



DO ÁTOMO DE DEMÓCRITO À MECÂNICA QUÂNTICA: O OLHAR DE BACHELARD SOBRE AS RUPTURAS NA CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

FROM DEMOCRITUS' ATOM TO QUANTUM MECHANICS:
BACHELARD'S PERSPECTIVE ON THE BREAKS IN THE
CONSTRUCTION OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE

GRAZIELE APARECIDA CORREA RIBEIRO ^{*1}, THAÍS RAFAELA HILGER ^{†2}

¹Centro Universitário Internacional Uninter (UNINTER).

²Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Resumo

Este artigo explora a evolução histórica e epistemológica do pensamento científico, desde a filosofia atomista de Demócrito até o desenvolvimento da mecânica quântica. Sob a perspectiva da epistemologia de Gaston Bachelard, analisa-se como as rupturas epistemológicas foram fundamentais para superar obstáculos e transformar paradigmas, construindo novos alicerces para o conhecimento científico. A abordagem articula elementos históricos, filosóficos e pedagógicos, destacando a importância das descontinuidades no avanço da ciência. Partindo deste contexto, a problemática a ser investigada neste estudo é: como as rupturas epistemológicas entre o atomismo de Demócrito e a mecânica quântica podem ser compreendidas à luz da epistemologia de Gaston Bachelard? Para responder a essa questão, tem-se como objetivo analisar como essas rupturas contribuíram para o desenvolvimento do conhecimento científico, articulando uma abordagem histórica e filosófica que integre as ideias bachelardianas ao contexto da construção e reconstrução do saber.

Palavras-chave: Bachelard. Paradigmas da Ciência. Epistemologia.

*graziele.correa@yahoo.com.br

†thais.hilger@gmail.com

Abstract

This article explores the historical and epistemological evolution of scientific thought, from Democritus' atomist philosophy to the development of quantum mechanics. From the perspective of Gaston Bachelard's epistemology, it examines how epistemological ruptures were fundamental in overcoming obstacles and transforming paradigms, thus building new foundations for scientific knowledge. The approach integrates historical, philosophical, and pedagogical elements, emphasizing the importance of discontinuities in the advancement of science. Within this context, the research question investigated in this study is: how can the epistemological ruptures between Democritus' atomism and quantum mechanics be understood in light of Gaston Bachelard's epistemology? To address this question, the objective is to analyze how these ruptures contributed to the development of scientific knowledge, articulating a historical and philosophical approach that integrates Bachelardian ideas into the context of knowledge construction and reconstruction.

Keywords: Bachelard. Scientific Paradigms. Epistemology.

I. INTRODUÇÃO

A evolução do pensamento científico é marcada por profundas transformações que desafiaram paradigmas estabelecidos e remodelaram a compreensão da natureza. Desde a concepção atomista de Demócrito, que postulava a indivisibilidade da matéria, até o desenvolvimento da mecânica quântica, que introduziram conceitos probabilísticos e a dualidade onda-partícula, a ciência avançou por meio de rupturas epistemológicas que reconfiguraram os fundamentos do conhecimento.

Nesse contexto, a epistemologia Bachelard (1938) destaca-se como uma ferramenta teórica para compreender como o progresso científico se dá por meio de descontinuidades, denominadas rupturas epistemológicas. Segundo Ibid (1938), o avanço da ciência não é linear, mas ocorre ao superar preconceitos e obstáculos epistemológicos que limitam o pensamento em determinado período histórico.

Partindo deste contexto, a problemática deste estudo reside na seguinte questão: como as rupturas epistemológicas entre o atomismo de Demócrito e a mecânica quântica podem ser compreendidas à luz da epistemologia de Gaston Bachelard? Para responder a essa questão, tem-se como objetivo analisar como essas rupturas contribuíram para o desenvolvimento do conhecimento científico, articulando uma abordagem histórica e filosófica que integre as ideias bachelardianas ao contexto da construção e reconstrução do saber. De forma concomitante, este trabalho também explora as implicações pedagógicas dessa análise, investigando de que forma a compreensão dessas rupturas pode auxiliar na formação de uma visão crítica e dinâmica da ciência, no ensino de Física.

