



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

Giovanni Rodrigues da Silva Del Duca

A textualização de uma controvérsia bachelardiana pelo livro “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm

FLORIANÓPOLIS

2019

Giovanni Rodrigues da Silva Del Duca

A textualização de uma controvérsia bachelardiana pelo livro “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Educação Científica e Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Henrique César da Silva

FLORIANÓPOLIS

2019

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

Del Duca, Giovanni

A textualização de uma controvérsia bachelardiana pelo
livro "Causalidade e acaso na física moderna" de David Bohm
/ Giovanni Del Duca ; orientador, Henrique Silva, 2019.
114 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências da Educação, Programa de Pós
Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Florianópolis,
2019.

Inclui referências.

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Controvérsia. 3.
Textualização . 4. Bachelard. 5. David Bohm. I. Silva,
Henrique. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica.
III. Título.

Giovanni Rodrigues da Silva Del Duca

A textualização de uma controvérsia bachelardiana pelo livro “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Frederico Firmo de Souza Cruz
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Ivã Gurgel
Universidade de São Paulo

Profa. Dra. Gabriela Kaiana Ferreira
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em educação científica e tecnológica.

Prof. Dra. Cláudia Regina Flores
Coordenadora do Programa

Prof. Dr. Henrique César da Silva
Orientador

Florianópolis, 14 de novembro de 2019.

Este trabalho é dedicado à minha família e, especialmente,
ao meu pai.

AGRADECIMENTOS

À minha família que me dá suporte e amor para ter a capacidade de estudar e seguir meus sonhos. Agradeço também às mãos dos meus familiares que sempre me trazem a segurança de saber de onde venho e para onde vou.

À minha amada mãe Cristina, que sempre foi meu porto seguro e minha grande amiga. Teu companheirismo e amizade são uma das coisas mais importantes da minha vida.

Ao meu pai Edson, meu grande amigo que me ensinou a ser o que a gente é. Sinto tanta falta do teu carinho e amor meu amado pai.

Aos meus irmãos, Thiago e Lucas pelo amor, companheirismo e força de estarmos juntos nessa caminhada.

Ao meu orientador Henrique, pelas ótimos apontamentos e sugestões que muito me ajudaram a ser o pesquisador que sou hoje. Agradeço também pela compreensão dos desafios que encontrei nesse caminho. Agradeço também às conversas informais que foram muito importantes.

Aos meus amigos, Iuri, Leonardo, Igor, Felipe e Ana Lucia pelo companheirismo e o ombro amigo nas horas difíceis.

Aos meus novos amigos, Diego e Kadu pelo companheirismo e pela segurança que me dão na minha morada em Floripa.

À música e a minha guitarra que sempre me acompanham e me ajudam a enfrentar os desafios da vida.

À CAPES pelo auxílio financeiro fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. Sem este auxílio esse trabalho não teria chances.

À UFSC, e ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica e a todos funcionários e professores que, de alguma forma ou outra, me permitiram a realização de um sonho.

“Eis, portanto, o caráter essencial da pesquisa científica: mover-se na direção do absoluto, ao estudar o relativo em sua diversidade e em sua multiplicidade inexauríveis.” (BOHM, 2015)

RESUMO

Nesta pesquisa, analisamos uma controvérsia bachelardiana através da textualização pelo livro “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm e suas possíveis contribuições na formação de professores na introdução de tópicos de física quântica no ensino médio. Desta forma, discutimos os aspectos sociais da epistemologia de Bachelard, retomando algumas noções importantes e destacando a necessidade de repressão a filosofia realista inata que passa a funcionar na própria construção do pensamento dos cientistas. Essa discussão permite chegar numa concepção de controvérsia interna à comunidade científica, com duas características essenciais. Seguindo os passos de Silva, analisamos a textualização pelo livro “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm, trazendo, num primeiro momento, elementos contextuais da interpretação deste cientista e do próprio livro utilizando os trabalhos de Freire Jr. E num segundo momento demonstrando as características da controvérsia na materialidade textual da obra. Por fim, discutimos de que forma essa análise pode contribuir com a introdução de física quântica no ensino médio através da formação de professores, fazendo uma defesa das contribuições da textualização para o ensino e esboçando uma proposta de atividade.

Palavras-chave: Controvérsia. David Bohm. Textualização. Causalidade e acaso na física moderna. Bachelard.

ABSTRACT

In this research, we have analyzed a bachelardian controversy through the concept of textualization coined in the book "Causality and Chance in Modern Physics" by David Bohm's, and his possible contributions to teaching education in the introduction of quantum physics topics in high school. Therefore, we discussed the social aspects of Bachelard's epistemology, retaking some important notions and detaching the need of repressing the innate realist philosophy, which works in the very construction of scientists' thinking. This discussion allows us to grasp a conception of controversy within the scientific community, with two essential characteristics. Based on Silva, we analyzed the textualization of the book "Causality and Chance in Modern Physics" by David Bohm's, bringing, at first, contextual elements of the interpretation of the scientists and the book itself using Freire Jr' work and, in a later period, demonstrating the characteristics of the controversy in the textual materiality of the work. Finally, we will discuss how this analysis can contribute to the introduction of quantum physics in high school given the principles of teaching education, making a defense of the contributions from textualization to teaching and sketching an activity proposal.

Keywords: Controversy. David Bohm. Textualization. Causality and chance in modern physics. Bachelard.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
EM	Ensino Médio
FMC	Física Moderna e Contemporânea
FQ	Física Quântica
IVMZ	Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
TQ	Teoria Quântica
USP	Universidade do Estado de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

Δx	Indeterminação na posição
Δp	Indeterminação no momento linear
h	Constante de Planck

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO, PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVOS.....	15
2	O CONTROLE SOCIAL EM BACHELARD: UMA CONCEPÇÃO DE CONTROVÉRSIA	25
2.1	O BACHELARD MAIS CONHECIDO E O MENOS CONHECIDO NA PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS	25
2.2	REALISMO COMO FILOSOFIA INATA.....	33
2.3	FRENAGEM AO REALISMO: CONTROLE SOCIAL.....	36
2.4	VIGILÂNCIA EPISTEMOLÓGICA: TER RAZÃO CONTRA ALGUÉM	45
2.5	UMA CONCEPÇÃO DE CONTROVÉRSIA INTERNA À COMUNIDADE CIENTÍFICA	49
3	A TEXTUALIZAÇÃO PELO LIVRO “CAUSALIDADE E ACASO NA FÍSICA MODERNA” DE DAVID BOHM.....	52
3.1	CONSIDERAÇÕES SOBRE A INTERPRETAÇÃO DE DAVID BOHM E SOBRE SEU LIVRO.....	54
3.2	ASPECTOS GERAIS DO LIVRO E DE SUA ANÁLISE.....	59
3.3	A INTERPRETAÇÃO ALTERNATIVA EM CONTROVÉRSIA COM A INTERPRETAÇÃO USUAL.....	62
3.4	A INTERPRETAÇÃO ALTERNATIVA: CRÍTICA E RETIFICAÇÃO À INTERPRETAÇÃO USUAL.....	79
4	FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO: CONTRIBUIÇÕES PARA A FORMAÇÃO DO PROFESSOR	88
4.1	A FORMAÇÃO DO PROFESSOR.....	88
4.2	A TEXTUALIZAÇÃO PELO LIVRO “CAUSALIDADE E ACASO NA FÍSICA MODERNA” DE DAVID BOHM E SUAS POSSÍVEIS CONTRIBUIÇÕES PARA FORMAÇÃO DE PROFESSORES	90
4.3	OS ORIGINAIS DE CIENTISTAS NA FORMAÇÃO DO PROFESSOR.....	98
4.4	RELATO DA EXPERIÊNCIA NA FORMAÇÃO DO PROFESSOR	100
4.5	UM ESBOÇO DE PROPOSTA PARA A FORMAÇÃO DO PROFESSOR .	103

5	CONCLUSÃO.....	105
	REFERÊNCIAS.....	107
	APÊNDICE A – Extratos entregues aos professores em formação.....	111

1 INTRODUÇÃO, PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVOS

Uma das características que acompanham o desenvolvimento científico é a controvérsia. A controvérsia científica, de maneira geral, corresponde a uma polêmica sobre um determinado assunto, em que os cientistas diferem os seus posicionamentos na abordagem e na solução da questão. Analisando a história das ciências, muitas das questões controversas se solucionaram, e a comunidade científica chegou a um consenso. No entanto, nem todas as questões controversas da história das ciências foram solucionadas. Dentre muitas histórias controversas, podemos começar na que existiu entre o sistema geocêntrico e o sistema heliocêntrico, e, alguns séculos depois, na controvérsia sobre a natureza corpuscular ou ondulatória da luz.

Na primeira controvérsia, a comunidade científica chegou a um consenso, depois de um tempo considerável, sobre o sistema heliocêntrico ser correto. No caso da controvérsia sobre a natureza da luz, a comunidade científica ainda não chegou num consenso, ou melhor, chegou num consenso em determinados períodos históricos e noutros não. Esses exemplos, servem para ilustrar a multiplicidade de características das controvérsias. O que podemos destacar de comum entre elas é a existência de um jogo de forças antagônico entre os membros da comunidade científica, gerando por esta disputa uma controvérsia a cerca de um tema.

Algumas controversas científicas estiveram mais presentes nos últimos tempos, como por exemplo, a questão do aquecimento global. Alguns cientistas defendem que o aquecimento global é um processo natural do planeta terra, e, em outro lado, outros cientistas, defendem que é antropológica a causa deste aquecimento e, por isso, acarretaria num grande problema ambiental. A forma de entender a razão do aquecimento global, escolhendo uma das posições controversas, permite uma determinada resolução do problema. Na perspectiva de que o aquecimento global é natural, não se deve fazer nada para impedi-lo. Por outro lado, na perspectiva da causa do aquecimento global ser antropológica, se deve mudar hábitos e leis para retardar este efeito. Percebemos então o quanto a sociedade como um todo está envolvida no problema. Essa controvérsia foi amplamente discutida nas

revistas de ensino de ciências do Brasil, normalmente, relacionados ao tema da relação entre CTS.

Na perspectiva da CTS a controvérsia é entendida como uma questão que não está unicamente ligada ao saber da comunidade científica, deslocada da sociedade e da sua história, estando, portanto, sujeita ação de diversos grupos sociais. Algumas dessas publicações colocaram a multiplicidade de compreensões do problema ambiental, e a necessidade de participação dos mais variados grupos da sociedade no debate da questão (SILVA; CARVALHO, 2007; BARBOSA; LIMA; MACHADO, 2012; VIEIRA; BAZZO, 2007; RAMOS; SILVA, 2007). Porque, como dizem esses autores, todos os civis estão envolvidos na controvérsia do aquecimento global, pois todos vivem no mesmo planeta que, embora do espaço sua cor majoritária seja o azul, se chama Terra.

Nessas publicações, o enfoque da problemática ambiental é aprofundar sua controvérsia, passando de um ambiente restrito a comunidade científica para um profundo debate dos mais variados grupos sociais, construindo uma verdadeira controvérsia sociocientífica. Assim, o envolvimento cada vez maior de diferentes grupos sociais nas controvérsias sociocientíficas faz com que estes sujeitos se apropriem deste debate e sejam capazes de tomar posições frente aos problemas enfrentados, passando de uma visão em que os problemas e suas resoluções ficam restritos a tomada de posição dos cientistas para uma visão em que toda comunidade se torna ativa nas decisões que toda a sociedade está envolvida. Por conseguinte, no ensino de ciências, os estudantes têm a oportunidade de conhecer melhor o que significa o aquecimento global, seguindo os controversos entendimentos e, assim, se posicionando frente questão.

No caso da controvérsia sobre o aquecimento global, na perspectiva da CTS, a polêmica não deve ficar restrita a comunidade científica, mas envolver todos os civis na sua reflexão. Mas o que dizer das ditas “controvérsias” que hoje são difundidas, nos cantos mais obscuros da internet, sobre o planeta Terra ser plano ou esférico. Não há como chamar uma quimera desse tipo, perpetuada por incultos, de uma controvérsia científica. Principalmente, por a comunidade científica nunca ter cogitado tal controvérsia em sua história, e por não haver qualquer tipo de discussão desse tipo fora da proferida pelos leigos e incultos. Assim, para uma controvérsia ser realmente científica é necessário, antes de tudo, que ela envolva membros da comunidade

científica sobre determinada questão. Desta forma, mesmo que numa controvérsia sociocientífica os membros externos à comunidade científica devam ser participantes do debate – afinal de contas, todos os civis estão envolvidos no aquecimento global – , a controvérsia não existe independente da comunidade científica, ela deve acontecer também no núcleo desta comunidade.

Essa multiplicidade de controvérsias na ciência, demonstra a necessidade da comunidade acadêmica melhor entender as peculiaridades de cada uma delas. Esforços para melhor entender as controvérsias científicas já foram feitos. Por exemplo, Narasimhan (2001) procura fazer uma taxonomia dos tipos de controvérsias, sugerindo que todas controvérsias possuem um começo, meio e fim. Além de dividir o entendimento das controvérsias entre: controvérsias de teoria, controvérsias de fatos, controvérsias de princípio e controvérsias mistas. Artigos científicos mais recentes também procuram definições dos tipos de controvérsias, por exemplo, Anabel, Peduzzi e Angotti (2018) caracterizaram diferentes tipos de controvérsia utilizando as ideias de Thomas Kuhn.

Um grande exemplo de uma longa e duradoura controvérsia científica é entre as interpretações da TQ. A TQ começou seu desenvolvimento no início do século XX, com a ruptura entre a física clássica e a FQ marcada pelo quantum de ação. Essa ruptura gerou diversas formas diferentes de interpretar o novo mundo que emergia na TQ, gerando controvérsia sobre a maneira de interpretar os resultados experimentais, o formalismo matemático, as probabilidades, a incerteza e, até mesmo, a própria realidade. Essas controvérsias foram seguindo períodos históricos distintos, marcados por mudanças qualitativas no funcionamento da controvérsia. Por conseguinte, a controvérsia entre interpretações da TQ foi permanente e duradoura estando presente, inclusive, nos dias atuais.

