo. Outro problema apresentado por este modelo era o da velocidade angular dos corpúsculos, que deveria ser muito alta, com valores que de acordo com a física clássica, eram difíceis de serem obtidos.

Este modelo foi fortemente combatido por Schott, que enviou cartas a Nagaoka apresentando as fragilidades da sua proposta, estabelecendo assim um debate teórico entre os dois pesquisadores. Schott discordava dos cálculos de Nagaoka e também dos valores de carga central e de velocidade angular dos corpúsculos ao redor no anel, travando um longo debate sobre a validade do modelo saturniano. Posteriormente, Nagaoka desistiu de sua proposta e se

---

<sup>8</sup> Segundo Lopes (2009) a era Meiji vai de 1867 a 1912 e foi nessa época em que o Japão começa a abrir o país para a modernização e desconstrução de um sistema feudal.

<sup>9</sup> De acordo com Lopes (2009) e Conn e Turner (1965), Nagaoka fez todos seus estudos na Universidade de Tokyo, onde foi orientado pelo físico britânico Knott.

dedicou a outras áreas de pesquisa. Posteriormente, em carta<sup>10</sup> mandada a Neils Bohr, Nagaoka demonstra sua felicidade e satisfação ao reparar a grande similaridade entre a sua proposta e a proposta do modelo atômico de camadas proposto por Bohr a partir da proposta de Rutherford.

### **Lorde Rayleigh (1842 – 1919)**

Físico experimental no Laboratório de Cavendish, que dedicou sua vida ao estudo do som. Em contato com Thomson e sua pesquisa sobre a constituição da matéria e eletricidade, passou a fazer alguns estudos relativos à hipótese do fenômeno sonoro estar relacionado às propriedades atômicas.

Segundo Connor e Turner (1965), em 1906 Rayleigh sugeriu um modelo similar ao que Thomson apresentou em 1904, porém o número de elétrons em seu modelo teria uma variação para o infinito. Seu modelo também tinha uma semelhança com a proposta de Jeans, no entanto, diferia na forma de arranjo das diferentes cargas na estrutura atômica. Ou seja, Rayleigh optou por usar a mesma estrutura elucidada por Thomson, mas a variação de corpúsculos no interior da esfera positiva poderia chegar até o infinito. Rayleigh justifica essa possibilidade de acordo com a disposição das cargas e com a necessidade de haver a mesma quantidade de cargas positivas e negativas e de que a única diferença é que as cargas positivas estariam sem movimento de forma fluida, enquanto as negativas estariam com maior liberdade de movimento dentro da região delimitada pela esfera.

Esta proposta é uma possível tentativa de resposta para a definição do número de corpúsculos negativos dentro do átomo, a qual Thomson não havia ainda conseguido chegar. Havia esta dificuldade porque ainda não se conhecia outras partículas e nem as relações de massa que seriam estudadas no átomo nuclear posteriormente, logo, Rayleigh partindo desta problemática extrapola o número de possibilidades a infinito sempre trazendo uma distribuição igualitária entre positivo e negativo.

### **George Adolphus Schott (1868 – 1937)**

Schott em seu trabalho publicado na *Phil Magazine*, intitulado de “On the Electron Theory of Matter and the Explanation of Fine Spectrum Lines and of Gravitation” explica sua proposta do “elétron expandindo”, publicado em junho de 1906. Em sua proposta, de acordo com Connor e Turner (1965), Schott leva em conta que todos os elétrons se movem em círculos com velocidades uniformes. Recordando que o problema de Jeans era que os elétrons estariam se movendo com uma velocidade muito alta e com um pequeno raio de giro, o que causaria um problema físico de movimentação. Para trazer uma possibilidade de elucidação e uma saída a esse dilema, Schott propõe que o elétron pode se expandir e que ele internamente resiste a essa expansão. Nesta compreensão, Schott leva em conta que o elétron é uma forma esférica que está sujeito a uma constante força (pressão) em toda a sua superfície. Ou seja, para Schott o elétron teria a capacidade de se expandir para ocupar espaços dentro do átomo e consequentemente essa característica seria dominada pela pressão de todo o sistema.