II. CONSTRUCTO DA EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD NA CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

Para Bachelard (1934), a ciência é um campo dinâmico, caracterizado por transformações contínuas e rupturas epistemológicas que impulsionam o progresso do conhecimento. Ele rejeita a ideia de verdades absolutas ou definitivas, argumentando que a ciência evolui em um processo dialético que busca constantemente reformular e superar suas próprias bases, em direção ao que chama de novo espírito científico. Esse espírito, contudo, é sempre inacabado, pois reflete a natureza transitória e evolutiva do pensamento científico. Ibid (1934) enfatiza que uma filosofia da ciência que seja adequada ao pensamento em constante evolução deve considerar os efeitos reativos do conhecimento sobre a estrutura espiritual dos sujeitos cognoscentes.

Em sua obra: *A Formação do Espírito Científico* (1938), ele rompe com a filosofia tradicional empírica, que baseia-se exclusivamente na observação e em generalizações fixas. Para ele, a ciência não deve ser linear e determinista, mas composta por uma polaridade epistemológica que combina os polos realista e idealista, empirista e racionalista, de forma simultânea. Essa dualidade é essencial para permitir a construção de uma ciência dinâmica que dialogue com as flutuações e incertezas inerentes à natureza dos fenômenos científicos.

Parece-nos, pois, claro que não dispomos de uma filosofia das ciências que nos mostre em que condições simultaneamente subjetivas e objetivas os princípios gerais conduzem a resultados particulares, a flutuações diversas; em que condições os resultados particulares sugerem generalizações que os completem, dialéticas que produzam novos princípios (BACHELARD, 1938, p. 4).

Essa perspectiva implica uma crítica à ciência tradicional, que, ao privilegiar apenas um dos polos epistemológicos, limita-se à estagnação e ao dogmatismo, afastando-se do novo espírito científico. Essa abordagem linear, segundo Bachelard (1940), impede a dinâmica necessária para alcançar avanços significativos. Ele argumenta que a evolução da ciência ocorre em etapas que refletem diferentes níveis de compreensão: o estado pré-científico, o estado científico e o novo espírito científico.

O estado pré-científico abrange desde a Antiguidade Clássica até o Renascimento, período em que o pensamento era amplamente baseado na observação direta e na especulação filosófica, sem experimentação sistemática. O estado científico emerge nos séculos XVIII e XIX, marcando um avanço significativo com a Revolução Industrial e os progressos nas ciências naturais, mas ainda dentro de uma visão mecanicista e determinista. Já o novo espírito científico, iniciado com as publicações de Einstein em 1905, rompe com o determinismo clássico ao introduzir conceitos como a relatividade, a incerteza e a dualidade onda-partícula. Esse período, representado por figuras como Dirac, De Broglie, Heisenberg e Schrödinger, estabelece uma ciência caracterizada por experiências contínuas e pela rejeição de verdades absolutas.

Bachelard (1996) também enfatiza que o progresso da ciência exige superar obstáculos

epistemológicos, que ele define como barreiras internas ao processo de conhecer, não provenientes da complexidade dos fenômenos, mas do próprio ato de pensar. Entre os principais obstáculos, ele destaca a experiência primeira, que prioriza o impacto sensorial e estético de um fenômeno em detrimento de sua análise crítica; o conhecimento generalista, que simplifica excessivamente conceitos científicos; e o obstáculo verbal, que atribui explicações a metáforas e palavras imprecisas.

Para ilustrar, a experiência primeira podemos utilizar um exemplo clássico no ensino de óptica, onde o arco-íris é demonstrado pela composição das sete cores, mas sem aprofundar o conceito científico de dispersão da luz. Outro ponto discutido por Bachelard (1996) reflete a generalização imposta dentro das salas de aula, ao se ministrarem aulas de física, à exemplo, é mais fácil dizer que todos os corpos caem, para não ter que explicar porque os outros não são afetados da mesma forma. Com isto, se impõe aos estudantes uma gravitação falsa, não se explica a função da resistência do ar, e como os corpos se comportariam no vácuo. Bachelard (1996, p.71), conclui que Aristóteles ensinava que os corpos leves, fumaça e vapor, fogo e chama, encontravam no empíreo seu lugar natural, ao passo que os graves procuravam naturalmente a terra. Ao inverso, nossos professores de filosofia ensinam que todos os corpos, sem exceção, caem.