Somente para ilustrar brevemente parte das controvérsias entre as interpretações da TQ, podemos citar a posição realista de Einstein (LEHNER, 2010) que se opunha ao positivismo¹ da interpretação de Copenhagen quando esta era praticamente hegemônica, e o itinerário da interpretação causal de De Broglie

¹ Consideramos a interpretação de Copenhagen positivista da mesma forma que Pessoa Jr (2006).

(SANTOS, 2011) que, depois de desistir, retoma seu trabalho após outros cientistas utilizarem algumas de suas ideias presentes na sua interpretação.

Freire Jr (2003) acrescenta que, se consideramos o desenvolvimento histórico, podemos dividir em três diferentes períodos as controvérsias entre as interpretações da TQ. Esses períodos se caracterizam por diferentes entendimentos da controvérsia na comunidade científica, tanto no sentido de sua presença quanto de sua relevância para o desenvolvimento da física. A diferença entre o primeiro e o terceiro período é uma nítida ruptura sobre a compreensão da importância da controvérsia perante a comunidade científica, sendo o segundo período o elo de ligação entre eles, caracterizando esta transformação.

O primeiro período das controvérsias acontece entre 1927 até o início da década de 1950, e se caracteriza pela monocracia da interpretação de Copenhague após o famoso Congresso de Solvay daquele ano, em que diversos cientistas foram convencidos de que esta interpretação era a mais adequada. Nesse período, qualquer cientista que questionasse a interpretação de Copenhague era entendido como movido restritamente por motivações filosóficas acerca de aspectos ontológicos e epistemológicos da teoria. Assim, a controvérsia era vista como, exclusivamente, filosófica, sem nenhuma implicação para a física propriamente dita. É notável que nesse período também surgiram as principais questões epistemológicas e teóricas que formaram as bases da controvérsia.

O terceiro período histórico começa em 1970, com a institucionalização da controvérsia entre fundamentos da TQ, demarcada pela criação de uma revista especializada (*Foundations of Physics* – cujo o primeiro volume teve 16 dentre 18 trabalhos de temas quânticos) e um congresso (*International School of Physics “Enrico Fermi” 1970 – “Fundamentos de Mecânica Quântica”*). Nesse sentido, a controvérsia deixa de ser apenas filosófica entre a comunidade de físicos, e passa a ter relação direta com a física propriamente dita. Passando a sofrer forte influência de experimentos nos seus debates, a partir dos experimentos, realizados em 1979, que mediam as trajetórias previstas pela interpretação causal. Até hoje estamos nesse terceiro período histórico de controvérsia entre interpretações da TQ.

O período intermediário entre a institucionalização da controvérsia e a restrita controvérsia filosófica, começou em 1952 com a interpretação causal de David Bohm. A proposta das “variáveis ocultas” sugerida por Bohm permitiu uma nítida oposição a

monocracia da interpretação da Copenhagen, fazendo com que diversos físicos seguissem seu caminho alternativo como, por exemplo, De Broglie. Desta forma, o segundo período histórico reascende o debate sobre fundamentos da TQ, tornando-o mais forte que no primeiro período, permitindo que interpretações alternativas à Copenhagen se desenvolvessem. Além do mais, durante este período histórico também surgem as primeiras indicações de experiências para aprofundar a controvérsia.

David Bohm foi muito importante para esse período de transição do estatuto das controvérsias e para a própria institucionalização como uma área da física, pois foram justamente os trabalhos deles que fizeram o debate renascer com mais vigor e, assim, mobilizar a comunidade científica novamente na discussão dos fundamentos da TQ. O primeiro intuito dos dois artigos “A suggested interpretation of quantum theory in terms of hidden variables” publicados em 1952, foi demonstrar que interpretações alternativas à interpretação de Copenhagen eram possíveis. Ampliando as possibilidades de interpretações da TQ, permitindo aos cientistas seguir novos caminhos de interpretação e de pesquisa que foram se difundindo através das décadas de 50 e 60. Bohm continuou o desenvolvimento da sua interpretação causal da TQ através desses anos, procurando retificar algumas questões de sua proposta original. Além disso, a sua proposta das variáveis ocultas foi muito importante para retomada da discussão da causalidade na TQ, permitindo que, anos mais tarde, essa proposta permitisse a realização de experimentos para medir as trajetórias dos objetos quânticos que culminaram, dentro outros motivos, com a institucionalização da controvérsia sobre fundamentos da TQ no terceiro período histórico.

Particularmente, o trabalho de David Bohm é importante para a ciência no Brasil, pois o cientista foi exilado no Brasil – entre outubro de 1951 e janeiro de 1955. A sua investigação no período do Machartismo no Estados Unidos, culminou no seu exílio por ter posições políticas comunistas que eram fortemente combatidas naquele período em seu país natal. Assim, Bohm veio para o Brasil indicado pelo próprio Einstein para ocupar uma cátedra na USP. Embora os artigos originais da sua interpretação causal tenham sido publicados quando Bohm estava exilado no Brasil, eles foram escritos nos Estados Unidos. No entanto, o seu livro publicado em 1957,

sob o título “Causality & Chance in modern physics” foi escrito durante sua estadia no Brasil. Inclusive, sofrendo influência das discussões com cientistas brasileiros, como Mário Schenberg, e tendo sua versão preliminar do livro ministrada em seminários na USP, sob o título provisório de “O conceito de causalidade em mecânica quântica”.

De acordo com Olival Freire Jr (2003), a controvérsia entre interpretações da TQ se define como o debate e discussão de fundamentos da TQ, em que ciência, filosofia e política estão estritamente ligados, embora não se possa atribuir uma relação unívoca entre eles. Essa definição enfatiza a relação inseparável entre elementos políticos e filosóficos com os conhecimentos científicos, permitindo entender que na própria constituição da controvérsia temos elementos sociais.

Considerando o livro “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm temos um exemplar publicado durante o período de transformação da controvérsia entre interpretação da TQ, marcado, desta forma, pela presença dos aspectos políticos e filosóficos atrelados ao conhecimento científico. Deste modo, seguindo a noção de textualização (SILVA, 2014) podemos vislumbrar o livro dentro da controvérsia, entendendo os elementos constitutivos dessa controvérsia em sua materialidade textual e as marcas políticas e sociais presentes nela.

“Trabalhar com a textualização significa construir práticas e fazer opções pedagógicas que impliquem em considerar não apenas o conteúdo dos textos como também sua materialidade inscrita e funcionando num determinado contexto histórico-social, ou seja, o texto em sua materialidade como elemento de um processo mais amplo, um processo de circulação social de uma temática.” (SILVA, 2014, p. 87).

Desta forma, uma análise do livro “Causalidade e acaso na física moderna” com o referencial da textualização permite entender a materialização da controvérsia. Essa materialização corresponde as marcas que o próprio funcionamento e circulação da controvérsia deixam no livro. Escolhemos esse livro como material de análise, porque, além de ter sido escrito durante o exílio de Bohm no Brasil, não haviam revistas especializadas em fundamentos de física nesta época, sendo o livro o local mais adequado para o cientista dialogar com a comunidade científica e difundir sua interpretação, marcando deste modo a transformação do estatuto das controvérsias entre interpretações da TQ. Deste modo, a publicação de livros era o principal espaço

de circulação da temática da controvérsia durante esse segundo período histórico. Portanto, essa análise do livro permite entender a materialização da controvérsia e seu funcionamento neste contexto.

Como referencial de análise, acreditamos que Bachelard pode ser oportuno para entender a textualização da controvérsia entre interpretações da TQ. Embora esse autor seja bastante utilizado na pesquisa em ensino de ciências, normalmente, não são discutidos os aspectos sociais de sua epistemologia. Não obstante, seguindo esses aspectos sociais, seríamos capazes de entender uma noção de controvérsia com os elementos particulares deste referencial epistemológico. Um dos aspectos sociais mais importantes da epistemologia de Bachelard se chama controle social, e descreve a fundamental importância do contraponto para a formação do conhecimento científico, no sentido de oposição ao saber do outro, enfatizando uma razão polêmica neste conhecimento.

Nossa hipótese é de que o referencial bachelardiano atrelado a noção de textualização possibilita entender a circulação da controvérsia no funcionamento da obra “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm, deixando marcas de oposição ao saber doutro na sua textualidade. Por conseguinte, colocamos como problema de pesquisa dessa dissertação:

Seguindo a noção de controle social de Bachelard, quais são as marcas da controvérsia entre interpretações da TQ presentes na materialidade do livro “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm?

Para responder essa pergunta problema de pesquisa, seguiremos os seguintes objetivos: 1. Analisar a textualização pelo livro “Causalidade e acaso na física moderna” seguindo os elementos do controle social bachelardiano. 2. Identificar as características desse controle social na textualização do livro.

Essa análise poderia ajudar na tentativa de inserir assuntos de FMC no EM, especialmente, de FQ. Desde as duas últimas décadas, pelo menos, a pesquisa em ensino de ciências tem afirmado a necessidade de introdução de tópicos de FQ no EM. No entanto, embora haja consenso quanto a essa necessidade, ainda não é consensual a melhor maneira de resolver a questão. Mesmo assim, alguns trabalhos têm sugerido que a melhor maneira de introduzir FQ no EM, é através da história e

filosofia, deixando de lado o formalismo matemático, e problematizando questões conceituais, filosóficas e de interpretação desta teoria (PINTO; ZANETIC, 1999; PAULO; MOREIRA, 2004; OSTERMANN; RICCI, 2004; SILVA; ALMEIDA, 2011). Por outro lado, os professores de física durante a formação recebem um conhecimento quase restrito ao formalismo matemático dessa teoria, excluindo os aspectos históricos e filosóficos importantes também para o ensino em nível médio (MONTENEGRO; PESSOA JR, 2002; OSTERMANN; RICCI, 2004; PEREIRA; CAVALCANTI; OSTERMANN, 2009; SILVA; ALMEIDA; HALLACK, 2015). De acordo com esses autores, não há problema quanto ao ensino do formalismo matemático, mas à negligência quanto aos aspectos históricos e filosóficos durante a formação do professor de física.

Além disso, em artigo recente de Lima, Ostermann e Cavalcanti, que fez uma análise bakhtiniana dos enunciados de FQ nos livros do PNL D 2015, constatou que a introdução de FQ segue a perspectiva de uma história linear, cumulativa, em que se coloca “[...] a história da física como a história dos experimentos (indutivismo ingênuo) e omitem a existência de teorias rivais, que ocorreram ao longo do desenvolvimento da Física Moderna” (LIMA; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2017, p. 454). Ou seja, a exposição da FQ dos livros aprovados no PNLDEM 2015, representa a ciência num “[...] viés positivista, o que é combatido por todas as escolas epistemológicas contemporâneas.” (ibid., p. 454). Onde, então, o professor de física encontra os saberes necessários para introdução de FQ no EM, se nem na sua formação e nem nos livros didáticos ele encontra os aspectos históricos e filosóficos dessa teoria?

Outras abordagens para a introdução de tópicos de física moderna no EM, também tem demonstrado a carência dos professores e sugerido modificações. Por exemplo, o grupo coordenado pela Fernanda Ostermann tem sugerido a utilização de um IVMZ para o ensino de FQ, defendendo, assim como outros pesquisadores, que se devem privilegiar os aspectos conceituais e epistemológicos no ensino. Sendo o IVMZ útil nesse desafio, tanto na discussão das diferentes interpretações da teoria (OSTERMANN; PRADO, 2005), quanto na apresentação da FQ a partir da física clássica (OSTERMANN; RICCI, 2004). Destacando que no caso de ensino na formação de professores, se devem construir abordagens didáticas conceituais e qualitativas baseadas na pluralidade de interpretações.

De acordo com Sabino e Pietrocola (2016), na sua tentativa de entender os saberes docentes necessários para a introdução de FQ no EM, constaram, ao acompanhar dois professores, a necessidade do fortalecimento do saber curricular dos professores, ou seja, os conhecimentos apreendidos durante sua formação de professor. Indicando também a necessidade de melhorar a qualidade da formação dos professores de física, para que quando estejam na escola sejam capazes de introduzir tópicos de FQ no EM.

Esses diversos artigos têm demonstrado, como apontam Silva e Almeida (2011), que:

“[...] é urgente a necessidade por uma formação inicial do professor, para que ele, quando estiver em sala de aula, sinta-se capaz de ensinar esses tópicos, pois de outra forma a abordagem da FQ no EM não evoluirá do status de pertinência para o status de realidade em grande parte dos cursos de EM.” (SILVA; ALMEIDA, 2011, p. 646).

Pensando na trajetória da formação dos professores de física, eles possuem muito contato com os livros socialmente estabilizados, isto é, livros que tratam de uma ciência paradigmática, já socialmente aceita pela comunidade de físicos. Poucos, ou inexistentes, são os espaços em que os estudantes têm contato com uma ciência em formação, em processo de estabilizar-se ou não dentro da comunidade acadêmica. Nesse sentido, livros originais de cientistas poucas vezes são discutidos durante a formação do professor de física. Deste modo, assim como faltam discussões históricas e filosóficas sobre FQ na formação do professor de física, também falta contato com os originais de cientistas. Esforços na direção de introdução de FQ no EM trazendo os originais dos cientistas, já foram feitos na pesquisa em ensino de ciências.

Por exemplo, autores como Pagliarini e Almeida (2016) sugerem trabalhar esses tópicos através do uso de textos originais dos cientistas sobre o início da FQ. A pesquisa demonstrou uma pluralidade de sentidos produzidos pelos estudantes, enfatizando a importância da mediação dos textos pelo professor e do debate destes sentidos, sem que a atividade seja feita apenas pela leitura individual. Concluindo, que

a linguagem desses textos é mais acessível que o formalismo matemático, além de ajudar a despertar o interesse dos estudantes. Deste modo, o uso de textos originais de cientistas sobre FQ permitiria não só desenvolver discussões filosóficas e históricas como sugerem as pesquisas em ensino de ciências, mas como aumentar o próprio interesse dos estudantes na física.