Assim, com base em suas investigações, Schott elabora quatro postulados para o elétron no sistema atômico (CONNOR e TURNER, 1965):

(1) O elétron se expande vagarosamente.

(2) Para satisfazer o princípio da conservação de energia, se faz necessário que haja um *stress* interno que resiste à expansão, a qual segundo a visão de Schott seria um caso clássico de pressão hidrostática.

---

<sup>10</sup> Segundo Bohr (1963) esta carta data de 27 de Dezembro de 1913 (BOHR, 1963, p. 89).

(3) Que esta força a que o elétron está sujeito é parte da natureza de um éter que rodeia o elétron.

(4) Assim a reação final no elétron seria produto de uma pressão causada pela pressão do éter na superfície do elétron. Essa pressão não é exatamente balanceada com a taxa de expansão do elétron, porém, gravitação entre si como se o sistema se comportasse como um líquido.

São nestes postulados que Schott baseia seu modelo do elétron que expande, como uma tentativa de conciliar as observações de Rayleigh e Jeans sobre o átomo, numa forma de responder a inúmeras questões que surgiam naquela época e que não encontravam uma resposta satisfatória nas propostas de Thomson, Jeans e Rayleigh.

### **Ernest Rutherford (1871 – 1937)**

Físico que dedicou sua vida ao estudo dos fenômenos radioativos e da física nuclear, foi um dos precursores do átomo nuclear, junto com Nagaoka. Ingressou no ano de 1889 com uma bolsa de estudos no Canterbury College em Christchurch. Ganhou uma bolsa de estudos para estudar na Inglaterra, onde veio a trabalhar com J. J. Thomson no laboratório de Cavendish e após se destacar em sua pesquisa, foi convidado pelo próprio Thomson a estudar Raios X e eletricidade, vindo a publicar com Thomson na *Phil. Magazine*. Após este tempo de estudo foi para o Canadá, por indicação de Thomson, estudar com F. Soddy, onde ganhou um Nobel pelos estudos sobre radioatividade. Após alguns anos de estudos, Rutherford retorna para Manchester e começa a influenciar toda uma geração de jovens físicos como Marsden, Darwin, Geiger, Bohr, Chadwick, dentre outros (LOPES, 2009).

Como relatam Connor e Turner (1965), Rutherford dedica-se ao estudo das partículas radioativas e seu espalhamento mediante o bombardeamento destas em laminas metálicas, trabalho desenvolvido em conjunto de Geiger e posteriormente com Marsden. Neste trabalho fizeram vários disparos de partículas alfa e beta sobre lâminas metálicas buscando explicar os desvios sofridos por estas partículas. Lembrando que se deu a opção pelo estudo de partículas alfa, devido aos melhores resultados obtidos em inúmeros testes.

Geiger e Marsden, juntos, estudaram e observaram os espalhamentos de partículas alfa em vários metais vindo a publicarem um artigo na Royal Society. Após este trabalho Geiger publica outro artigo explicando a preferência por usar somente o ouro nos experimentos, devido ao fato deste metal ser mais fácil de trabalhar e também por possuir os melhores coeficientes de espalhamento. De posse dos resultados de Geiger, Rutherford tenta elucidar uma hipótese para o ocorrido, tentando usar o modelo proposto por Thomson que se mostra inconsistente com os ângulos de deflexão das partículas alfa. Nesse sentido, Rutherford trabalha em levar em conta que o átomo teria uma região central e periférica.

Lopes (2009) argumenta que Rutherford nunca localizou as cargas no átomo, somente explicou que o sinal de cargas do núcleo e da região à sua volta teria de ser diferente para ocorrer atração. Logo, Rutherford defendia seu modelo como sendo um centro de carga concentrada, rodeado por uma distribuição esférica uniforme de cargas opostas de igual valor. Vale lembrar que, segundo Lopes (2009), este estudo não despertou interesse na comunidade, pois os pesquisadores da época estavam preocupados em elucidar os elétrons. Alguns anos após este trabalho é que é dada a devida atenção a esta questão, através dos estudos de Niels Bohr e outros físicos.