Já o obstáculo verbal emerge quando palavras abstratas ou metáforas, como associar eletricidade a uma cola, são utilizadas como explicações definitivas, limitando a compreensão científica. Para Bachelard (1996) as leis gerais definem palavras e não as coisas; a lei geral da queda dos graves define a palavra grave; a lei geral da retidão do raio luminoso define tanto a palavra reta quanto a palavra raio, com tal ambiguidade do a priori com o a posteriori que chegamos, pessoalmente, a sentir uma espécie de vertigem lógica; a lei geral do crescimento e da morte dos seres vivos define a palavra vida como uma espécie de pleonismo. Então, tudo fica claro, tudo fica identificado. O obstáculo generalista empobrece o conhecimento científico, quanto mais curta for a visão de um processo global, mas difícil é de encontrar o espírito científico, porque vários acontecimentos são explicados por observações gerais, sem precisão.

Além disso, Bachelard (1996) identifica outros obstáculos, como o realismo ingênuo, que trata os fenômenos como entidades estáticas; o substancialismo, que atribui propriedades intrínsecas a substâncias; e o animismo, que projeta características vitais em objetos inanimados. Ele também aponta o perigo do conhecimento quantitativo, quando a busca por precisão numérica obscurece a realidade dos objetos e a relevância das variáveis envolvidas.

Essa visão sobre a dinâmica da ciência é complementada Kuhn (1962) que traz que a ciência avança por meio de revoluções científicas, que são rupturas com a ciência normal, um conceito que descreve o período em que os cientistas operam dentro de um paradigma aceito. Essas rupturas, como a transição do atomismo de Demócrito para a mecânica quântica, podem ser entendidas como revoluções científicas, em que um novo paradigma substitui o antigo, levando a uma reformulação do conhecimento.

De maneira complementar, Popper (1934), apresenta a ideia de falsificação como um princípio central para o desenvolvimento da ciência. Kuhn (1962) propõe que as teorias científicas nunca podem ser comprovadas de maneira definitiva, mas apenas refutadas. Essa perspectiva reforça a noção bachelardiana de que a ciência está em constante transformação, pois as teorias são constantemente desafiadas e modificadas à medida que surgem novas

evidências.

Já Lakatos (1970), expande as ideias de Popper sobre a falsificação e apresenta a teoria dos programas de pesquisa científica. O autor argumenta que a ciência avança por meio da adaptação de programas de pesquisa, que são compostos por um núcleo de hipóteses fundamentais que permanecem inalteradas e uma periferia que pode ser modificada com base em novas evidências. A mecânica quântica, com suas modificações na física clássica, pode ser vista como um novo programa de pesquisa que foi aceito após a refutação das limitações da teoria clássica.

III. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo é de caráter qualitativo e bibliográfico, com foco na análise teórica das rupturas epistemológicas entre o atomismo de Demócrito e a mecânica quântica, à luz da epistemologia de Bachelard. A pesquisa buscou compreender como as transformações no conhecimento científico ao longo do tempo refletem as mudanças nos paradigmas científicos e como essas rupturas influenciam a construção do saber, especialmente no contexto da física moderna. Também se buscou analisar as implicações pedagógicas no ensino de Física, dentro do contexto da epistemologia de Bachelard (1934).

A pesquisa bibliográfica desempenha um papel fundamental na investigação científica, pois permite a identificação, análise e síntese de conceitos fundamentais que estruturam o pensamento em determinada área do conhecimento. Segundo Gil (2008), a pesquisa bibliográfica é essencial para contextualizar teoricamente um problema de estudo, além de possibilitar um olhar crítico sobre os avanços e limitações das teorias analisadas. Ao examinar a evolução do pensamento científico a partir das obras de filósofos e cientistas, é possível compreender os resultados empíricos das descobertas, e os processos e debates que levaram a novas formulações teóricas.

Além disso, a pesquisa bibliográfica permite analisar como diferentes interpretações históricas e filosóficas influenciaram a aceitação e a consolidação de novas ideias científicas. Lakatos (1978) argumenta que as teorias científicas são estruturadas em "programas de pesquisa", nos quais mudanças conceituais ocorrem progressivamente, a partir da reformulação de hipóteses e da introdução de novos conceitos.

Assim sendo, a abordagem utilizada nesta pesquisa é uma revisão narrativa e teórica, cujo objetivo é construir uma linha interpretativa sobre as transformações no pensamento científico, enfatizando o papel das rupturas epistemológicas. A tabela 1, apresenta a construção da pesquisa bibliográfica narrativa.

