

## RUPTURA CLÁSSICO-QUÂNTICA: A FILOSOFIA DE NIELS BOHR E SUA VISÃO SOBRE O SURGIMENTO DA NOVA MECÂNICA

Jade Carvalho Ferreira<sup>1</sup> (IC), Evandro Fortes Rozentaliski (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá.

**Palavras-chave:** Ensino. Caso Histórico. História da Ciência. Química.

### Introdução

A História e Filosofia da Ciência (HFC) só veio a ser tratada como disciplina acadêmica durante o século XX. Como afirma Kragh (2003, p.1) “o desenvolvimento da ciência sempre foi acompanhado por descrições e análises históricas” e a área de HFC busca cumprir esse papel de análise de acontecimentos científicos. A área passou por transformações e hoje é considerada pertencente à grande área de Ciências Humanas, subárea História (CNPQ, 2022).

Diversas são as contribuições da História da Ciência (HC) para a sociedade, sendo uma das principais o uso na educação pois ao incorporar elementos da HC no processo de ensino-aprendizagem, o educador tem a oportunidade de levantar questões que não são abordadas no livro didático, como o que pode ter influenciado um cientista, qual o contexto social da época, trabalhos que foram desenvolvidos previamente e a construção coletiva da ciência, entre outros aspectos que passam despercebidos em abordagens mais tradicionais (MARTINS,R,2006). Mesmo com essas potencialidades, a área ainda é carente de abordagens voltadas para o Ensino Médio.

A importância da área vem sendo reconhecida por educadores de diversos locais, estando presente no Brasil em documentos oficiais como os Parâmetros Curriculares Nacionais e a Base Nacional Comum Curricular, mesmo apresentando alguns problemas (GUARNIERI et al., 2021). Roberto Martins (2006) cita que as principais dificuldades para implementar a HFC no ensino é 1) a carência de professores com formação adequada para pesquisar e ensinar na área; 2) a falta de material didático adequado e 3) equívocos relacionados à História da Ciência e o uso na educação.

Com o presente trabalho pretende-se corroborar que o uso de História e Filosofia da Ciência pode contribuir para o ensino de Ciências, apresentando o caso histórico sobre a ruptura da mecânica clássica para a mecânica quântica, tendo como foco o personagem Niels Bohr. Dessa forma, pretende-se produzir um material com potencial uso didático por professores da área das ciências da natureza no Ensino Médio.

Esta temática se demonstra relevante pois Niels Bohr é discutido no Ensino Médio como maneira de

contextualizar as temáticas de transição e distribuição eletrônica, raio atômico e por ser um modelo atômico introdutório para o modelo quântico. Desta forma, os objetivos do trabalho são reunir fontes historiográficas sobre o tema, tendo como recorte histórico o início do século XX, buscando compreender quais eram as mudanças sobre a constituição da matéria e do átomo, como isso pode ter influenciado Niels na construção de seu modelo atômico e qual era a visão dele sobre a ruptura clássico-quântica.

### Metodologia

Por ser uma metadisciplina, ou seja, um estudo de segundo nível que analisa a ciência, a HC possui uma metodologia própria, tendo diferentes níveis de aprofundamento e abordagens conceituais que podem discutir fatores internos (evidências científicas e o trabalho desenvolvido) ou externos (fatores extracientíficos e suas influências no trabalho científico), sendo essas algumas das particularidades da área (MARTINS, L., 2005).

O historiador da ciência não tem interesse e não realiza investigações sobre a Natureza, sendo seu objetivo investigar o trabalho do cientista em um determinado contexto histórico.

O maior interesse do estudo historiográfico é a atividade científica que abrange as explicações para fenômenos, a rotina de laboratório, o comportamento dos cientistas e os fatores sociais que impactaram na construção do conhecimento científico em determinado período histórico (KRAGH, 2003).

Diferentes abordagens podem ser utilizadas na área, sendo a mais recomendada a visão diacrônica da ciência, ou seja, estudar a ciência do passado com base em opiniões, valores e ideias que existiam na época, colocando-se “como observadores *no* passado, e não simplesmente *do* passado” (KRAGH, 2003, p. 100, grifo nosso).