No entanto, nossa opção não é pelo desenvolvimento de atividades de ensino-aprendizagem com o uso de originais de cientistas para introdução de FQ no EM, mas contribuir na preparação do professor de física para estas atividades. Nesse sentido, a análise da textualização pela obra “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm na circulação da temática da controvérsia sobre interpretação da TQ – que nos propomos a fazer nessa dissertação – ajudaria ao professor de física, além de entender as características do funcionamento desta controvérsia, entender esse episódio histórico dentro de um referencial epistemológico. Ou seja, essa análise ajudaria o professor de física no EM entender as características da controvérsia sobre interpretação da TQ, especialmente na compreensão do segundo período histórico. Esse entendimento ajudaria também o professor a entender as características epistemológicas dessa controvérsia acompanhando o referencial bachelardiano, contribuindo na preparação do professor de física a introduzir tópicos de FQ no EM.

Nesse sentido, discutimos também nessa dissertação, algumas prováveis contribuições de nossas análises para o fortalecimento dos conhecimentos dos professores em formação a fim de que possam introduzir tópicos de FQ no EM.

2 O CONTROLE SOCIAL EM BACHELARD: UMA CONCEPÇÃO DE CONTROVÉRSIA

2.1 O BACHELARD MAIS CONHECIDO E O MENOS CONHECIDO NA PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS

A pesquisa em ensino de ciências tem utilizado a epistemologia de Gaston Bachelard, desde pelo menos a década de 1990 até os dias atuais (MORTIMER, 1996; PINTO; ZANETIC, 1999; MARTINS, 2004; CARVALHO FILHO, 2006; SILVA JUNIOR; TENÓRIO; BASTOS, 2007; SOUZA FILHO; BOSS; CALUZI, 2012; JUSTINA; CALDEIRA, 2014; REIS; KIOURANIS; SILVEIRA, 2017; LEITÃO; FERNANDES; LAGE, 2018). Diferentes enfoques são dados às ideias de Bachelard, mas podemos falar de uma grande importância que o autor assume, sobretudo, das noções de obstáculo epistemológico e perfil epistemológico na pesquisa em ensino de ciências.

Esses dois importantes conceitos da epistemologia bachelardiana, são significativamente relevantes para compreender o processo de ensino-aprendizagem das ciências naturais. Particularmente, o conceito de obstáculo epistemológico ajudou a melhor caracterizar as dificuldades que os estudantes possuem. Durante décadas a pesquisa em ensino de ciências, foi construindo uma espécie de catálogo das concepções alternativas que os estudantes apresentam sobre conceitos científicos (MORTIMER, 1996). Essas concepções alternativas foram capazes de demonstrar as visões equivocadas que os estudantes apresentam sobre os conceitos científicos, no entanto, não foram capazes de diagnosticar as peculiaridades de cada concepção alternativa, sem fazer associações entre elas, por exemplo. Nesse sentido, os obstáculos epistemológicos ajudaram a compreender a natureza das concepções alternativas, permitindo melhor caracterizá-las e agrupá-las de acordo com suas semelhanças. Assim, grupos de concepções alternativas foram agrupados dentro de um obstáculo epistemológico de Bachelard, em que embora as concepções alternativas sejam diferentes, elas possuem uma mesma estrutura de pensamento determinada por suas características específicas.

Por exemplo, concepções alternativas sobre os conceitos de calor e temperatura, que explicam a temperatura como a mistura das quantidades de calor e

de frio de um corpo, foram caracterizadas como ambos frutos do mesmo obstáculo epistemológico, isto é, o obstáculo da experiência primeira. Esse obstáculo epistemológico se forma através das experiências sensoriais dos estudantes frente aos fenômenos térmicos, assim, quando um estudante toca num corpo que lhe causa a sensação de frio – a quantidade de frio deste corpo é maior que a de calor, e vice-versa. A estrutura de pensamento, nesse caso, se dá pela sensação tátil dos fenômenos térmicos cotidianos. Deste modo, pela experiência tátil ser quente ou frio, o obstáculo epistemológico experiência primeira entende a temperatura de um corpo como a mistura das substâncias (calor e frio) presentes nele. Se observarmos as concepções alternativas frente ao conceito de temperatura, caracterizando-a como algum tipo de mistura de frio e calor do corpo, o obstáculo epistemológico experiência primeira ajuda-nos a entender a natureza destas concepções, isto é, elas têm sua origem na sensação de calor ou frio causada pelo toque aos objetos.

Isso ajuda a elaborar estratégias didáticas para que os estudantes superem essas concepções alternativas, como, por exemplo, confrontar a precisão da medida através do tato com a medida de temperatura feita por um termômetro. Esse confronto pode ajudar os estudantes entenderem a necessidade do uso de um instrumento para medir a temperatura dos corpos que não seja seu próprio tato.

Esse exemplo serve para ilustrar que o conceito de obstáculo epistemológico ajudou no melhor entendimento das concepções alternativas dos estudantes, e da própria construção de estratégias didáticas para o ensino-aprendizagem dos estudantes. No entanto, quando pensamos no confronto com a concepção alternativa do estudante, não estamos defendendo o modelo da mudança conceitual – em que este confronto faz com que o estudante substitua a concepção alternativa pela compreensão científica. Antes, queremos destacar também a importância que Bachelard tem para superar esse modelo construtivista da mudança conceitual como faz tão bem Mortimer (1996).

O conceito de perfil epistemológico também foi muito importante para dar um sentido aos processos de ensino-aprendizagem. Durante anos a comunidade acadêmica acreditava que para aprender um conceito o estudante deveria substituir sua concepção alternativa pela compreensão científica, no que ficou conhecido como modelo da mudança conceitual. No entanto, diversos estudos mostraram que mesmo que um estudante adquirisse a compreensão científica de um conceito, em

determinados casos e em contextos específicos, ele continuava a utilizar a sua concepção alternativa, demonstrando que ambas compreensões coexistiam dentro da mente do estudante. Assim, a comunidade acadêmica passou a refletir melhor sobre como era a aprendizagem, entendendo a relevância do conceito de perfil epistemológico.

O conceito de perfil epistemológico, de maneira geral, caracteriza que um determinado sujeito possui uma distribuição de compreensões de um determinado conceito em determinado tempo. Isto enfatiza que o estudante não possui uma única compreensão sobre um determinado conceito, mas apresenta diversas entendimentos sobre o mesmo conceito que são adequadas em diferentes contextos. A distribuição das distintas compreensões de um conceito é feita por diferentes filosofias. Essas filosofias seguem o vetor de abstração de Bachelard, partindo da filosofia do realismo ingênuo – marcada pelo conhecimento comum e, por isso, marcada pelos obstáculos epistemológicos –, em direção à um racionalismo cada vez mais abstrato.

O entendimento da compreensão do estudante, seguindo a noção de perfil epistemológico², permitiu significar a aprendizagem de um estudante de forma diferente que a simples substituição de uma concepção alternativa pela definição científica de um conceito, mas na transformação deste perfil através da aprendizagem. Deste modo, o ensino-aprendizagem de conceitos científicos se caracteriza como a transformação do perfil epistemológico do estudante antes e após as atividades de ensino, em que no perfil após se espera uma predominância das compreensões científicas do conceito em questão, mas sem substituir as demais compreensões do estudante. Nesse sentido, o conceito de perfil epistemológico de Bachelard permitiu, através do trabalho de Mortimer (1996), superar o modelo da mudança conceitual. Mortimer (1996) elaborou o conceito de perfil conceitual, uma espécie de perfil epistemológico para ser usado na prática educativa, para superar o modelo da mudança conceitual. Portanto, aprendizagem do estudante não seria mais

² [...] um perfil epistemológico deve sempre referir-se a um conceito designado, de ele apenas ser válido para um espírito particular que se examina num estágio particular da sua cultura. É esta dupla particularização que torna um perfil epistemológico interessante para uma psicologia do espírito científico. (BACHELARD, 1984, p. 41). Desse modo, a aprendizagem do estudante se caracteriza pela mudança no perfil epistemológico de um estudante num momento em comparação com outro.

caracterizada pela mudança conceitual, mas pela evolução do seu perfil conceitual após a instrução escolar.

Por outro lado, embora a epistemologia bachelardiana tenha sido bastante difundida dentro da pesquisa em ensino de ciências, normalmente não se discute o aspecto da dimensão social de seu pensamento sobre a formação de conhecimentos científicos.

Dentre os aspectos sociais da epistemologia bachelardiana, destacamos o presente no livro “A formação do espírito científico” (BACHELARD, 2013), em que este aspecto social surge como uma exigência para a formação de conhecimentos científicos. O aspecto social aparece como um controle, uma regulação intersubjetiva que possibilita o conhecimento retificar-se e, assim, ultrapassar um realismo imediato.

Esse aspecto social recebe a nomenclatura de controle social, exatamente por destacar o papel do controle que cada membro de uma comunidade científica exerce em seus pares, colocando suas ideias contra as ideias do outro. Nesse sentido, o controle social se manifesta dentro de uma controvérsia entre os pares de uma comunidade científica, em que cada cientista, ou melhor, cada linha de pesquisa, se constitui num ponto de vista contrário sobre o objeto do conhecimento. Gerando, uma característica polêmica ao pensamento científico, um ambiente controverso em sua própria natureza.

Essa noção de controvérsia como um elemento fundamental dentro da formação de conhecimentos científicos é, particularmente, muito importante para este trabalho em que estamos interessados na controvérsia entre interpretações da TQ. Porque ela permite entender melhor o funcionamento da controvérsia, sem excluir ou relegar em segundo plano a dimensão epistemológica, e quais são os mecanismos de sua construção e quais elementos estão presentes na materialidade do pensamento científico.

Desta forma, nesse capítulo iremos adentrar na compreensão do controle social presente na obra “A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento” de Gaston Bachelard. Para tal empreendimento, seguiremos o entendimento de algumas noções fundamentais para se entender a real importância deste controle dentro da epistemologia de Bachelard.

2.1.1 Epistemologia de ruptura

Conforme já apontava Lopes (1996) décadas atrás, a epistemologia de Bachelard vai contra a noção do empirismo lógico de seus contemporâneos – onde o conhecimento científico segue um fio condutor através da sua história, que, inevitavelmente, chegará nas compreensões científicas dos conceitos. No outro extremo da sala, negando a ideia desse fio condutor, Bachelard analisou a história das ciências para entender quais foram as modificações no pensamento que originaram o conhecimento científico, ou seja, quais foram as rupturas que levaram o homem ascender ao pensamento científico.

Segundo ele, devemos analisar o passado do pensamento de acordo com o conhecimento que temos no presente, procurando entender o que havia de diferente entre o pensamento pré-científico e o pensamento científico. Fazendo essa análise pela recorrência histórica – “[...] a partir do presente, questionar os valores do passado e suas interpretações.” (LOPES, 1996, p. 257) – Bachelard demonstra que para formação do pensamento científico foi necessário superar diversos contra-pensamentos.

O pensamento científico então se caracterizou como rompimento com pensamentos anteriores que se acreditavam corretos, seguros e definitivos, que, na sua verdadeira realidade, serviram de obstáculos ao desenvolvimento do conhecimento científico. Esses pensamentos se formam pelo conhecimento comum compartilhado socialmente e pelas experiências sensíveis que todos estão expostos, mas que são verdadeiros desafios que temos de, constantemente, superar para ascender a ciência.

Por conseguinte, a epistemologia bachelardiana não trata o conhecimento científico como simples justaposição de conhecimentos através dos séculos, como mero acúmulo de pensamentos, mas, ao contrário, coloca a formação científica como ruptura com formas anteriores de entender a natureza. Porque “[...] o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo à espiritualização” (BACHELARD, 2013, p. 17).

Nesse sentido, a posição de Bachelard quanto a formação de conhecimentos científicos se dá por rupturas, “[...] tanto entre conhecimento comum quanto em conhecimento científico, a partir do que se constituem os obstáculos epistemológicos, quanto no decorrer do próprio desenvolvimento científico, configurando a filosofia do não.” (LOPES, 1996, p. 256). Portanto, ambos conceitos que se tornaram mais populares da epistemologia bachelardiana, isto é, obstáculo epistemológico e perfil epistemológico, enfatizam a epistemologia de ruptura de Bachelard.

2.1.2 Obstáculos epistemológicos

A noção de obstáculo epistemológico, além de evidenciar a epistemologia de ruptura de Bachelard, também expressa uma forma de dinâmica da atividade científica. Para entender essa dinâmica precisamos retomar melhor a definição desse conceito.

O que Bachelard nos diz com a noção de obstáculo epistemológico, é que o processo de ruptura com o conhecimento comum, de superação de obstáculos, não se dá naturalmente, nem individualmente. Pois é durante esse processo “[...] que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos” (BACHELARD, 2013, p. 17). Ou seja, trata-se da própria natureza histórica da formação de conhecimentos científicos a existência de diferentes momentos, projetando uma dinâmica da atividade científica, entre o conflito e a estagnação.

Bachelard, na sua análise epistemológica, entende que as lentidões, ou mesmo estagnações, têm origens psicológicas e epistemológicas³. As origens epistemológicas de estagnação são os chamados obstáculos epistemológicos.

É importante ressaltar que os obstáculos epistemológicos são o “imperativo funcional” da formação dos conhecimentos científicos. Não se tratam, portanto, de algo que seja negativo e se deva evitar. Uma vez que “[...] é no âmago do próprio ato de conhecer [...]” (ibid., p. 17) que os obstáculos epistemológicos aparecem. Portanto, o caminho para formação de conhecimentos científicos é através da ruptura, em que dentro deste caminho se encontram permanentemente obstáculos epistemológicos.