A revisão foi realizada por meio da busca e análise de obras clássicas relacionadas à epistemologia de Bachelard, à história da ciência e à filosofia da física. As principais fontes consultadas incluem os livros clássicos de Gaston Bachelard, e obras de outros filósofos da ciência sobre epistemologia ou ensino de física.

Dentre as obras de Bachelard, destacam-se *A Formação do Espírito Científico* (Bachelard, 1938), na qual ele discute a necessidade de rupturas epistemológicas para o avanço do conhecimento, e *O Novo Espírito Científico* (Bachelard, 1934), no qual explora a influência das revoluções científicas na construção do pensamento racional. Além disso, *O Materialismo*

Característica	Descrição
Objetivo	Analisar a evolução teórica das ideias sobre rupturas epistemológicas.
Fontes utilizadas	Bachelard (1934, 1938, 1953, 1996), Kuhn (1962), Popper (1934).
Critério de seleção	Relevância teórica e conexão com a epistemologia de Bachelard.
Resultado esperado	Síntese crítica das transformações no pensamento científico.

Tabela 1: *Etapas feitas na pesquisa bibliográfica narrativa.*

Fonte: As autoras (2025).

Racional (Bachelard, 1953) e *A Filosofia do Não* (Bachelard, 1940) reforçam sua visão sobre a importância da superação de obstáculos epistemológicos na ciência.

Para complementar essa análise, foram consideradas contribuições de filósofos da ciência que desenvolveram diferentes perspectivas sobre o progresso do conhecimento. Thomas Kuhn, em *A Estrutura das Revoluções Científicas* (Kuhn, 1962), argumenta que a ciência evolui por meio de mudanças de paradigmas, em que períodos de ciência normal são interrompidos por crises que resultam em revoluções científicas. Essa visão dialoga com a proposta bachelardiana de descontinuidade no desenvolvimento do conhecimento científico.

Karl Popper, por sua vez, em *A Lógica da Descoberta Científica* (Popper, 1934), propõe o falsificacionismo como critério de demarcação da ciência, enfatizando que uma teoria científica deve ser passível de refutação. Diferente da visão de Kuhn e Bachelard, Popper rejeita a ideia de que a ciência avança por meio de revoluções e argumenta que o progresso científico ocorre de forma gradual pela substituição de teorias falsificadas por teorias mais robustas.

Já Imre Lakatos, em *A Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica* (Lakatos, 1970), tenta conciliar Kuhn e Popper ao introduzir a ideia de programas de pesquisa, compostos por um núcleo teórico protegido por hipóteses auxiliares. Para Lakatos (1970), o progresso da ciência não se dá por simples revoluções, mas por meio da competição entre programas de pesquisa progressivos e degenerativos.

Dessa maneira, a análise das rupturas epistemológicas permitiu compreender como o conhecimento científico se transforma ao longo do tempo, muitas vezes rompendo com concepções anteriores para construir novos paradigmas. Ao considerar as contribuições de Bachelard (1934), Kuhn (1962), Popper (1934) e Lakatos (1970), observa-se que a evolução da ciência não segue um caminho linear, mas sim um processo dinâmico de reformulação conceitual, influenciado tanto por fatores internos da própria ciência quanto por aspectos históricos e sociais. Em relação as implicações pedagógicas para o ensino de Física, somente os autores que estruturam as ideias de evolução do conhecimento, não deram suporte, para fazer a análise das interações e de como os conceitos podem ser abordados em sala de aula, por este motivo, uma nova pesquisa foi feita na base de dados do ERIC e Google Acadêmico,

para encontrar trabalhos acadêmicos que pudessem dialogar com o tema central da pesquisa. Os autores selecionados, estão descritos na Tabela 2.

Autores	Trabalho relevante
FENSHAM, P. J. (1988).	The Feynman Lectures on Physics.
SERRES, M. (1996).	La Naissance de la Physique dans le Texte de Lucrèce.
FEYNMAN. R. (1965).	Science Education: A Conceptual Approach.
CHASSOT, A. (2003).	Ensino de Ciências: questões e perspectivas.
MORTIMER e EL-HANI (2007).	Multicultural education, pragmatism, and the goals of science teaching.

Tabela 2: Autores selecionados.

Fonte: As autoras (2025).