### **John William Nicholson (1881 – 1955)**

Astroquímico e estudioso de física de partículas, também atuou no laboratório de Cavendish e posteriormente em Oxford, estudando os espectros da coroa solar. Propôs um modelo atômico



baseado em seus estudos publicados em três artigos em 1911, os quais faziam menção ao estudo de espectros da coroa solar.

Lopes (2009) e Conn e Tunner (1965) afirmam que a proposta de Nicholson tinha relação com o seu estudo de movimentos de elétrons. Assim, Nicholson supôs um núcleo maciço e elétrons dispostos em órbitas, não tendo como referência a proposta de Rutherford e sim usando como base de suas investigações o modelo de Thomson e, possivelmente, o de Nagaoka.

Nicholson foi o primeiro a usar este modelo com sucesso para prever linhas espectrais de corpos celestes antes mesmo destas serem observadas (LOPES, 2009, p. 115).

Nicholson atribuíu a emissões do espectro a fenômenos de configuração eletrônica dos átomos. Para chegar a estes resultados usou as idéias de Planck, as quais, segundo Lopes (2009), abriram caminho para outros estudos e para o desenvolvimento das bases da teoria quântica na Inglaterra. No seu modelo de átomo, Nicholson levou em conta quatro substâncias primordiais para a sua formação:

- (1) *Coronium*: átomo com um anel com dois elétrons girando ao redor de um núcleo positivo.
- (2) *Hidrogênio*<sup>245</sup>: átomo com um centro e um anel com três elétrons girando ao seu redor.
- (3) *Nebulium*: átomo contendo um único anel com quatro elétrons girando ao redor de um núcleo positivo.
- (4) *Protofluorine*: átomo com um único anel com cinco elétrons girando ao redor de um núcleo positivo.

E que a união dessas quatro substâncias desenvolveria todos os átomos dos elementos que atualmente conhecemos. Com esta proposta, Nicholson evitava os problemas que Schott apontou no modelo proposto por Nagaoka, do ponto de vista da estabilidade. E ainda usando sua proposta para calcular dois átomos hipotéticos contendo o *Nebulium* e *Protofluorine*, de acordo com Connor e Turner (1965). Posteriormente, como lembra Lopes (2009), este e outros trabalhos de Nicholson serviram de base para os cálculos do átomo de Bohr, mostrando sua importância no estabelecimento das bases de uma nova física e no desenvolvimento da teoria atômica.

### **Niels Bohr (1885 – 1962)**

Graduou-se e pós-graduou-se em Copenhague. No seu trabalho de mestrado e de doutorado fez estudos teóricos sobre o comportamento do elétron, estudo este que não era explicado quantitativamente. Desde 1911, época em que termina seus estudos de Doutorado, Bohr já estava convencido que era necessário uma ruptura da física clássica para uma nova física. Após o término do seu doutorado foi para Cavendish na tentativa de trabalhar com J. J. Thomson, pesquisador que ele muito admirava. Porém, em um jantar Bohr leva um artigo de Thomson e começa a apontar possíveis erros sem explicação, o que acaba por tumultuar a sua relação com Thomson. Após este episódio, Bohr vai trabalhar com Rutherford na pesquisas com partículas alfa, trabalhando na variação de energia dessas partículas. Com os dados deste estudo, Bohr consegue desenvolver as bases do seu famoso artigo de 1913 (LOPES, 2009).

No ano de 1913, de acordo com Lopes (2009), Bohr publica “sobre a constituição de átomos e moléculas”, onde apresenta em três artigos as bases de sua teoria atômica, inspirada nos trabalhos anteriores de Rutherford. No primeiro artigo Bohr traz os modelos de Thomson e Rutherford fazendo várias ponderações sobre o cálculo, analisando como seu modelo era instável frente à dinâmica clássica.