³ Embora Bachelard use a noção de psicanálise e de psicologia como uma espécie de provocação à emergente psicanálise de sua época, conforme destaca Lopes (1996). Optamos pelo seu uso para poder diferenciar da epistemologia.

O epistemólogo francês destaca nove obstáculos epistemológicos se utilizando da exposição de alguns exemplos dos textos analisados (2013), caracterizando as particularidades de cada obstáculo. Por exemplo, o obstáculo substancialista apresenta-se como um pensamento que pretende entender a natureza dos fenômenos físicos se utilizando da ideia de uma substância, sempre escondida no “mito do interior” ou “no mito mais profundo do íntimo”. A estratégia de pensamento, nesse caso, consiste em atribuir qualidades a substância contida para explicar os fenômenos. Os demais obstáculos epistemológicos apresentam diferentes estratégias de pensamento para constituir o objeto. Porém, cada um dos obstáculos não será apresentado porque não é necessário para a presente discussão. Contudo, cabe ressaltar que “[...] é próprio do obstáculo epistemológico ser confuso e polimorfo [...]” (ibid., p. 26) e, mais do que isso, eles se apresentam “[...] sempre aos pares [...]” (ibid., p. 26). Isto é, os obstáculos epistemológicos estão acompanhados de outros e possuem outras formas.

Outra característica importante dos obstáculos epistemológicos é que eles também servem para o estudo da prática educativa, como já salientava o próprio Bachelard discutindo como, muitas vezes, os professores de ciência não conseguem compreender porque um estudante não entende. Nesse caso, o epistemólogo sugere aos professores o que havíamos discutido antes, ou seja, a formação de conhecimentos científicos se define enquanto ruptura com conhecimentos anteriores. Assim, o estudante não chega na sala de aula sem conhecimentos. Nas suas palavras:

“[...] o adolescente entra nas aulas de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana.” (BACHELARD, 2013, p. 23).

O extrato caracteriza que é próprio da natureza do conhecimento científico ser polêmico, questionando os pensamentos claros, aparentemente corretos e permanentes no tempo. Desta forma, o pensamento científico se estrutura através do confronto com o já sabido, na tentativa de modificar os conhecimentos adquiridos na

vida prática do cotidiano. Portanto, além de ser uma característica da formação de conhecimentos científico, a polêmica é fundamental na prática educativa. Assim, Bachelard inaugura uma nova interpretação da formação de conhecimentos científicos, “[...] uma interpretação epistemológica visceralmente polêmica e descontínuista” (LOPES, 1996, p. 254).

2.2 REALISMO COMO FILOSOFIA INATA

Podemos entender melhor essa dinâmica da evolução do pensamento em Bachelard se consideramos o caso de um aprendiz. É interessante notar que a mesma natureza polêmica do conhecimento científico não se estabelece na natureza de um aprendiz deslocado do controle da comunidade científica, nesse caso, da escola. Quando pensamos nesse caso, devemos sempre lembrar que, dentro da psicanálise do realista, Bachelard admite um realismo inerente em qualquer sujeito. Nas suas próprias palavras “[...] o realismo pode, com razão, ser considerado a única filosofia inata, o que não nos parece vantagem.”(BACHELARD, 2013, p.157).

Esse realismo inato é baseado num desejo avarento de possuir o conhecimento como um bem pessoal. De modo que, se um sujeito está deslocado do controle social, a alegria avarenta do realista está satisfeita com o seu conhecimento “[...] porque tem, acha ele, o real do seu lado, porque possui a riqueza do real [...]” (BACHELARD, 2013, p. 163). Ou seja, na perspectiva de um aprendiz em solitude, não podemos pensar no seu pensamento como polêmico, questionador, disposto a duvidar de suas verdades. Pois na formação do seu conhecimento não há nenhum mecanismo regulatório que seja capaz de confrontar o seu pensamento, formando-se pela avareza de seu realismo imediato. Portanto, o primeiro conhecimento da natureza do aprendiz se estrutura através do seu realismo ingênuo. De forma que:

“[...] os obstáculos mais poderosos correspondem às intuições da filosofia realista. Esses obstáculos, fortemente materializados, não acionam propriedades gerais, mas qualidades substantivas. É aí, numa experiência mais abafada, mais subjetiva, mais íntima, que reside a verdadeira inércia espiritual.” (BACHELARD, 2013, p. 102).

O aprendiz deslocado do controle da comunidade científica acaba por materializar seu desejo psicológico de possuir o conhecimento como um bem pessoal na construção do objeto. Esse ingênuo realismo psicológico gera a compreensão epistemológica do objeto, refletindo sobre ele seu sentimento de posse ou sentimento de ter razão que origina os obstáculos epistemológicos. Portanto, o pensamento de

um aprendiz em solitude não pode ser considerado científico, porque psicologicamente é o realismo ingênuo quem constrói o objeto, e, por ele não elaborar questionamentos, fica estagnado nos obstáculos epistemológicos. Considerando que “[...] um obstáculo epistemológico se incrusta no conhecimento não questionado [...]” (ibid., p. 19).

Deste modo, um estudante reconhece a característica polêmica da atividade científica dentro da escola, quando tem o seu conhecimento confrontando pelo conhecimento dos colegas e do professor. Essa falta de questionamentos dentro da estrutura psicológica e epistemológica dos saberes de um leigo, enfatiza que é através do convívio em sua sociedade, isto é, com os colegas e professor, que ele irá aprender o aspecto fundamental do pensamento científico de colocar-se em permanente estado de conflito, procurando sempre retificar os erros do passado.

Seguindo os passos da filosofia realista inata, o primeiro movimento em direção ao objeto se constitui como sentimento de posse do sujeito e não representa, sob qualquer hipótese, um conhecimento verdadeiramente científico do objeto. Uma vez que esse primeiro conhecimento é fruto do desejo avarento do realismo imediato.

“Esse conhecimento marca fatalmente o objeto com impressões subjetivas, que precisam ser expurgadas; o conhecimento objetivo precisa ser psicanalisado. Um conhecimento imediato é, por princípio, subjetivo. Ao considerar a realidade como um bem, ele oferece certezas prematuras que, em vez de ajudar, entram o conhecimento objetivo.” (BACHELARD, 2013, p. 259).

Somente a frenagem ao realismo inato que abrirá oportunidade para elaborar o conhecimento científico, a partir da reelaboração do conhecimento precedente. O conhecimento se torna polêmico quando saí da avareza de seu realismo imediato, quando passa a questionar o próprio pensamento. O sujeito, ao seguir cegamente o realismo ingênuo inerente, estabelece o conhecimento numa realidade imediata, fechado nas suas primeiras impressões, marcadas pelos sentidos sensíveis. Dessa forma, como pode um sujeito em solitude reformar o seu pensamento? Como pode confrontar seu pensamento e reconhecer a importância dos questionamentos e o papel fundamental do contraponto? Não pode, ele está satisfeito com seu

conhecimento porque o tem como um bem pessoal, como a riqueza do real. Logo, o que há para reformar no pensamento que mais parece uma preciosidade?

Desta forma, o aprendiz fechado no seu realismo ingênuo não é capaz de reformar o próprio pensamento, porque ele o tem como um bem pessoal, não permitindo qualquer espaço para a dúvida, para a correção, para o contraponto. Não obstante:

“Para o espírito científico, todo conhecimento é resposta a uma pergunta. Se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico. Nada é evidente. Nada é gratuito. Tudo é construído.” (BACHELARD, 2013, p. 18).

Embora o realismo ingênuo esteja mais presente num aprendiz, devemos enfatizar que esse mesmo desejo avarento de possuir o conhecimento como um bem pessoal também está presente no cientista em seu laboratório, e nas demais atividades de sua prática científica. Mesmo quando o cientista lida com os experimentos mais elaborados, formados dentro de uma fenomenotécnica⁴, ele possui o desejo avarento de possuir o objeto do conhecimento como um bem-pessoal. Assim, de forma semelhante ao estudante, o cientista também necessita de uma frenagem ao seu desejo avarento, para, assim, depois da frenagem, chamar verdadeiramente o conhecimento de científico.

⁴ “[...] uma fenomenotécnica pela qual fenômenos novos são não apenas descobertos, mas inventados, integralmente construídos.” (BACHELARD, 2012, p. 17).

2.3 FRENAGEM AO REALISMO: CONTROLE SOCIAL

Na verdade, o que possibilita a polêmica no pensamento, capaz de produzir conhecimentos científicos, é o controle social que procura frear o inatismo da filosofia realista no sujeito. Desta forma, é necessária uma regulação na formação do conhecimento, freando a filosofia realista inata que admite o conhecimento precedente como uma realidade a priori. Nesse sentido, a regulação proporcionada pelo controle social, tem a tarefa fundamental de trazer o confronto com o realismo ingênuo de cada sujeito, tornando o pensamento polêmico, capaz de questionar e superar quem tem a realidade como um bem pessoal.

Cabe ressaltar, que se trata, exclusivamente, do controle social proporcionado pela comunidade científica no caso dos cientistas, e, no caso dos estudantes, o controle social proporcionado pela escola, que pela discussão entre os membros pretende eliminar todo desejo avarento particular, procurando extinguir o realismo imediato através da polêmica no pensamento.

Essa regulação na formação do pensamento científico tem oportunidade no controle social porque urge a necessidade de regulação ao realismo.

Nas palavras de Bachelard:

“Para ter certeza de que o estímulo deixou de ser a base de nossa objetivação, para ter certeza que o controle objetivo é uma reforma em vez de um eco, é preciso chegar ao controle social. A partir de então – mesmo que nos acusem de cair num círculo vicioso – propomos que a objetividade seja fundada no comportamento do outro, ou ainda, para logo revelar o aspecto paradoxal de nosso pensamento, pretendemos escolher o olho do outro – sempre o olho do outro – para ver a forma – a forma felizmente abstrata – do fenômeno objetivo: Dize-me o que vês e eu te direi o que é. Só esse circuito, na aparência insensato, pode nos dar alguma garantia de que fizemos completa abstração de nossas ideias primeiras.” (BACHELARD, 2013, p. 295).

O controle social é o mecanismo necessário para formação do conhecimento científico, uma vez que um sujeito desprendido desse controle acaba por materializar seu desejo avarento realista no objeto, elaborando o conhecimento a partir de suas idiosincrasias, de suas subjetividades. Para poder se construir um pensamento

científico, capaz de frenar o realismo imediato de cada sujeito particular, chegamos à comunidade científica, a cidadela dos sábios. Nesse sentido, a regulação do conhecimento científico, proporcionada pelo controle social, se apresenta enquanto uma mútua e recíproca frenagem ao inatismo da filosofia realista entre os pares de um grupo científico. Essa frenagem ao pensamento do outro demonstra que dentro da prática científica – e da prática escolar – constantemente os membros de um determinado grupo científico – ou escolar – procuram colocar em confronto seus conhecimentos, a fim de expurgar do conhecimento objetivo sua subjetividade.

Isto se deve ao realismo imediato, que no movimento em direção ao objeto projeta sua avareza de possuir o conhecimento como um bem pessoal. Esse estímulo de possuir o objeto como um bem pessoal, acaba por instituir o conhecimento como mero valor, como demonstração do poder do realismo ingênuo marcado pela sua peculiar avareza. Mas o conhecimento científico para Bachelard é uma reforma, não um eco. Nesse sentido, surge a importância do controle social para frenar a avareza realista de um sujeito particular. O controle social se apresenta pelo embate a filosofia realista inata de cada sujeito particular, procurando expurgar a subjetividade do pensamento científico.

Essa forma polêmica de Bachelard conceber a razão, caracterizando a necessidade de uma frenagem ao desejo avarento do realismo ingênuo particular, marcada pelo confronto do controle social, enfatiza qual é a filosofia do conhecimento científico. Isto é, “[...] trata-se de uma filosofia que propõe a razão polêmica, plural, turbulenta e agressiva, que sabe ser filha da discussão e não da simpatia [...]” (LOPES, 1996, p. 269). De acordo com Lopes (1996), a razão polêmica é o eixo central da obra diurna⁵ de Bachelard.

Como vimos, se não houvesse confronto com o realismo imediato, o conhecimento jamais iria se reformar porque o sentimento de ter vantagem da avareza realista não permitiria espaço para perguntas, questionamentos e dúvida, e seria a pura embriaguez. Assim, a regulação proporcionada pelo controle social é

⁵ A obra diurna de Bachelard corresponde aos seus trabalhos de epistemologia. Os trabalhos no campo da poética são entendidos como integrantes de sua obra noturna.

fundamental para haver reforma no pensamento e atingir o conhecimento científico, pois somente assim há oportunidade de o realismo inato ser reprimido.

Vemos assim a importância do controle social para Bachelard, estruturando o conhecimento científico numa relação polêmica entre os membros de um determinado grupo científico⁶. Em que cada membro tem a tarefa de expurgar as subjetividades de cada um dos seus colegas, idealizando um conhecimento científico genuinamente objetivo. Ou seja, um determinado conhecimento só pode ser dito científico se passou pelo controle social através do exercício de polemizar o pensamento. Em outras palavras, podemos dizer que o controle social enfatiza a razão polêmica de Bachelard, que está constantemente em vigilância epistemológica procurando onde reformar o pensamento (LOPES, 1996).

A vigilância epistemológica resultante do controle social tem o papel de regular o conhecimento, de estabelecer o que há de verdadeiro no pensamento do outro, procurando expurgar do pensamento qualquer resquício de subjetividade. Assim, só podemos falar de um conhecimento científico se esse conhecimento foi analisado e compartilhado dentro do grupo científico, recebendo as reformas que forem necessárias, garantido que o conhecimento passou pela regulação deste grupo. Portanto, o pensamento científico se apresenta enquanto reforma, no sentido de não confirmar o estímulo realista de possuir o conhecimento como um bem pessoal, mas colocá-lo em xeque, sendo a frenagem o responsável por essa tarefa através do controle social.