Os autores selecionados permitem que a teoria de Bachelard seja discutida à luz do ensino de Física, ampliando as possibilidades de reflexão sobre os obstáculos epistemológicos enfrentados pelos estudantes. Fensham (1988), Serres (1996), Feynman (1965), Chassot (2003) e Mortimer e El-Hani (2007), contribuem para a compreensão de como os conceitos científicos podem ser abordados de em sala de aula, levando em consideração as dificuldades cognitivas e epistemológicas que surgem quando os estudantes tentam integrar novas ideias em suas concepções prévias.

IV. RELAÇÕES DA EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD E O ENSINO DE FÍSICA

Conforme argumentam Mortimer e El-Hani (2007), os estudantes frequentemente carregam concepções alternativas que podem atuar como obstáculos à aprendizagem de conceitos científicos mais avançados ou complexos. Essas concepções, muitas vezes formadas a partir de suas experiências cotidianas, são difíceis de serem descartadas e precisam ser cuidadosamente desconstruídas para que o conhecimento científico seja internalizado. A epistemologia da educação científica, nesse sentido, propõe que os professores compreendam as raízes dessas concepções alternativas e, mais importante, ofereçam estratégias pedagógicas para reverter essas barreiras cognitivas.

Um exemplo clássico dessa problemática é a transição entre a física clássica e a mecânica quântica. Muitos estudantes apresentam dificuldades em aceitar o caráter probabilístico e indeterminado da mecânica quântica, pois foram previamente expostos a um modelo determinista, baseado nas leis de Newton. A ideia de que a realidade pode ser indeterminada e que fenômenos como o comportamento das partículas subatômicas não podem ser descritos com certeza absoluta entra em conflito com a sua experiência cotidiana e com

os ensinamentos anteriores, que enfatizam a previsibilidade do movimento dos corpos macroscópicos.

Esse tipo de resistência ao novo conhecimento reflete uma das dificuldades epistemológicas descritas por Bachelard (1938), que teorizou sobre a tendência dos indivíduos em manter concepções familiares diante de novos desafios intelectuais. Dessa forma, a superação desses obstáculos epistemológicos exige rupturas cognitivas que permitam ao estudante adotar uma visão mais dinâmica da ciência, compreendendo-a como um processo contínuo de revisão e reformulação.

A mecânica quântica oferece um exemplo de como as concepções alternativas podem se tornar um obstáculo à aprendizagem científica. Como observado por Feynman (1965), a mecânica quântica é notoriamente contra-intuitiva, a ideia de que as partículas podem se comportar tanto como partículas quanto como ondas, ou que podem existir em múltiplos estados ao mesmo tempo (superposição), desafia a visão determinista que a física clássica ensina. O princípio da incerteza de Heisenberg, que afirma que é impossível medir simultaneamente a posição e a velocidade de uma partícula com precisão absoluta, também entra em choque com o modelo clássico.

Essa transição entre os paradigmas de Newton e Einstein para a física moderna, conforme argumenta Thomas Kuhn (1962), não ocorre de maneira simples, o conhecimento científico sofre rupturas significativas e se reorganiza de maneira qualitativa, sendo que o que era considerado verdadeiro em um dado momento histórico pode ser substituído por algo totalmente diferente com o avanço da ciência.

Esses conceitos, por sua vez, tornam-se um campo fértil para obstáculos epistemológicos, na medida em que os estudantes, muitas vezes, têm dificuldades para abandonar suas concepções anteriores, especialmente quando estas se baseiam em uma experiência sensorial direta que parece confirmar o modelo clássico. Por exemplo, a resistência ao princípio de incerteza pode ser vista como uma forma de realismo ingênuo, um conceito trabalhado por Bachelard (1934), que descreve a crença de que os objetos e fenômenos devem ser como parecem ser na percepção sensorial direta.

Nesse contexto, Fensham (1988) enfatiza que a introdução de conceitos científicos abstratos, como os da mecânica quântica, deve ser gradual e considerar as dificuldades epistemológicas dos estudantes. Ele propõe que o ensino desses conceitos seja realizado de forma progressiva, com ênfase na historicidade do conhecimento científico, para ajudar os estudantes a perceberem que as ideias que eles aprendem na escola não surgiram de forma aleatória, mas são parte de uma longa evolução de teorias e práticas científicas. A compreensão da evolução histórica da ciência oferece aos estudantes uma perspectiva epistemológica que facilita a aceitação das transformações e a capacidade de se distanciar das concepções preconcebidas.