Considerando o exposto acima, a pesquisa se desenvolveu realizando o recorte histórico de interesse (final do século XIX e início do século XX) sendo motivado pelas fortes mudanças nas ideias científicas envolvendo o átomo. O levantamento bibliográfico foi feito em periódicos com base no Qualis-Periódicos do

Quadrênio 2013-2016, buscando por revistas com notas A1, A2, B1 e B2 na área de Ensino utilizando os dados disponíveis na Plataforma Sucupira. Dos resultados obtidos foi feita uma filtragem para as revistas que possuem como foco a área de História e Filosofia da Ciência sendo selecionadas 22 revistas. Nestas foi feita uma busca utilizando os termos: “Bohr”, “Quântica” (“cuántica” quando necessário), “Mecânica Quântica” e “Física Quântica”. Os resultados obtidos utilizando estes termos totalizaram 268 trabalhos, porém destes apenas 23 eram da área de História e Filosofia da Ciência, sendo estas as fontes secundárias selecionados para leitura, constituindo o corpo de fontes secundárias da pesquisa (trabalhos que foram criados em um tempo posterior à época a que se refere).

Para as discussões sobre as ideias e interpretações de Bohr acerca do surgimento desta nova área do conhecimento, iremos utilizar o livro “Sobre a Constituição dos Átomos e Moléculas” que contém a trilogia publicada em 1913 na Philosophical Magazine. Este trabalho é uma tradução feita pela Fundação Calouste Gulbekian, com introdução de Léon Rosenfeld (1904 – 1974), amigo próximo de Bohr, sendo publicada em 1979 e de livre acesso no site da fundação. Essa referência constitui a fonte primária do trabalho, ou seja, fontes que foram produzidas na mesma época em que se realiza a investigação histórica, sendo estas empregadas ou criadas pelos cientistas.

Para guiar a construção do estudo foram elaboradas as seguintes questões: Biografia – *Quem foi Niels Bohr? Como era sua família e sua vida pessoal? Onde ele estudou? Quais foram suas influências no meio científico? Suas parcerias acadêmicas? Qual é a relevância histórica de Niels Bohr para a química e a física?*; Contexto científico e social da época – *Quais as questões que o núcleo científico da época estava preocupado em responder? Quais eram as teorias clássicas vigentes e quais suas limitações? Quais foram as ideias da época que influenciaram a Bohr e sua filosofia sobre a mecânica quântica? Como Bohr estava inserido nessas questões?*; A filosofia de Bohr sobre a Quântica – *O que era a teoria quântica para Bohr? Quais eram seus fundamentos? Por que ela era necessária? Quais eram suas diferenças e rupturas em relação à mecânica clássica?*

### Resultados e discussão

No final do século XIX e começo do século XX, muitas eram as teorias e propostas para explicar a constituição da matéria, impulsionadas em parte pelos estudos sobre a radioatividade e fenômenos ainda inexplicados como a radiação de corpo negro (LOPES, 2009). Um personagem

que é essencial para o caso histórico aqui apresentado é Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858 – 1947) que propõe em 1900 a ideia de quantização de energia. Planck propunha uma fórmula para a radiação de corpo negro (fenômeno ainda incompreendido em 1900) e, posteriormente, introduz a ideia de quantização de energia inspirada nas ideias de Boltzmann (1844 – 1906) (STUDART, 2000). A relevância do trabalho de Planck começou a ganhar destaque por volta de 1905, quando Albert Einstein (1879 – 1955) utilizou a ideia dos quanta de luz para explicar o efeito fotoelétrico e em 1911 no 1º Congresso de Solvay, intitulado “The Theory of Radiation and the Quanta” ou “A Teoria da Radiação e o Quanta” em tradução livre (STRAUMANN, 2011), contando com a presença de Rutherford, futuro orientador de Bohr.

Figura 1 – Participantes da 1ª Conferência de Solvay em 1911



Fonte: STRAUMANN, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1140/epjh/e2011-20043-9>. Acesso em: 17 jun. 2022.

Ernest Rutherford (1871 – 1937) foi um físico inglês, mentor de Bohr e idealizador do modelo atômico de 1911 que foi proposto com base em resultados experimentais do bombardeamento de uma folha de ouro com raios catódicos. Analisando o ângulo de espalhamento obtido, ele propõe seu modelo atômico como uma carga central, rodeada por uma distribuição uniforme de carga elétrica, com sinal oposto a este primeiro (LOPES, 2009). Esse modelo apresentava uma instabilidade eletrodinâmica pelo ponto de vista clássico.