Essa maneira de Bachelard interpretar a razão científica como polêmica, demonstra uma radical modificação na compreensão da verdade dentro da ciência. Sendo que as verdades científicas só têm sentido após o fim de uma polêmica, e, deste modo, “[...] não podemos mais nos referir à verdade, instância que se alcança em definitivo, mas apenas às verdades, múltiplas, históricas, pertencentes à esfera da veridicidade, da capacidade de gerar credibilidade e confiança [...]” (LOPES, 1996, p. 253). Assim, Bachelard marca sua epistemologia dentro de uma polêmica, num estado de mobilização permanente, em que dentro do controle social sempre se procura encontrar os caminhos de reforma.

⁶ Grupo científico corresponde ao conjunto de cientistas que formam o que Bachelard chama de “cidadela dos sábios”.

Estamos interessados na questão do controle social, pois é nela que temos a marca central da polêmica, em que diferentes sujeitos membros de um grupo científico se colocam com a tarefa de expurgar as subjetividades de cada realismo ingênuo particular. No entanto, antes de aprofundarmos a reflexão sobre o controle social e derivarmos dela uma concepção de controvérsia, voltamos ao movimento epistemológico que a frenagem ao realismo particular permite no caminho em direção ao pensamento científico.

2.3.1 A filosofia da desilusão:

Nesse sentido, devemos destacar que essa frenagem do controle social ao estímulo da filosofia realista inata, geram um sentimento de fracasso no sujeito porque ele percebe que o seu conhecimento não é tão precioso quanto imaginava. Não sendo mesmo correto como o realista ingênuo acreditava, que pensava ter todas as repostas do mundo, que se demonstram avarentas e demasiadamente subjetivas dentro do grupo científico. Porém, é justamente esse sentimento de fracasso que irá oportunizar a chance de o pensamento reformar-se, corrigir-se, que o permitirá ascender ao conhecimento científico. Conforme podemos ver em Bachelard:

“E porque há fracasso, que há frenagem do estímulo. Sem o fracasso, o estímulo seria puro valor. [...] Assim, a nosso ver, o homem que tivesse a impressão de nunca se enganar estaria enganado para sempre.”
(BACHELARD, 2013, p. 295).

O controle social permite ao sujeito reformar seu conhecimento, que é a única direção do pensamento científico, através do convencimento de que está equivocado. Logo, para haver oportunidade de reforma no pensamento é necessário, antes de tudo, se enganar, se equivocar na construção do pensamento. O engano representa o reconhecimento de que o pensamento está desacertado, e têm sua origem na repressão ao estímulo realista inato. Quando o pensamento então é regulado pelo controle social, e reconhece sua inadequação, é capaz de ascender ao conhecimento

científico, uma vez que “ [...] a marcha para o objeto não é inicialmente objetiva [...]”(ibid., p. 294).

Portanto, na trajetória do pensamento científico, é necessário haver o sentimento de fracasso, de insucesso, de que seu conhecimento não é suficiente e adequado. Somente o fracasso possibilita ao pensamento a oportunidade de reformar-se. Esse fracasso justamente tem oportunidade na relação com o grupo científico, que reprende a embriaguez da avareza realista. Contudo, é exatamente o sentimento de fracasso que permite acontecer a “catarse intelectual e afetiva” dentro da psicanálise do conhecimento bachelardiana. Nesse sentido, Bachelard explica a natureza da catarse:

“Ah! Não há dúvida de que sabemos o que vamos perder! De pronto, todo universo fica descolorido, nossa refeição perde o cheiro, nossa energia psíquica natural fica cortada, revirada, desconhecida, desanimada. Precisávamos tanto estar de modo integral em nossa visão do mundo! Mas é exatamente essa necessidade que precisa ser superada. Vamos! Não é à clara luz, é à beira da sombra que o raio, ao difratar-se, entrega-nos seus segredos.” (BACHELARD, 2013, p. 295)

A catarse intelectual e afetiva acontece na ruptura com o conhecimento que se acreditava correto e, mais do que isso, se imaginava ser um bem pessoal, uma riqueza particular. Quando acontece esse rompimento, originado pela frenagem social ao instinto realista particular, o sujeito se purifica de sua própria ignorância no sentimento de fracasso que o liberta de estar enganado para sempre. Esse sentimento de fracasso é capaz de tirar o sujeito de suas ilusões particulares elaboradas pela sua avareza realista. Porém, tudo que o instinto realista desejava era estar de modo integral na sua ilusão, e possuir o conhecimento como um bem pessoal. Logo, esse sentimento de fracasso oprime e aprisiona o realismo imediato, gerando um profundo sentimento de frustração no sujeito. Por outro lado, o sentimento de fracasso também permite ao conhecimento a possibilidade de se reformar, de romper com o pensamento que se acreditava correto e permanente, mas que é insuficiente e inadequado. A materialização desse fracasso acontece no erro, no reconhecimento do sujeito que o seu conhecimento está errado e possui equívocos.

Ou seja, o sentimento de fracasso manifesta o conhecimento científico enquanto polêmica, deslocando a ideia de um conhecimento seguro, correto e definitivo que jamais está disposto a perguntar: Por que não? O erro corresponde ao resultado do questionamento, do confronto com o pensamento que se demonstra claro e evidente que, em segunda aproximação, não passava de uma tolice da avareza realista perante os membros de um determinado grupo científico.

A catarse intelectual e afetiva aparece então na transformação do sentimento de fracasso, deixando de oprimir o sujeito, passando a entender seu lado positivo: possibilitar ao pensamento a chance de se reformar a partir do reconhecimento de sua ineficiência, de romper com a avareza do realismo imediato. Assim, no sentimento de fracasso o sujeito reconhece seu erro, reconhece sua ignorância e, agora, se prepara para caminhar em direção ao pensamento científico, pois “A psicologia da atitude objetiva é a história de nossos erros pessoais.” (BACHELARD, 2013, p. 293).

Conforme já apontava Lopes (1996) no título original de seu artigo, Bachelard é um filósofo da desilusão, que evidencia a importância do erro na formação do conhecimento científico. Porque esse erro oportuniza a chance de o sujeito reformar o seu realismo ingênuo inerente. O erro caracteriza o eterno recomeçar, polemizando o que se pensava ser correto e permanente.

“Conhecemos sempre contra um conhecimento anterior, retificando o que se julgava sabido e sedimentado. Por isso, não existem verdades primeiras, apenas os primeiros erros: a verdade está em devir. Bachelard, portanto, se situa como o filósofo da desilusão, aquele que afirma: somos o limite das nossas ilusões perdidas (Bachelard, 1970). O que significa dizer que somos a expressão, não de nosso conhecimento imediato, de nossas habilidades inatas, mas do constante e descontínuo processo de retificação que nosso espírito sofre no decorrer da existência. O que sabemos é fruto da desilusão com aquilo que julgávamos saber; o que somos é fruto da desilusão com o que julgávamos ser.” (LOPES, 1996, p. 254)

2.3.2 A importância do erro:

O erro representa o sentimento de fracasso e oportuniza a chance do pensamento se reformar, pensando na psicologia particular de um sujeito. No seu aspecto epistemológico, o erro indica qual direção seguir na construção do pensamento científico. Assim, o erro abre caminho epistemológico para o sujeito ser capaz de superar seu realismo ingênuo, indicando o que está errado e deve ser corrigido no seu pensamento. Portanto, a chance de sair das ilusões particulares que parecem ser um conhecimento adequado da natureza se origina no erro, que indica a filosofia realista inata – que quer o conhecimento como um bem pessoal - que o conhecimento não é direto e permanente, mas se configura na constante reforma do que se acredita correto e definitivo. Em outras palavras, na reforma da ilusão que pensava ter o conhecimento como um bem precioso. Desta forma, o erro representa a formação de uma nova verdade, que não mais se encontra na avareza do realismo imediato, mas está localizada na reforma do pensamento proporcionado pelo erro. Ou seja, como vimos, o conhecimento científico para Bachelard se apresenta enquanto reforma das ilusões.

Não obstante, a noção de erro de Bachelard também deve ser compartilhada socialmente, para que se entenda que o erro não é um mal. Nesse sentido:

“Já que não há operação objetiva sem a consciência de um erro íntimo e primeiro, devemos começar as lições de objetividade por uma verdadeira confissão de nossas falhas intelectuais. Mais vale confessar nossas tolices para que nosso irmão reconheça as suas, e exijamos dele a confissão e o favor recíprocos.” (BACHELARD, 2013, p. 297).

Bachelard defende que o erro também deva ser compartilhado socialmente, procurando estabelecer uma relação de confiança e liberdade entre os membros do grupo científico. Considerando que para atingir o conhecimento científico é necessário haver a reforma no pensamento originada no erro, devemos mudar o estatuto desse fracasso e aprender a reconhecer a importância de se enganar, sem que haja autoridade sobre um determinado conhecimento como se ele fosse permanentemente correto, mas que ele esteja em permanente estado de polêmica, de questionamento, de confronto.

Ou seja, que nunca se coloque o conhecimento de forma estanque, pelo contrário, que ele esteja em permanente conflito e confronto com outros. Estando permanentemente atento e disposto a fazer novos questionamentos e reflexões, para poder encontrar quais reformas devem ser feitas no conhecimento que já se têm, a partir dos erros que forem emergindo. Mais uma vez, representando o quanto o conhecimento científico para Bachelard é resultante da polêmica no pensamento, que procura expurgar as subjetividades do conhecimento e reconhecer que o erro não é um mal, mas indica a direção da reforma no pensamento.

Assim, socialmente entendendo o papel positivo do erro, podemos caminhar em direção ao conhecimento científico pela reforma do conhecimento que se acreditava correto. Mas de que forma acontece essa reforma? Não basta apenas reconhecer o erro, é preciso corrigir o engano. Assim, o erro indica a direção epistemológica da formação dos conhecimentos científicos, e ela é na “[...] perspectiva de erros retificados que caracteriza, a nosso ver, o pensamento científico.” (ibid., p. 14). Logo, não podemos falar que um pensamento é verdadeiro sem nenhum erro retificado, porque “[...] psicologicamente, não há verdade sem erro retificado.” (ibid., p. 293). Isto é, tanto psicologicamente quanto epistemologicamente não se pode ter conhecimento científico sem erro inicial, pois a marcha para a formação do conhecimento científico é pelo processo permanente de retificação das ilusões.

O que caracteriza então o conhecimento científico é a retificação dos erros pessoais, ou seja, o erro indica qual caminho epistemológico se deve traçar para atingir o conhecimento científico. A continuidade desse caminho se dá pela retificação desse erro, pelo convencimento de qual reforma deve ser feita para ascender a “verdade”. Essa perspectiva de verdade enquanto retificação dos erros, enfatiza que para adquirir um conhecimento científico é preciso que haja primeiro a consciência de que o primeiro conhecimento possui deficiências, erros que devem ser reformados. Porque se o leigo está satisfeito com o seu pensamento e acredita possuir o objeto como um bem pessoal – inevitavelmente, marcado pela avareza da filosofia realista – não tem nenhum conhecimento verdadeiro e só reflete no objeto suas idiossincrasias, que de forma alguma podem ser chamadas de um verdadeiro conhecimento científico.

Portanto, para ascender ao conhecimento científico é necessário reconhecer os erros pessoais e, reformar o pensamento pela retificação destes erros. A formação de conhecimento científicos se dá, desta forma, pela permanente retificação dos erros pessoais, pois não há verdade permanente no tempo. O conhecimento científico é a permanente reforma dos pensamentos anteriores, retificando todos os erros que forem florescendo na trajetória do pensamento.

2.4 VIGILÂNCIA EPISTEMOLÓGICA: TER RAZÃO CONTRA ALGUÉM

Entendemos a importância do controle social para a formação do conhecimento e o permanente processo de retificação dos erros do passado que constituem o pensamento científico. Percebemos assim que o sentido do controle social, surge enquanto frenagem ao instinto realista: que inibe o pensamento, deixando-o estagnado em pensamentos confortáveis. Ao mesmo tempo o controle social também questiona o conhecimento, procurando ver o lado objetivo do pensamento, expurgando sua subjetividade. Nesse sentido, o controle social tem a tarefa de tornar o pensamento polêmico, através de confrontos e debates, expurgando a avareza realista que tem o conhecimento como um bem pessoal.

Esses confrontos e debates geram a oportunidade de o sujeito reconhecer o seu fracasso, que achando possuir o conhecimento como um bem pessoal, descobre, através do questionamento, que estava errado. Desta forma, o papel do controle social é provocar o pensamento particular, procurando discutir, polemizar o conhecimento que se mostra estável e seguro, buscando encontrar suas fraquezas.

Portanto, temos um sentido epistemológico do controle social que é a ideia de tornar o pensamento polêmico, e um sentido psicológico que é o fracasso da filosofia realista inata, que oportuniza a chance de reformar o pensamento. Ambos sentidos têm presentes a noção de regulação, de vigilância do pensamento e do realismo imediato.

Ou seja, a ideia do controle social tem o papel fundamental de fazer a vigilância do conhecimento, procurando expurgar as ambições da avareza da filosofia realista inata que acredita que o conhecimento é um bem pessoal e jamais está disposto a encontrar seus erros, seus potenciais caminhos de reforma, pois se encontra confortável na sua ilusão de possuir a riqueza da realidade. Assim, o controle social surge enquanto vigilância epistemológica, permanentemente averiguando quais reformas devem ser feitas no pensamento, com quais conhecimento se deve romper.

Mas não se trata de uma vigilância epistemológica que procura dizer o que está errado e o que está certo, procurando julgar os membros de um grupo científico, pelo contrário, a vigilância epistemológica tem a tarefa de deixar permanentemente o

pensamento polêmico, permitindo a cada sujeito encontrar seus erros, sendo reconhecido como algo positivo pelo sujeito e no grupo científico, reconhecendo que para ascender a verdade é preciso retificar as ilusões particulares.