Outro exemplo, para a análise dos obstáculos epistemológicos está no ensino de conceitos de calor e temperatura. Muitos estudantes chegam ao Ensino Médio com concepções alternativas sobre esses conceitos, como a ideia de que o frio é uma substância ou que objetos mais frios não possuem energia térmica. Essas crenças se baseiam em experiências sensoriais diretas, como o toque de um objeto frio, e dificultam a compreensão dos conceitos científicos que estabelecem a relação entre calor, energia interna e temperatura.

A teoria cinética dos gases e o modelo de energia interna são fundamentais para

superar essas concepções. Para isso, é necessário que o ensino seja conduzido de maneira investigativa, proporcionando aos estudantes a oportunidade de vivenciar a ciência por meio de experimentos, modelagens e simulações. Ao invés de simplesmente apresentar as fórmulas e definições, o ensino deve ser orientado para a problematização, estimulando os estudantes a questionarem suas percepções e a refletirem sobre as explicações científicas.

Bachelard (1938) descreve o realismo ingênuo como uma forma de obstáculo epistemológico, que pode ser observado quando os estudantes projetam suas experiências cotidianas sobre fenômenos científicos. No caso do calor, por exemplo, a visão intuitiva de que o frio é uma substância pode ser desconstruída por meio de explicações sobre a distribuição de energia térmica entre as partículas e a introdução do conceito de transferência de calor.

Para que o ensino de física seja significativo e enfrente esses desafios epistemológicos, é essencial integrar a história e a filosofia da ciência na prática pedagógica. Como argumenta Serres (1996), a história da ciência fornece uma janela para compreender como os conceitos científicos evoluíram ao longo do tempo, permitindo que os estudantes percebam a ciência como um processo dinâmico, em constante revisão. A história das ideias científicas ajuda os estudantes a entenderem que o que hoje é aceito como verdade científica, muitas vezes, foi considerado controverso ou até mesmo errado no passado. Isso permite que os estudantes internalizem a ideia de que o conhecimento científico não é um conjunto fixo de verdades, mas algo que está sempre sujeito à revisão, conforme novas evidências são apresentadas.

V. RESULTADOS

O atomismo de Demócrito, formulado no século V a.C., postula que toda matéria é composta por partículas indivisíveis chamadas átomos. Essa ideia, carecia de evidências experimentais e permaneceu como uma hipótese filosófica durante séculos. A teoria de Demócrito se enquadra no obstáculo epistemológico que Bachelard (1996) chama de experiência primeira. A ideia de átomos, era intuitiva, mas não foi acompanhada de experimentação rigorosa e, portanto, não conseguiu superar os preconceitos da época. A atração pela simplicidade e beleza do conceito impediu o avanço do conhecimento, pois a experiência primeira tendia a ser superficial, não levando em consideração a complexidade da matéria que poderia ser verificada empiricamente.

A aceitação de Isaac Newton no século XVII, com a física mecanicista e a teoria da Gravitação Universal, representa a consolidação de uma ciência normal que, de acordo com Kuhn (1962), descreve a fase em que a ciência funciona dentro de um paradigma aceito. Newton formulou leis universais que buscavam explicar o movimento dos corpos com base em um modelo determinista, mas ainda assim o conhecimento científico da época estava restrito pelo obstáculo epistemológico do conhecimento generalista. A ciência clássica de Newton simplificou fenômenos complexos e aplicou leis universais, como a gravitação, sem questionar as exceções ou limitações.

No início do século XX, a mecânica quântica proporcionou uma ruptura epistemológica, alterando os fundamentos da física clássica. Cientistas como Einstein, Niels Bohr, Heisenberg e Schrödinger desafiaram as leis deterministas de Newton, propondo que as partículas subatômicas não poderiam ser descritas de maneira determinista, mas sim probabilística.

Esse desenvolvimento pode ser entendido como uma revolução científica, conforme proposto por Kuhn (1962). A mecânica quântica substituiu o paradigma determinista da física clássica por uma abordagem que incorpora incerteza e probabilidade, abrindo novas possibilidades para a compreensão do comportamento da matéria em escalas microscópicas.