Com esta trilogia de artigos, Bohr faz alusão a uma nova possibilidade, na qual a física clássica não daria conta de explicar certos fenômenos, necessitando de uma nova física. De acordo com BOHR (1963), quem sugere que Niels Bohr publique uma trilogia é Rutherford, depois de ler uma carta com uma cópia do artigo original, sugerindo uma simplificação de cálculos, idéias e conclusões, para se adequar a forma britânica de publicação. Em julho de 1913, época que ocorre a publicação de sua trilogia, Bohr se encontrava em Copenhague e tinha uma estreita relação de amizade e comunicação com Rutherford, que lia todos os seus estratos de trabalhos com o átomo, emitindo suas opiniões.

Segundo Lopes (2009), Bohr também tem contato com os trabalhos de Nicholson que o ajudam a compreender a empregabilidade de cálculos que foram à base de seu modelo atômico, mesmo seguindo um caminho completamente diferente do de Nicholson no uso da Constante de Planck ( $h$ ).

Com base no modelo proposto por Bohr o átomo tem, como defendido por Rutherford, um núcleo central pequeno que concentra toda a massa do átomo, este núcleo é positivo. E ao seu redor há um numero de elétrons fazendo movimento circulares. Na Parte II de seu artigo, nos pressupostos gerais, Bohr deixa claro essa decisão tomada de partir do modelo de Rutherford para propor seu modelo:

Seguindo a teoria de Rutherford, supomos que os átomos dos elementos são formados por um núcleo carregado positivamente rodeado por um enxame de elétrons. No núcleo está concentrada a parte essencial da massa do átomo, sendo as suas dimensões lineares extremamente pequenas em comparação com as distâncias entre os elétrons que o rodeiam. (...) Postularemos que os elétrons estão dispostos em intervalos angulares iguais, rodando sobre anéis coaxiais em torno do núcleo. Com o fim de determinar a frequência e dimensões dos anéis empregaremos a hipótese principal do primeiro artigo, ou seja: que, no estado permanente de um átomo, o momento angular de cada elétron em torno do centro da sua órbita é igual ao valor universal  $h/2\pi$ , sendo  $h$  a constante de Planck (BORH, 1963, p 133 – 135).

Através do trabalho de Bohr (1963), entende-se que os átomos possuem um núcleo denso e positivo que representa a maior parte do peso do átomo e que à sua volta há elétrons que descrevem órbitas circulares de acordo com o cálculo da constante de Planck ( $h$ ). Ainda vale lembrar que estes dados são postulados, pois naquele momento a física ainda estava no paradigma clássico, necessitando uma mudança para um novo paradigma, o quântico. Com base nesta estrutura, Bohr estabeleceu que as emissões em séries de espectros seriam em decorrência da mudança e movimentos de elétrons de camadas mais externas para mais internas, seguindo um conjunto de regras postuladas ao final da trilogia de 1913:

Para se aplicarem os resultados obtidos por Planck é, portanto, necessário introduzir novas hipóteses sobre a emissão e absorção de radiação por um sistema atômico (BOHR, 1963, p. 195).

Estas cinco hipóteses seriam com base, de acordo com Bohr (1963), no movimento e organização dos elétrons ao redor do núcleo. E de como ocorreriam a absorção e a liberação de energia para gerar espectros luminosos dos elementos químicos. De acordo com as cartas de Bohr presentes no compendio de 1963, a repercussão de sua teoria foi muito grande gerando questionamentos vindos de pesquisadores de todas as partes do mundo, dentre estes destaco A. Sommerfeld que se mostrou mais participativo em debates teóricos, propondo cálculos para o modelo atômico de Bohr, bem como propondo que Bohr o usasse para problemas físicos já conhecidos como o do efeito Zeeman, dentre outros:

Agradeço-lhe muito o envio do seu interessantíssimo trabalho, que eu já estudara no Philosophical Magazine. O problema de exprimir a constante de Rydberg-Ritz mediante a constante  $h$  de Planck desde há muito que me traz suspenso. Há alguns anos, falei nele a Debye. Conquanto eu seja ainda um pouco céptico perante os modelos atômicos em geral, há sem dúvida nos domínios daquela constante muito trabalho a fazer. Aliás, a estimativa numérica efetuada com o novo valor de  $h=6,4 \times 10^{-27}$  é ainda melhor. Aplicou o seu modelo atômico ao efeito de Zeeman? Gostaria de tratar desse problema. Talvez possa em breve saber mais sobre os planos por intermédio de Rutherford, que espero ver em outubro (BOHR, 1963, 88).