Por conseguinte, o papel de regulação do controle social é tornar o conhecimento polêmico, disposto a permanentemente duvidar do que se acredita correto e constante, procurando indicar quais caminhos se deve reformar. Mas como, afinal de contas, se exercita esse controle socialmente? Quais mecanismos são elaborados para procurar eliminar a subjetividade do conhecimento? Como os membros de um determinado grupo científico se relacionam entre si para efetivamente elaborar conhecimentos científicos pela reforma do conhecimento que se tinha? Quais são os exercícios epistemológicos que são realizados para regular o pensamento? Como a vigilância epistemológica aparece entre os membros de um grupo científico?

Quando o controle social se estabelece na formação do conhecimento, e, por isso, permite a formação do pensamento científico, passamos a entender melhor a natureza constitutiva da polêmica na ciência. O conhecimento científico apresenta sua natureza questionadora permanentemente disposta a modificar o pensamento, a gerar problemas, a duvidar: por que tem que ser assim? Por que não poderia ser de outra forma? Por que não? Esses tipos de questionamentos se originam entre os membros do grupo científico, colocando em confronto diferentes posicionamentos, diferentes formas de entender/construir o objeto.

A verdade não está no realismo de um sujeito particular, está em confronto com o outro. Quando consideramos os membros de um grupo científico, a vigilância epistemológica acontece pelo confronto entre os diferentes e variados pontos de vista frente ao fenômeno da natureza em questão, estabelecendo o pensamento polêmico por essas discussões. Em outras palavras, o exercício social do controle social do pensamento científico se manifesta pelo confronto entre diferentes formas de entender/construir o objeto, colocando em debate a compreensão de cada membro da comunidade científica perante determinados fenômenos naturais.

A vigilância epistemológica se manifesta pelos permanentes questionamentos ao pensamento de cada membro do grupo científico, originando um profundo ambiente polêmico, sempre disposto a modificar suas bases, sua fundação, a encontrar o que deve ser retificado. Porque “Para confirmar cientificamente a verdade, é preciso confrontá-la com vários e diferentes pontos de vista.”(BACHELARD, 2013,

p. 14). Logo, o exercício social no pensamento científico, que é uma das marcas do controle social, se caracteriza pelo confronto entre variados pontos de vista sobre o fenômeno da natureza que se quer produzir um conhecimento científico.

O debate acontece dentro do grupo científico, colocando o pensamento de alguém contra o pensamento de outro alguém, procurando eliminar as subjetividades do pensamento nesse confronto. Logo, o exercício social do pensamento científico é questionar, duvidar, discutir o pensamento do outro, fazendo das críticas o próprio pensamento, ou seja, elaborando a polêmica contra o pensamento de cada um dos membros que constituem o controle social do conhecimento científico.

“Em todo caso, a existência de um grupo refratário aos conhecimentos científicos favorece a psicanálise das convicções racionais. Não basta ao homem ter razão, ele precisa **ter razão contra alguém**. Sem o **exercício social** de sua convicção racional, a razão profunda mais parece um rancor; essa convicção que não se confronta com um ensino difícil age na alma como um amor desprezado.” (BACHELARD, 2013, p. 300 e 301, grifos nossos)

A razão científica se apresenta como a permanente reforma do pensamento objetivado pelo controle social, caracterizando que o conhecimento científico é o resultado de colocar-se contra conhecimentos anteriores e contra o conhecimento dos pares da comunidade científica. Isto quer dizer que a regulação do conhecimento científico é feita pelo debate entre os membros de um determinado grupo científico, em que se estabelece um ambiente polêmico onde cada membro deste grupo coloca seus posicionamentos científicos em confronto com os demais.

O pensamento científico, portanto, estrutura-se dentro do grupo científico que, através de mecanismos regulatórios, estabelece a “verdade” pelo confronto entre variados pontos de vista sobre a natureza. Nesse sentido, o controle social faz parte da própria construção do pensamento dos cientistas, em que estes se colocam contra os posicionamentos dos seus pares. Percebemos, assim, que dentro de uma comunidade científica estabelecida, isto é, que já tem o controle social como uma necessidade para regulação do conhecimento, os membros desta comunidade cada

vez mais elaboram suas proposições científicas dentro do jogo de forças antagônico do confronto dos diferentes posicionamentos.

A vigilância epistemológica que representa o controle social é marcada pelo confronto entre os diferentes pontos de vista dos membros de um grupo científico. Deste modo, o controle social necessário para frear o realismo inato particular de cada sujeito, se institui dentro do grupo científico, pelas discussões entre seus membros que determinam o conhecimento científico como uma polêmica, em permanente vigilância para corrigir seus enganos. Esse exercício de oposição de saberes entre os membros de um grupo científico, enfatiza que a razão polêmica de Bachelard se estabelece no confronto entre o pensamento de cada membro, em que se deve ter razão contra alguém. Assim, o conhecimento científico pouco a pouco vai se estruturando como crítica ao conhecimento que se têm, como retificação do pensamento de outro. Nesse sentido, na própria prática do pensamento científico de um cientista ele procura definir seus posicionamentos filosóficos retificando o conhecimento que se deseja superar.

2.5 UMA CONCEPÇÃO DE CONTROVÉRSIA INTERNA À COMUNIDADE CIENTÍFICA

O papel do controle social é mobilizar o pensamento de forma crítica, questionando os conhecimentos que se acreditam tacitamente corretos pela embriaguez do realismo inato. A forma de mobilizar o pensamento científico é colocar em debate as diferentes compreensões dos pares da comunidade científica sobre o objeto do conhecimento, discutindo seus fundamentos e formalizações, elaborando a verdade pelo confronto com variados e diferentes pontos de vista.

Nesse sentido, temos na própria constituição do conhecimento científico mecanismos regulatórios que tem a tarefa de polemizar o pensamento, caracterizando o que podemos chamar de uma concepção de controvérsia interna à comunidade científica. Pois se considerarmos diferentes membros de um grupo científico, eles possuem grandes diferenças no entendimento da natureza, construindo seus posicionamentos com formas diferentes de construir/entender os objetos, sendo assim controversos entre si. Uma vez que cada um deles possui características no seu realismo inato diferentes dos demais, marcadas por suas singularidades na forma de entender os fenômenos da natureza e, em consequência, na maneira de construir/entender os objetos do conhecimento. Demonstrando que perante os membros do grupo científico não há um consenso sobre o entendimento/construção do objeto do conhecimento que pretende entender os fenômenos da natureza. Portanto, a controvérsia entre os diferentes pontos de vista dos membros do grupo científico é a reguladora do pensamento científico que, justamente explorando essa controvérsia através do debate, colocando em confronto diferentes pontos de vista, vai ser capaz de formular conhecimentos científicos.

A controvérsia, marcada pela função reguladora da comunidade científica, passa aparecer na própria construção do pensamento do cientista, porque ele, pouco a pouco, desenvolve sua argumentação contra o pensamento de alguém, de um outro cientista. O controle social, então, assume sua relevância na própria prática de elaboração do pensamento, procurando colocar-se contra outro ponto de vista, transformando suas críticas em conhecimento científico. Ou seja, o cientista ao

elaborar seu conhecimento se posiciona dentro de uma controvérsia científica, colocando seu ponto de vista contra o ponto de vista de seu colega, caracterizando o seu pensamento a partir da oposição ao pensamento de seus pares. Conforme podemos ver em Bachelard:

“[...] **atitude polêmica do pensamento científico** diante da cidadela dos sábios. Como na atividade científica, temos de inventar, temos de considerar **o fenômeno sobre outro ponto de vista**. Mas é preciso legitimar nossa invenção: **concebemos então nosso fenômeno, criticando o fenômeno dos outros**. Pouco a pouco, somos levados a converter nossas objeções em objetos, a transformar nossas críticas em leis. Insistimos em **variar o fenômeno no sentido de nossa oposição ao saber do outro**.”
(BACHELARD, 2013, p. 26, grifos nossos)

Assim, o pensamento de um determinado cientista se constitui já num ambiente controverso, dentro da divergência de perspectivas presentes no controle social. Representando a importância da controvérsia na própria constituição do conhecimento científico do cientista. Logo, o pensamento de um dado cientista se materializa na controvérsia da sua posição com os demais posicionamentos dos membros do grupo científico em questão, criticando estes posicionamentos e sugerindo retificações para ascender a verdade. Isto é, a concepção de controvérsia interna à comunidade científica presente na obra de Bachelard, tem as características de:

1. Da materialização do pensamento de um cientista se definir em controvérsia com o pensamento dos demais membros do grupo científico.
2. Do posicionamento do cientista surgir enquanto crítica e retificação ao posicionamento dos demais membros do grupo científico.

Por conseguinte, podemos verificar na constituição do pensamento de cada cientista elementos que evidenciam essa concepção de controvérsia interna à comunidade científica, entre o ponto de vista defendido por ele e os demais pontos de vista que são defendidos nesta comunidade. Na construção de seus posicionamentos se verifica os contornos específicos que são dados aos pensamentos da comunidade científica para gerar sua proposta dentro desse ambiente controverso. Como vimos, o cientista então passa a formular suas críticas ao pensamento dos seus pares como

seu próprio posicionamento, insistindo em variar o seu ponto de vista contra o ponto de vista dos demais.

Essa maneira de entender a função reguladora do controle social, se manifestando no próprio funcionamento do pensamento dos cientistas – se posicionando contra o pensamento de seus pares, dentro de uma controvérsia – nos permite entender melhor a construção dos argumentos dos cientistas. Isto é, se considerarmos a análise dos textos produzidos por um cientista, verificaremos os deslocamentos que são feitos nos posicionamentos dos seus colegas, indicando quais pensamentos se deve retificar, para assim, depois de indicar quais são os enganos, apresentar o seu posicionamento pelo refinamento dos posicionamentos dos colegas, ou melhor, pela retificação dos enganos de seus pares.

Desta forma, o pensamento de um determinado cientista começará a apresentação de sua proposta pela retomada das ideias dos seus pares, inclinando essa retomada pela indicação de enganos nessas ideias, e, mais tarde, apresentará sua proposta pela retificação destes erros. Portanto, analisando o texto científico, veremos a manifestação do posicionamento do cientista dentro de uma controvérsia, através da crítica ao posicionamento dos demais, indicando o que é retificado dentro do seu posicionamento.

3 A TEXTUALIZAÇÃO PELO LIVRO “CAUSALIDADE E ACASO NA FÍSICA MODERNA” DE DAVID BOHM

Nesse capítulo, discutimos a textualização do livro “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm. Segundo Silva (2014), essa noção de textualização permite analisar o livro no sentido de:

“[...] suspender, pelo menos, temporariamente, aquela abordagem sobre textos, imagens e falas que apenas se pergunta pelo certo/errado do que está ali, para construir uma abordagem que busque dar visibilidade não ao sentido oculto, mas a própria produção dos sentidos, dos textos, imagens e falas, obviamente, sem esquecer seus “conteúdos”, como parte do processo de produção de algo que é constitutivo do tecido social, como são os discursos. Daí nosso objeto não ser os textos, mas a textualização, ou seja, o texto, em seu conteúdo e sua forma, suas condições de produção.” (SILVA, 2014, p. 82)

Para tal, num primeiro momento discutimos, de maneira geral, aspectos históricos, políticos, sociais e filosóficos do trabalho desse cientista e, em especial, desse livro. Caracterizando, assim, algumas das condições de produção do livro. Isso serve para explorar esse conceito de textualização, que sugere olhar para as condições de produção do livro além de seu conteúdo. Não desejamos esgotar todas as condições de produção do livro, mas levantar algumas dessas condições retomando os trabalhos de Olival Freire Jr. Sugerimos ao leitor que deseja aprofundar o conhecimento dessas condições pesquisar o excelente trabalho desse importante pesquisador brasileiro. Assim, nesse aspecto de discutir algumas das condições de produção do livro nossa pesquisa se restringiu, basicamente, nos materiais dele. No entanto, isso serve para elucidar o quanto esse exercício ajuda na interpretação do livro.

Esse exercício de interpretar o livro através da noção de textualização, ajuda a entender melhor o próprio texto científico, e, em nosso caso, a também procurar as marcas da concepção de controvérsia que derivamos da epistemologia de Bachelard, na materialidade textual do livro. Onde essas marcas evidenciam as características da controvérsia que enumeramos no final do capítulo precedente. Nesse sentido, as condições de produção do livro nos indicam a sua forma, isto é, as características que

devem estar presentes, de alguma forma, na sua materialidade. Assim, ajudando em nossa análise da controvérsia na materialidade textual do livro.

Desta forma, num segundo momento, discutimos as marcas dessa controvérsia interna à comunidade científica presente em alguns extratos selecionados do livro “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm. Esses extratos servem para demonstrar, desse modo, as características da controvérsia apontadas no capítulo precedente. As características são: 1. Da materialização do pensamento de um cientista se definir em controvérsia com o pensamento dos demais membros do grupo científico. 2. Do posicionamento do cientista surgir enquanto crítica e retificação ao posicionamento dos demais membros do grupo científico.

3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A INTERPRETAÇÃO DE DAVID BOHM E SOBRE SEU LIVRO

David Bohm reascendeu o debate sobre interpretações da TQ dentro da comunidade científica, quando publicou dois artigos em 1952 que permitiram uma interpretação alternativa à que era majoritariamente aceita, isto é, a interpretação de Copenhagen (FREIRE JR, 2004). O título original dos artigos publicados na “Physical Review” se chama “A suggested interpretation of the quantum theory in terms of hidden variables I & II” – “Uma interpretação sugerida da TQ em termos de variáveis ocultas I & II”, em português.