A introdução de conceitos como a dualidade onda-partícula e o princípio da incerteza de Heisenberg (1927) colocou em questão os pressupostos da física clássica, que tratavam as partículas como objetos sólidos e previsíveis. A dualidade onda-partícula, que sugere que a luz e as partículas podem se comportar tanto como partículas quanto como ondas, desafiou a visão de uma física determinista e absoluta. Além disso, o princípio da incerteza de Heisenberg, que afirma que não é possível medir simultaneamente com precisão a posição e a velocidade de uma partícula, representa um abandono do determinismo absoluto em favor de um modelo probabilístico, no qual a incerteza faz parte intrínseca da realidade física.

A dualidade onda-partícula é um exemplo de ruptura epistemológica, conforme a concepção de Bachelard (1996). A física clássica tratava as partículas como objetos sólidos e previsíveis, baseando-se na ideia de que a matéria se comporta de maneira determinista, ou seja, é possível prever seu comportamento com precisão, dada a sua posição e velocidade. Esse modelo determinista é característico da ciência normal, conforme Kuhn (1962), que descreve uma fase da ciência em que os cientistas operam dentro de um paradigma aceito, sem questionar suas fundações.

A introdução do conceito de que as partículas podem se comportar tanto como partículas quanto como ondas desafia esse paradigma fixo, já que propõe uma nova forma de compreender a matéria, que não é totalmente previsível, mas sim sujeita a uma dualidade. Bachelard (1996) argumentaria que isso representa uma ruptura epistemológica, pois rompe com a visão de que as partículas são entidades fixas e imutáveis, oferecendo uma nova perspectiva de como a matéria se comporta. Esse movimento de transformação e revisão dos conceitos anteriores é essencial no processo de construção do conhecimento científico, que, para Bachelard (1996), se dá pela crítica e revisão constantes das ideias consolidadas.

Para Ibid (1996), essas mudanças podem ser vistas como rupturas epistemológicas, pois elas rejeitam as ideias anteriores sobre a previsibilidade e a imutabilidade da matéria. A física, que antes se baseava em leis fixas e deterministas, passou a ser entendida como uma ciência de experiências contínuas, caracterizada pela probabilidade e pela incerteza. Esse novo modelo de entendimento se alinha com a epistemologia de Bachelard, que sugere que o conhecimento científico não é um acúmulo linear de fatos, mas um processo de transformação contínua, no qual cada nova teoria emerge a partir da crítica e da superação das limitações das teorias anteriores.

No que tange a relação da evolução da ciência com o ensino de Física, é fundamental que os estudantes compreendam as leis e fórmulas, e o processo dinâmico e transformador que a ciência representa. A história do desenvolvimento das ideias sobre a matéria, do atomismo de Demócrito à mecânica quântica, ilustra como a ciência avança não de maneira linear, mas por meio de rupturas epistemológicas que questionam e revisam constantemente o que era considerado conhecimento estabelecido.

A teoria atômica de Demócrito, proposta no século V a.C., exemplifica um obstáculo epistemológico que Bachelard (1996) chama de experiência primeira. Embora a ideia de átomos fosse intuitiva e filosófica, carecia de evidências experimentais e permaneceu como

uma hipótese sem ser testada rigorosamente, o que a manteve longe do status de teoria científica válida por séculos. O ensino de Física deve, portanto, incentivar os estudantes a questionar as ideias que, à primeira vista, podem parecer verdadeiras, mas que precisam ser investigadas e corroboradas por experimentação e análise crítica.

Com a física mecanicista de Newton, a ciência avançou para um paradigma determinista, no qual as leis universais eram aplicadas de maneira simplificada para explicar fenômenos complexos. No entanto, como Kuhn (1962) argumenta, a ciência funcionava dentro de um paradigma aceito, sem questionar suas limitações. O ensino de Física nesse contexto deve ir além de aplicar as leis de Newton; deve promover a reflexão sobre as condições sob as quais essas leis são válidas e onde elas podem ser insuficientes, desafiando os estudantes a pensar nas exceções ou limitações do modelo.

A verdadeira transformação no pensamento, como já vimos, ocorreu no início do século XX, com a mecânica quântica, que trouxe uma revolução científica e uma ruptura epistemológica. A proposta de que partículas subatômicas não podem ser descritas de maneira determinista, mas sim probabilística, foi uma mudança profunda no entendimento da natureza. No ensino de Física, isso deve ser abordado como uma oportunidade para mostrar aos estudantes que a ciência não é uma coleção estática de verdades imutáveis, mas um campo em constante evolução, onde novas ideias substituem antigas quando mais evidências e teorias mais completas emergem. A física quântica, com sua indeterminação e probabilidades, pode ser um excelente ponto de partida para ensinar aos estudantes a importância da incerteza e da revisão constante no processo científico. E isso está em consonância com a visão de Bachelard (1996), que vê o progresso da ciência como um processo contínuo de rupturas, críticas e superações.