Assim, pode-se entender como Bohr, com sua trilogia de artigos, conduziu a uma significativa mudança na forma de pensar sobre a estrutura atômica, abrindo caminho a uma nova física que viria se instaurar anos mais tarde.

## Considerações Finais

Neste trabalho apresentou-se um recorte da teoria atômica, que de acordo com Lopes (2009) é um episódio histórico rico e complexo com diversos grupos de pesquisadores analisando a constituição da matéria. Com base em Lopes (1990), Mortimer (1988), Niaz (1998) e Quintanilla et al (2008), os livros didáticos de química, geralmente, recortam esse episódio histórico, apresentando os modelos sem fazer referência ao percurso histórico da construção destes. Lembrando que, segundo Niaz (1998), a maioria dos livros didáticos ignoram o fato que o progresso da ciência envolve a competição entre vários grupos e conflitos entre estes, passando uma imagem de ciência linear, onde um modelo atômico substitui o outro, quando na verdade estes competiram e foram postos à prova por toda uma comunidade de pesquisadores. Sendo assim, muitas vezes o livro didático apresenta somente o produto, não apresentando as reais idas e vindas da construção de um determinado modelo. Nesse sentido, entende-se que, de acordo com Matthews (1995), a abordagem histórica e filosófica da ciência no processo de construção dos modelos atômicos, pode vir a se tornar um potencializador da aprendizagem, contribuindo para a compreensão de que a ciência é uma construção humana, provisória e não linear. Sendo assim, este trabalho pode vir a subsidiar a prática de professores que querem trazer esta compreensão dos processos de construção dos modelos atômicos, contrapondo-se à história simplista que geralmente é veiculada por vários livros didáticos destinados ao Ensino Básico e ao Ensino Superior.

## Referências Bibliográficas

- BOHR, Niels. **Sobre a constituição de átomos e moléculas**. In Textos Fundamentais da Física Moderna: II Volume. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 1963.
- FITZPARTRICK, T. C. WHETHAM, W. C. D. **The building of the laboratory**. In A History of Cavendish Laboratory (1871 – 1910). Londres: LONGMANS, GREEN.1910.
- CARUSO, F. OGURI, V. **Física moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2006.
- CONN, G. K. T. TURNER, H. D. **The evolution of the nuclear atom**. Londres: Iliffe Books. 1965.
- LOBATO, César de Barros. Misturas e combinações químicas: estudos e explicações atômicas de John Dalton (1766 – 1844). **Dissertação de Mestrado**. PUC-SP. São Paulo. 2007.

LOPES, Cesar Valmor Machado. Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica a introdução a física quântica. **Tese de Doutorado**. PUC-SP. São Paulo. 2009.

LOPES, Alice R. Casimiro. Livros Didáticos: Obstáculos aos aprendizados da ciência química. **Dissertação de Mestrado**. Instituto de Estudos Avançados em Educação-FGV. 1990.

MATTHEWS, M. R. Historia, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. V. 12, n. 3, p. 164-214. 1995.

MORTIMER, Eduardo Fleury. O ensino de estrutura atômica e de ligação química na escola de 2º grau: Comédia, tragédia ou comédia? **Dissertação de Mestrado**. Faculdade de Educação-UFMG. 1988.

NIAZ, Mansoor. From cathode rays to alpha particles to quantum of action: a rational reconstruction of structure of the atom and its implications for chemistry textbooks. **Science Education**. V. 82 (5), p. 527 – 552. 2008.

QUINTANILLA, Mario. CUÉLLAR, Luigi. CAMACHO, Johana. La história del átomo en los libros de texto didáctica de una propuesta de innovación construida desde una visión naturalizada de la ciencia. **Nova Época**. V. 1 (2), p. 97 – 107, 2008.

VIANA, Hélio E. B. A Construção Atômica da Teoria de Dalton como Estudo de Caso – e algumas reflexões para o ensino de química. **Dissertação de Mestrado**. FE-USP. São Paulo. 2007.