Nesses artigos, Bohm defende uma descrição causal⁷ da TQ, o que não é possível dentro do quadro da interpretação de Copenhagen. Essa descrição causal é feita através da proposição de “variáveis ocultas⁸” que, embora jamais tenham sido observadas em fenômenos físicos no domínio quântico, permitem associar causa e efeito nos resultados experimentais obtidos neste domínio. Desta forma, essa interpretação sugerida não era ainda comprovada experimentalmente, mas permitia interpretar a TQ sob um diferente ponto de vista que não estava presente no quadro da interpretação de Copenhagen. No entanto, como o próprio Bohm destaca:

“[...] meu propósito principal não tinha sido provar uma nova teoria definitiva, mas principalmente mostrar, com auxílio de um exemplo concreto, que interpretações alternativas da teoria quântica eram possíveis. Em sua forma original, a teoria, embora consistente do ponto de vista lógico, tinha muitos aspectos que pareciam artificiais e insatisfatórios. Todavia, por mais artificiais que alguns deles fossem, a teoria parecia servir como um ponto de partida útil para desenvolvimentos posteriores, que poderiam modificá-la e enriquecê-la o suficiente para remover esses aspectos insatisfatórios.” (BOHM, 2015, p. 214)

⁷ “A primeira coisa que sugere leis causais é, evidentemente, a existência de uma relação regular que se mantém numa larga faixa de variação de condições. Quando encontramos tais regularidades, não supomos que elas tenham surgido de modo arbitrário, por capricho ou por coincidência.” (BOHM, 2015, p. 59)

⁸ Seriam variáveis que não conhecidas capazes de descrever o mundo atômico de forma determinística. Fala-se, deste modo, num criptodeterminismo.

O intuito, portanto, da escrita dos artigos de Bohm foi demonstrar que interpretações alternativas à interpretação de Copenhagen eram possíveis. Nesse sentido, os artigos demonstraram para a comunidade acadêmica que eram possíveis outras interpretações da TQ e, assim, conforme destaca Freire Jr (2003), confrontar a monocracia da interpretação de Copenhagen vigente até a escrita desses artigos.

Muitos cientistas elogiaram a nova proposta de interpretação da TQ de David Bohm. Podemos destacar, a título ilustrativo, Einstein que também defendia uma interpretação causal para esta teoria, e De Broglie que, décadas atrás, havia sugerido uma interpretação semelhante. Por outro lado, muitos também foram os que não viram sentido no seu trabalho (HEISENBERG, 1987), porque, afinal de contas, já existia a interpretação de Copenhagen que dava conta dos resultados experimentais. Assim, alguns de seus opositores acusaram-no de ter motivações restritamente ideológicas para tal empreendimento, dentre outros motivos sugeridos por Freire Jr (1999).

De qualquer forma, tal como mencionamos na introdução, a interpretação alternativa de David Bohm modificou a controvérsia entre interpretações da TQ entre os membros da comunidade científica de sua época. Uma vez que ela abalou a monocracia da interpretação de Copenhagen, marcando um novo período de controvérsias entre interpretações da TQ (FREIRE JR, 2003). Esse período, chamado de intermediário, é marcado como a transição entre a controvérsia ser restritamente filosófica, sem influenciar na física propriamente dita perante a comunidade de cientistas (caracterizando o primeiro período de 1927 até 1950), e a institucionalização da controvérsia em 1970 com a formação de uma nova área da física – fundamentos da física – marcada pela criação de uma revista especializada e um congresso. Nesse sentido, o trabalho de Bohm foi fundamental para a transição do estatuto da controvérsia entre interpretações da TQ dentro da comunidade científica, estando ele próprio sujeito a modificações na trajetória de desenvolvimento de sua proposta.

David Bohm reconhecia a existência de aspectos insatisfatórios de sua proposta original e a entendia como um bom ponto de partida que poderia melhorar com desenvolvimentos futuros. Tais desenvolvimentos viriam da sua retificação perante as críticas recebidas da comunidade científica, assim, como novas ideias provenientes do ingresso de novos pesquisadores no seu programa de pesquisa

(FREIRE JR, 1999). Parte das críticas recebidas na sua proposta original foram direcionadas ao privilégio de leis causais em detrimento de leis probabilísticas, majoritariamente referentes a questões filosóficas e não ao formalismo matemático da sua interpretação, ou sua consistência lógica. Essas críticas foram importantes na continuidade da proposta de David Bohm, evidenciando a importância do controle social da comunidade acadêmica dentro do próprio desenvolvimento do seu trabalho. Por conseguinte, trabalhos posteriores foram escritos procurando responder a tais críticas (BOHM, 2015), gerando importantes flexões epistemológicas no desenvolvimento de sua interpretação alternativa (FREIRE JR, 1999).

As flexões epistemológicas dentro do trabalho de Bohm, podem ser percebidas na escrita de artigos e livros posteriores aos seus artigos publicados em 1952. Nesse sentido, Bohm escreveu artigos para enfrentar algumas das críticas recebidas, da mesma forma que também escreveu livros para responder estas críticas e, mais do que isso, difundir sua interpretação alternativa da TQ dentro da sociedade. A publicação desses livros e artigos demonstra também as características desse período de controvérsias entre interpretações da TQ, porque ainda não haviam revistas especializadas em fundamentos de física, assim, não havia um espaço específico para a circulação desta controvérsia. Nesse sentido, a controvérsia circulava em ambientes mais gerais, atingindo públicos maiores do que aquele restrito a comunidade científica que, de uma forma ou outra, ajudaram a institucionalização da controvérsia nas décadas seguintes.

Dentre esses trabalhos posteriores aos artigos originais, podemos destacar o livro “Causality and chance in modern physics” publicado em 1957 e, recentemente, traduzido para o português sob o título “Causalidade e acaso na física moderna”. Esse livro “[...] apresenta importantes flexões epistemológicas presentes nos artigos originais de 1952, a principal delas ligada ao estatuto epistemológico das leis causais.” (FREIRE JR, 1999, p. 124). Em comparação aos artigos originais, o livro coloca no mesmo estatuto de leis fundamentais da natureza leis probabilísticas e leis causais, o que não estava presente nos artigos originais de 1952 (FREIRE JR, 1999). Conforme podemos perceber logo no início do livro:

“Em resumo: os processos que ocorrem na natureza satisfazem leis que são mais gerais que as da causalidade, pois também podem satisfazer as leis do acaso e leis que tratam das relações entre causalidade e acaso.

Denominamos leis da natureza a categoria geral de lei que inclui as leis causais, as leis do acaso e as leis que relacionam ambas as classes de leis.” (BOHM, 2015, p. 58 e 59)

Essa flexão epistemológica teve forte influência das discussões que Bohm teve com o físico brasileiro Mário Schenberg, especialmente “[...] no sentido de uma reflexão filosófica, que o levou a uma flexibilização da defesa que fazia do papel do determinismo nas teorias científicas” (FREIRE JR, 1999, p. 83). Embora o livro “Causalidade e acaso na física moderna” tenha sido originalmente publicado quando David Bohm estava exilado em Israel, no ano de 1957, conforme destaca Freire Jr (1999), ele foi majoritariamente escrito enquanto o cientista estava exilado no Brasil. Inclusive, “[...] o primeiro esboço do próprio livro foi apresentado sob forma de seminários no antigo Departamento de Matemática da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, tendo como título ‘O conceito de causalidade em mecânica quântica’”(FREIRE JR, 1999, p.127). Desta forma, esse próprio livro de David Bohm atravessa a história da ciência no Brasil, tanto no sentido de ter sido escrito aqui quanto na influência de físicos brasileiros nas flexões epistemológicas presentes no livro.

Sem querer esgotar as questões políticas que levaram David Bohm a ser exilado, devemos destacar que o governo de seu país natal, os Estados Unidos, durante a década de 1950, estava em plena guerra fria contra a União Soviética. Perseguido, sob o período que ficou conhecido como macarthismo, cidadãos com posicionamentos políticos considerados como comunistas que eram veemente combatidos neste período naquele país. David Bohm que, além de trabalhar com Oppenheimer (coordenador do projeto Manhattan que chegou à bomba atômica), era filiado ao partido comunista estado-unidense, se tornou alvo de investigações do governo de seu país. Essas investigações eclodiram no exílio de David Bohm em 1951.

O exílio de David Bohm começou no Brasil ocupando uma cátedra na USP entre outubro de 1951 e janeiro de 1955, contando com a influência de seu amigo pessoal Einstein para sua vinda (FREIRE JR, 1999). Desse modo, a publicação dos

seus artigos originais na “Physical Review” aconteceram enquanto o cientista estava em terras tupiniquins, embora eles não tenham sido escritos aqui.

Na década de 70, Bohm se aproximou do filósofo indiano Krishnamurti (FREIRE JR, 1999), por perceber ligações com o pensamento dele e sua interpretação da teoria quântica. Essas ligações se devem por Krishnamurti também acreditar que uma dicotomia entre observador e observado ser artificial, que, de acordo com Bohm, é uma questão essencial da FQ. Durante esse período, Bohm desenvolveu o programa da ordem implicada, em que concebia um universo totalmente interconectado. Além do mais, essa aproximação também contribuiu para um reconhecimento mútuo entre as tradições ocidental e oriental.

3.2 ASPECTOS GERAIS DO LIVRO E DE SUA ANÁLISE

Nas próximas seções deste capítulo, vamos analisar o livro “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm. Essa análise será feita procurando evidências na materialidade textual da obra, seguindo a concepção de controvérsia interna à comunidade científica que derivamos da noção de controle social de Bachelard. Acreditamos que essa análise ajudará a entender melhor a controvérsia entre interpretações da TQ, especificamente, na textualização da controvérsia presente na obra dos cientistas. Permitindo um entendimento das marcas presentes na materialidade textual do livro que evidenciam algumas das características dessa controvérsia.

Particularmente, essa análise ajudará no maior entendimento do período de transformação do estatuto da controvérsia perante a comunidade científica, uma vez que este livro foi, originalmente, publicado em 1957. Desta forma, como não haviam revistas e congressos especializados na controvérsia nessa época, marcada pelo 2º período histórico (FREIRE JR, 2003), a escrita de livros era a forma mais natural que se tinha para circulação desta temática. Pois não havia ainda nesse período intermediário o espaço institucionalizado de fundamentos da física, ou, especificamente, fundamentos da TQ que viria ser formado apenas na década de 70.

Além disso, o livro permite uma descrição mais pormenorizada da interpretação da TQ de David Bohm, permitindo maior explanação e discussão de suas ideias, o que não foi possível na publicação de seus artigos. Conforme destaca Freire Jr (1999), esse livro teve forte influência da motivação de Bohm por questões filosóficas. Nesse sentido, a publicação desse livro possibilitou uma maior difusão de sua interpretação da TQ, a fim de explicar em maiores detalhes os aspectos filosóficos de sua interpretação.

Um importante aspecto desse livro de David Bohm, que veremos em maiores detalhes a seguir, é que, reiteradamente, a interpretação de Copenhagen aparece na materialidade da obra como “interpretação usual” da TQ. Marcando, desta forma, na própria textualização do livro a monocracia dessa interpretação, que embora tivesse sua monocracia abalada ainda era a interpretação usual no 2º período histórico de

controvérsia entre interpretações da TQ (FREIRE JR, 2003). Deste modo, o fato de haver essa “interpretação usual” da TQ coloca qualquer outra interpretação como alternativa, já que esta teoria possui uma interpretação usual. Porém, mesmo chamando a interpretação de Copenhagen de “interpretação usual”, Bohm faz renascer a controvérsia por colocar em polêmica esta interpretação e permitir interpretações alternativas que indicam um caminho de pesquisa alternativo.

Neste livro, Bohm defende filosoficamente sua interpretação da TQ, sem apresentar minuciosamente o seu formalismo matemático, procurando construir uma interpretação alternativa (e uma linha de pesquisa) à interpretação de Copenhagen. Isso é característico do formato da publicação ser livro, pois as únicas revistas especializadas em física na época tinham de ter uma explanação matemática e não permitiam discussões filosóficas em maiores detalhes. Assim, nos livros os cientistas podiam explicar de forma diferente dos artigos, permitindo abordagens filosóficas maiores do que as permitidas nos artigos. Nesse sentido, Bohm procura demonstrar ao leitor que uma interpretação alternativa seria capaz de reproduzir os mesmos resultados com uma visão filosófica diferente, gerando uma nova linha de pesquisa capaz de estudar os fenômenos quânticos sob outra perspectiva.

Assim, um dos papéis desta obra de David Bohm é divulgar a sua interpretação alternativa e convencer pesquisadores a seguir sua linha de pesquisa pelo argumento filosófico de que seus pressupostos são mais pertinentes do que aqueles da “interpretação usual”. O que influenciou na própria institucionalização da controvérsia, gerando, décadas mais tarde, uma revista especializada em fundamentos da física.

O livro “Causalidade e acaso na física moderna” de Bohm possui 5 capítulos, onde cada um deles possui, pelo menos, 9 seções. Cada capítulo tem uma certa autonomia, pois a discussão se detém num determinado ponto. No primeiro capítulo, chamado de “Causalidade e acaso na lei natural”, se discute as leis da natureza de maneira geral. No segundo capítulo, chamado de “Causalidade e acaso na física clássica: a filosofia do mecanicismo”, se discute as leis da física clássica, caracterizando que os físicos clássicos seguiam a filosofia do mecanicismo determinista, e apresentando, brevemente, que os físicos modernos (físicos do século XX) seguem uma nova filosofia mecanicista que não se enquadra mais no determinismo, mas num indeterminismo. De qualquer forma, ambas filosofias

defendem que o enquadramento da física segue “[...] um tipo fundamental, final e básico de lei puramente quantitativa [...]” (BOHM, 2015, p. 145). No terceiro capítulo, chamado de “Teoria quântica”, se discute a interpretação usual da teoria quântica com a colocação de um contraponto, e demonstrando no final que os físicos defensores desta interpretação seguem o ideal do mecanicismo indeterminista. No quarto capítulo, chamado de “Interpretações alternativas da teoria quântica”, como o próprio nome sugere se discute a interpretação alternativa de David Bohm. Por fim, no quinto capítulo, chamado de “Um conceito mais geral de lei natural”, se discute uma visão mais geral sobre o papel da ciência, defendendo que não se deve nunca aceitar as teorias como finais e absolutas, não estando sujeitas a correções e modificações.