VI. CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo analisar as rupturas epistemológicas entre o atomismo de Demócrito e a mecânica quântica, à luz da epistemologia de Gaston Bachelard, buscando compreender como essas transformações no conhecimento científico refletem as mudanças paradigmáticas ao longo do tempo. A problemática central da pesquisa consistiu em investigar de que maneira essas rupturas contribuíram para o desenvolvimento da ciência e como a visão bachelardiana pode auxiliar na compreensão desse processo.

A partir da revisão teórica e da análise bibliográfica, foi possível identificar que a evolução do pensamento científico não ocorre de forma linear, mas sim por meio de descontinuidades que reconfiguram o entendimento da realidade. Conforme destacado por Bachelard (1978, 1996), a ciência avança superando obstáculos epistemológicos e reformulando conceitos que, em determinado momento, foram considerados definitivos. A passagem do atomismo clássico de Demócrito para a mecânica quântica ilustra essa dinâmica, pois marca a transição de uma visão determinista da matéria para um modelo probabilístico e interativo, característico da física moderna.

Ao longo da investigação, verificou-se que as ideias de Kuhn (1962), Popper (1934) e Lakatos (1970) corroboram a perspectiva bachelardiana ao evidenciar que a ciência se desenvolve por meio de crises e reformulações teóricas. A mecânica quântica, ao introduzir conceitos como a dualidade onda-partícula e o princípio da incerteza, rompeu com os para-

digmas da física clássica, demonstrando a necessidade de constantes revisões e atualizações no campo científico.

A pesquisa ainda demonstrou que a compreensão dessas rupturas epistemológicas contribui para a historiografia da ciência, e também possui implicações pedagógicas. Segundo Chassot (2003), o ensino de ciências deve enfatizar o caráter dinâmico do conhecimento, permitindo que os estudantes compreendam que a ciência não é um conjunto de verdades absolutas, mas um processo contínuo de construção e reconstrução. Essa abordagem possibilita uma visão crítica e reflexiva da ciência, alinhando-se às diretrizes da educação científica contemporânea.

Deste modo, a análise realizada permitiu evidenciar como as rupturas epistemológicas são fundamentais para o avanço da ciência, mostrando que a transição do atomismo para a mecânica quântica representa um exemplo concreto das reformulações paradigmáticas descritas por Bachelard, confirmando a relevância de sua epistemologia para a compreensão do desenvolvimento científico.

Editora Responsável: Maria de Fátima da Silva Verdeaux

REFERÊNCIAS

- BACHELARD, G. *A formação do espírito científico*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1938.
- BACHELARD, G. *O novo espírito científico*. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1934.
- BACHELARD, G. *Os obstáculos epistemológicos*. São Paulo: Unesp, 1996.
- BACHELARD, G. *A Filosofia do Não*. Lisboa: Presença, 1940.
- BACHELARD, G. *O Materialismo Racional*. Lisboa: Presença, 1953.
- CHASSOT, A. *Ensino de Ciências: questões e perspectivas*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2003.
- FEYNMAN, Richard P. *The Feynman Lectures on Physics*. 2. ed. Reading: Addison-Wesley, 1965.
- FENSHAM, P. J. *Science Education: A Conceptual Approach*. 1. ed. New York: Pergamon Press, 1988.
- GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- HEISENBERG, W. *The physical principles of the quantum theory*. Chicago: University of Chicago Press, 1927.

KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. 5. ed. São Paulo: Perspectiva, 1962.

POPPER, K. R. *A lógica da pesquisa científica*. 3. ed. São Paulo: Cultrix, 1934.

LAKATOS, I. *A metodologia dos programas de pesquisa científica*. Lisboa: Ed. 70, 1970.

MORTIMER, C.; EL-HANI, C. *Multicultural education, pragmatism, and the goals of science teaching*. Cultural Studies of Science Education, 2007.

SERRES, M. *La Naissance de la Physique dans le Texte de Lucrèce*. 1. ed. Paris: Les Éditions de Minuit, 1996.