Iniciando a discussão sobre Niels Bohr (1885 – 1962) será feita apresentado alguns dados sobre sua biografia. Nascido em Copenhague, ele era o filho do meio de três irmãos. Seu pai foi professor de fisiologia na Universidade de Copenhague e desde jovem ele e seu irmão participavam de reuniões do círculo científico do pai, tendo contato desde cedo com aspectos da Natureza

da Ciência e da importância da filosofia e do debate na construção de ideias (GILLISPIE, C.; BENJAMIN, 2007).

Em 1903 ele ingressa na Universidade de Copenhague onde obtém a graduação e seus títulos de mestre e doutor em física. Em 1912 se casa com Margrethe com quem teve seis filhos.

Figura 2 – Niels e Margrethe Bohr com seus filhos e cônjuges e netos em 1955.



Fonte: Niels Bohr Institute, 2012. Disponível em: [https://nbi.ku.dk/english/www/niels/bohr/de\\_sidste\\_aar/](https://nbi.ku.dk/english/www/niels/bohr/de_sidste_aar/). Acesso em: 17 jun. 2022.

Sua tese de doutorado foi sobre a teoria de elétrons em metais, sendo este um dos motivos que o levou a procurar um orientador na Inglaterra e compreender melhor sobre a natureza do elétron (NIELS BOHR INSTITUTE, 2012b). Em 1912 ele se muda para Manchester para prosseguir os estudos sob orientação de Rutherford, permanecendo lá de abril a julho do mesmo ano.

No começo do século XX desenvolviam-se teorias embasadas por experimentos para compreender a natureza do átomo, como o experimento de Ernest Rutherford publicado em 1911. Este modelo apresentava a existência de um núcleo grande e central, rodeado por partículas de carga opostas que estariam girando em órbitas circulares, quase como um modelo planetário, sendo duramente criticado pelos seus pares da época devido à instabilidade eletrodinâmica (VASCONCELOS; FORATO, 2018).

As ideias contidas nos trabalhos de Bohr revelam que ele reconhece a complexidade dos momentos vividos, apontando logo na introdução que suas ideias partem do modelo atômico de Rutherford e que existem dificuldades “de natureza muito séria” (BOHR, 1979, p 96) neste modelo. Bohr nos traz que “o resultado da discussão destas questões parece ser um reconhecimento geral de que a eletrodinâmica clássica não consegue descrever o

comportamento de sistemas de dimensões atômicas” (BOHR, 1979, p 96).

Nas palavras do próprio Niels, “sabe-se que a mecânica ordinária não pode ter validade absoluta, sendo apenas legítima em cálculos de certos valores médios do movimento dos elétrons” (BOHR, 1979, p 104), revelando mais uma vez que ele reconhecia as limitações da mecânica clássica, utilizando as ideias modernas para explicar certos fenômenos que até então não eram possíveis de compreender.

As considerações gerais da Parte I do livro apresentam, de maneira matemática, suas concepções sobre a inserção das ideias de quantização no modelo atômico, não afirmando, em nenhum momento, que as ideias quânticas são as *verdadeiras*, buscando, sempre que possível, conciliar suas ideias modernas com as ideias clássicas, fato que pode ser observado em:

“1) Que o equilíbrio dinâmico dos sistemas nos **estados estacionários** pode ser discutido por meio da **mecânica ordinária**, enquanto a passagem dos sistemas entre diferentes estados estacionários não pode ser tratada nessa base.

2) Que este último processo é seguido pela emissão de uma radiação homogênea, para a qual a relação entre a frequência e a quantidade de energia emitida é a dada **pela teoria de Planck**” (BOHR, 1979, p 104, grifo nosso).

Buscando amparo experimental para suas ideias, Bohr nos apresenta que “o caráter preliminar e hipotética das considerações anteriores não precisa ser sublinhado”, afirmando logo em seguida que “fatos experimentais que não podem ser explicados por meio da eletrodinâmica ordinária” (BORH, 1979, p 121), demonstrando novamente como suas ideias ainda estavam em estágio de amadurecimento e que as ideias propostas pareciam estar coerentes com as evidências obtidas de maneira experimental.

Um outro ponto que gostaríamos de chamar a atenção reside no fato de Bohr postular que nos estados estacionários é possível discutir o equilíbrio dinâmico por meio da mecânica clássica, sendo necessário o uso dos pressupostos quânticos nas transições entre estados estacionários, o que hoje chamamos de transição eletrônica.

Com base nas discussões tecidas aqui, é possível realizar algumas considerações acerca das potencialidades do caso histórico para o ensino. Gostaríamos de destacar que a pesquisa aqui apresentada não foi concluída, tendo o vínculo de IC sido encerrado antes de completados os 12 meses de pesquisa.

## Conclusões

O uso da HFC no ensino permite que os alunos tenham

contato com questões que vão além das teorias e conceitos comumente apresentados, permitindo que o ensino de ciência se dê de maneira mais completa (MARTINS, 2006). Porém a implementação da HFC no ensino enfrenta dificuldades como a falta de materiais didáticos bem fundamentados que podem ser empregados pelos professores.

Nesse sentido, uma das potencialidades do estudo de caso para o ensino se dá em ser uma fonte de material de discussão com os alunos; A discussão de aspectos da Natureza da Ciência consiste em discussões sobre a construção, organização e estabelecimento do conhecimento científico como é aceito (MOURA, 2014), contido em momentos em que Bohr discute sobre os motivos que o levaram a propor aquela determinada teoria.

O próprio questionamento e insegurança de Bohr de propor algo que estava no limite entre o clássico e o quântico pode ser utilizado como maneira de discutir a questão da “verdade” e do papel da comunidade científica na construção do conhecimento e como a criação desse novo campo despertava certos receios e desconfianças de seus colegas. Além disso é possível observar a vinculação feita pelo cientista com aspectos experimentais e como muitas de suas ideias buscavam explicar dados obtidos experimentalmente. Esse aspecto permite discutir como a experimentação era valorizada na época, podendo ser problematizada sobre até onde os dados empíricos são importantes para construção do conhecimento.

Pesquisas nessa área são limitadas pela disponibilidade de fontes existentes na língua estudada, sendo a pesquisa um pouco prejudicada pela ausência de traduções de livros e palestras de Bohr para o português. Devido ao fato da pesquisa ter sido encerrada antes de sua conclusão, o trabalho carece de aprofundamento em alguns aspectos como a ruptura para a mecânica quântica e também um maior diálogo sobre a potencialidade do caso histórico para o ensino.

### Agradecimento

À Universidade Federal de Itajubá pelo fomento durante os meses de pesquisa, ao Instituto de Física e Química pela infraestrutura e meu orientador, professor Dr. Evandro Rozentalski por ter me aceitado como aluna e ter me ensinado tanto.

### Referências

BOHR, N. **Sobre a constituição de átomos e moléculas**. Tradução de Egdio Namorad. [S. l.: 2ª ed., vol. 2 1979. 210 p. (Título original: **On the constitution of atoms and molecules**)

CNPQ - CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. **Áreas do Conhecimento - Ciências Humanas**. [S. l.], 2022. Disponível em: <http://lattes.cnpq.br/web/dgp/ciencias-humanas>. Acesso em: 28 nov. 2021.

GILLISPIE, C.; BENJAMIN, C. Bohr, Niels. In: **DICIONÁRIO DE BIOGRAFIAS CIENTÍFICAS**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2007. p. 290–306.

GUARNIERI, P. V. *et al.* História e filosofia da ciência na educação básica: reflexões a partir da Base Nacional Comum Curricular. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Santa Catarina, v. 14, n. 2, p. 331–356, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2021.e76590>. Acesso em: 17 fev. 2022.

KRAGH, H. **Introdução a Historiografia da Ciência**. 1ªed. Porto - Portugal: 240 p., 2003.

LOPES, C. V. M. **Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica**. 185 f. Tese (Doutorado em História da Ciência) - Pontífca Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2009.

MARTINS, L. A.-C. P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação (Bauru)**, Bauru, v. 11, n. 2, p. 305–317, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-73132005000200011>. Acesso em: 11 ago. 2021.

MARTINS, R. de A. Introdução: A história das ciências e seus usos na educação. In: ESTUDOS DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DAS CIÊNCIAS: SUBSÍDIOS PARA APLICAÇÃO NO ENSINO. [S. l.: s. n.], 2006.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? What is the nature of Science and what is its relation with the History. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [s. l.], v. 7, p. 32–46, 2014.

NIELS BOHR INSTITUTE. **Life as a student**. [S. l.], 2012b. Disponível em: <https://nbi.ku.dk/english/www/niels/bohr/universitetet/>. Acesso em: 17 jun. 2022.

STRAUMANN, N. On the first solvay congress in 1911. In: , 2011. **European Physical Journal H**. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1140/epjh/e2011-20043-9>. Acesso em: 17 jun. 2022.

STUDART, N. A invenção do Conceito de quantum de energia segundo Plank. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, Florianópolis, v. 22, n. 4, p. 523–535, 2000.