Nossa análise irá se aprofundar no terceiro capítulo, entendendo como a interpretação alternativa de Bohm surge em controvérsia com a interpretação usual, seguindo as características de controvérsia que derivamos da noção de controle social de Bachelard. No entanto, discutiremos as demais partes do livro quando acharmos apropriado para um melhor entendimento. Destacamos que nossa análise não se dará apenas no capítulo 4, onde Bohm apresenta em maiores detalhes a sua interpretação alternativa da teoria quântica, porque nosso interesse não é adentrar nesta interpretação propriamente dita, mas entender como esta interpretação aparece dentro da controvérsia na materialidade textual do livro.

3.3 A INTERPRETAÇÃO ALTERNATIVA EM CONTROVÉRSIA COM A INTERPRETAÇÃO USUAL

O primeiro aspecto que analisaremos na materialidade textual da obra de Bohm, diz respeito à formação da sua “interpretação alternativa” da TQ pela controvérsia com a “interpretação usual”. Isto é, a “interpretação alternativa” surge enquanto uma diferente abordagem da TQ, que não é realizada pela “interpretação usual” ou mesmo no que ela quer que se renuncie na TQ. Desta forma, a discussão do controle social bachelardiano realizada no capítulo anterior, especialmente na concepção de controvérsia que derivamos dela, será fundamental para elucidar a formação da interpretação alternativa de Bohm a partir da controvérsia com a interpretação usual.

Desta forma, analisaremos majoritariamente o capítulo 3 – chamado de TQ – do livro “Causalidade e acaso na Física moderna”. Nesse capítulo, Bohm retoma algumas noções gerais da TQ, dedicando atenção especial aos posicionamentos da “interpretação usual” acompanhado de um ponto de vista oposto. Bohm não utiliza explicitamente nesse capítulo o termo “interpretação alternativa” enquanto discute e confronta o ponto de vista da “interpretação usual”, porém vai construindo pela controvérsia com esta interpretação caminhos alternativos de pesquisa, que no capítulo 4 – Interpretações alternativas da TQ – serão detalhadamente explorados. Nesse sentido, o mecanismo utilizado consiste, primeiro na sugestão de caminhos alternativos à interpretação usual através da controvérsia e, posteriormente, na sugestão, propriamente dita, de uma interpretação alternativa.

Assim, dentro desse mecanismo, o capítulo 3 vai apresentando ao leitor caminhos alternativos de interpretação e de pesquisa através da controvérsia com a “interpretação usual” da TQ, demonstrando e procurando convencê-lo da possibilidade de uma “interpretação alternativa da TQ”.

Nas próprias palavras de Bohm no início do capítulo 3:

[...] o principal propósito da discussão será ajudar a destacar com mais clareza todas as implicações da interpretação usual da teoria quântica, com a introdução de um ponto de vista oposto como uma espécie de canhoto [counterfoil] que serve para mostrar aquilo que o ponto de vista usual nega” (BOHM, 2015, p 170)

Conforme o destaque do capítulo 3 do livro, Bohm apresentará as implicações da “interpretação usual” com um ponto de vista oposto, abrindo uma controvérsia num contexto em que havia um certo consenso estabelecido, sobre as maneiras de interpretar a TQ. Porque, de acordo com Freire Jr (2003), havia um consenso dentro da comunidade de físicos sobre a interpretação de Copenhagen ser adequada até a década de 1950, isto é, essa interpretação era tida como “usual”. Continuando usual dentro da comunidade de científica mesmo que no, segundo período histórico, já não fosse uma monocracia. Desta forma, a utilização do termo “ponto de vista oposto” enfatiza que o interesse de Bohm é reascender a controvérsia sobre fundamentos da TQ, mesmo aceitando e reconhecendo que havia uma interpretação usual. Contudo, a existência dessa interpretação usual não elimina a possibilidade de criticá-la e construir interpretações alternativas.

O “ponto de vista oposto” à “interpretação usual” da TQ permite a abertura de um caminho alternativo de interpretação desta teoria, também enquanto programa de pesquisa. Essa construção que “serve para mostrar aquilo que o ponto de vista usual nega” caracteriza um elemento da concepção de controvérsia interna à comunidade científica que derivamos da noção de controle social de Bachelard, isto é, o ponto de vista de um cientista surge em controvérsia ao posicionamento do outro, ou ao posicionamento dos demais membros da comunidade científica em questão.

Durante o capítulo 3 do livro, Bohm vai indicando aos leitores rotas alternativas de pesquisa para a TQ através da controvérsia com a “interpretação usual” da TQ e seu programa de pesquisa. Assim, a controvérsia entre a “interpretação usual” com possíveis interpretações alternativas, vai demonstrando ao leitor implicitamente a “interpretação alternativa” de Bohm pela retomada da polemização onde já havia um consenso. Porque como o próprio Bohm destaca no capítulo 4 – em que o autor explora em mais detalhe sua interpretação –, um dos propósitos da construção de sua “interpretação alternativa” é “[...] especificar as críticas à interpretação usual da mecânica quântica, feitas no capítulo III.”(DAVID BOHM, 2015, p. 206). Isto é, as críticas presentes no capítulo 3 demonstram as proposições da “interpretação alternativa” de David Bohm através da controvérsia com a “interpretação usual”.

Nesse sentido, vejamos como aparece a controvérsia com a “interpretação usual” e a abertura de caminhos alternativos de interpretação da TQ e de linhas de pesquisa na materialidade textual do livro, que como vimos, é produto de um contexto e de um sujeito em contexto. Para demonstrar essa controvérsia na materialidade textual do livro, seguimos, como já colocamos, a noção de textualização presente em Silva (2014).

Para enfatizar a controvérsia, destacamos em sublinhado as implicações da “interpretação usual”, e com **negrito** os caminhos alternativos de pesquisa à “interpretação usual”, no que vai caracterizando a “interpretação alternativa” de Bohm. Primeiramente, no que diz respeito à possibilidade de descrições causais na TQ.

3.3.1 Sobre a possibilidade de descrições causais:

Essa unidade de análise irá discutir a controvérsia sobre a possibilidade de descrições causais⁹ na TQ na textualização da obra “Causalidade e acaso na Física Moderna” de David Bohm. Veremos que a sugestão de um caminho alternativo à “interpretação usual” da TQ, que se materializa na “interpretação alternativa” de David Bohm, acontece pela controvérsia de haver ou não a possibilidade de descrições causais. Indicando, deste modo, a controvérsia interna à comunidade científica que derivamos do controle social da epistemologia de Bachelard. Notadamente, na primeira característica que destacamos dela, isto é, da materialização do pensamento de um cientista se definir em controvérsia com o pensamento dos demais membros do grupo científico.

Caso 1. “[...] poder-se-ia supor que, no estágio atual, a teoria quântica também não é completa o suficiente para tratar individualmente todos os detalhes precisos dos movimentos dos elétrons, de quanta de luz etc. **Para tratar tais detalhes**, deveríamos nos dirigir a **algum nível mais profundo**, ainda desconhecido, **o qual possui, com o nível atômico, a mesma relação**

⁹ “[...] começa-se a considerar a possibilidade de que, nos processos pelos quais uma coisa provém de outras, a constância de certas relações, numa ampla variedade de transformações e de mudanças, não seja coincidência. Ao contrário, essa constância pode ser interpretada no sentido em que tais relações são necessárias, não poderiam ser de outro modo, pois são aspectos inerentes e essenciais do que as coisas são. As relações necessárias entre objetos, eventos ou condições, num dado intervalo ou em intervalos posteriores, são então denominadas leis causais.” (BOHM, 2015, p. 56)

que o nível atômico, possui com o do movimento browniano.” (BOHM, 2015, p. 170, grifos nossos)

Conforme podemos ver em sublinhado, a “interpretação usual da teoria quântica” não é capaz de descrever individualmente e precisamente os detalhes, isto é, em termos causais, dos movimentos dos objetos quânticos. Indicando, assim, que dentro do programa de pesquisa da “intepretação usual” não são possíveis tais descrições. Por outro lado, conforme podemos ver em **negrito**, Bohm, através de uma controvérsia, faz a sugestão de uma rota alternativa de pesquisa que poderia permitir tais descrições desde que se dirigisse a um nível mais profundo.

Esse nível mais profundo tendo uma relação com o nível atômico da mesma forma que o nível atômico tem com o movimento browniano, porque “[...] no caso do movimento browniano, postulou-se que os movimentos visíveis e irregulares das partículas de esporo se originavam no nível mais profundo, invisível, dos movimentos atômicos” (ibid., p. 170). Assim, mesmo que não se conheça as origens dos movimentos dos objetos atômicos no nível atômico, tais origens podem estar num nível mais profundo da mesma forma que a relação entre o movimento browniano e o nível atômico.

Desta forma, Bohm apresenta um caminho alternativo à falta de descrições causais na interpretação usual se utilizando da experiência de outras áreas da física, no intuito de demonstrar ao leitor que não foram “[...] todos os fatores que determinavam as mudanças irregulares no movimento browniano existiam no nível desse movimento.” (ibid., p. 170). Essa é uma forma de Bohm convencer o leitor de que são possíveis descrições causais na TQ se utilizando de forma analógica do exemplo bem-sucedido do movimento browniano, permitindo uma “interpretação alternativa” da TQ seguindo este modelo. Indicando, desta forma, um caminho alternativo de pesquisa ao programa da interpretação usual que permite conhecer algo que ainda não se conhece, isto é, um “nível mais profundo” ao nível quântico.

Cabe destacar também que se trata de suposições – conforme podemos ver no início do extrato – especificando que se trata de uma controvérsia no campo filosófico, característica fundamental deste livro (FREIRE JR, 1999) e do

desenvolvimento do campo de fundamentos de mecânica quântica, em que nesse período da década de 50 se caracterizava por discussões filosóficas sem um espaço institucional especializado no tema (FREIRE JR, 2003).

Caso 2. “Se admitirmos que nem todo quadro conceitual da teoria quântica existente pode ser adequado para tratar todas as propriedades detalhadas dos sistemas individuais, então abre-se **um número ilimitado de novas possibilidades, desde que as propriedades do nível mais profundo**, até agora desconhecidas, **estejam à nossa disposição**.” (BOHM, 2015, p. 171, grifos nossos)

Novamente, em sublinhado destacamos que na “interpretação usual” da TQ não é possível descrever de forma causal as propriedades dos objetos atômicos individuais. No entanto, em **negrito**, destacamos que tais descrições causais são possíveis desde que num nível mais profundo ao nível atômico se possa associar suas origens. Indicando, assim, uma rota alternativa de pesquisa à “interpretação usual da teoria quântica” pela controvérsia de que nesta interpretação “nem todo quadro conceitual pode ser adequado para tratar todas as propriedades detalhadas dos sistemas individuais”. A “interpretação usual” está implicitamente presente no termo “teoria quântica existente”, uma vez que esta interpretação era aceita dentro da comunidade acadêmica, sendo, deste modo, a TQ existente (FREIRE JR, 2003).

O uso do termo “teoria quântica existente” demonstra também o programa de pesquisa da “interpretação usual”, em que dentro deste programa não é possível haver descrições causais dos sistemas individuais. Porém, se o programa de pesquisa desta interpretação não for adequado, se abrem novos programas de pesquisa que sugerem – um “nível mais profundo” – em que tais descrições são possíveis. Assim, a abertura de um programa de pesquisa alternativo ao programa de pesquisa da “interpretação usual” vai, de forma entrelaçada, construindo uma “interpretação alternativa” pela controvérsia entre o programa de pesquisa daquela interpretação. Desta forma, a formação de uma “interpretação alternativa” pela controvérsia com a “interpretação usual” da TQ se dá, concomitantemente, com a formação de uma nova linha de pesquisa que não existe dentro do programa de pesquisa usual.

Caso 3. “[...] a atual teoria quântica não nos dá nenhum meio, mesmo em princípio, de prever como as medições individuais flutuarão¹⁰ de um caso para o seguinte. Mais do que isso, ela nem se quer possui algo que poderíamos, ao menos qualitativamente, considerar como sendo a origem de qualquer flutuação individual particular. Conforme já assinalamos, **podemos considerar a possibilidade de que tais flutuações se originem do movimento irregular de alguns tipos novos de entidades num nível mais profundo.**” (ibid., p. 180, grifos nossos)

Em sublinhado, destacamos que Bohm está enfatizando que na “interpretação usual da teoria quântica” não se têm nada, mesmo qualitativamente, que se possa associar a origem de qualquer flutuação individual particular. Indicando o que a “interpretação usual” renúncia, isto é, a existência de algum tipo de origem para as flutuações irregulares. Portanto, “a interpretação usual” está presente no extrato através do termo “atual teoria quântica”, porque, como já mencionamos, esta interpretação era a forma atual da TQ devido a monocracia da interpretação de Copenhagen no período anterior a década de 1950 (FREIRE JR, 2003).

Em **negrito**, Bohm indica, através da controvérsia com a “interpretação usual”, que existe uma rota alternativa de pesquisa em que há a possibilidade de que tais flutuações se originem do movimento irregular de alguns tipos novos de entidades num nível mais profundo, não sendo necessário se renunciar descrições causais no domínio atômico. Novamente, demonstrando o entrelaçamento entre programa de pesquisa alternativo e interpretação alternativa da TQ.

A difusão de sua “interpretação alternativa” e convencimento de novos adeptos a esta linha de pesquisa, se dá pela justificativa do que a “interpretação usual” quer que se renuncie, indicando que em “interpretações alternativas” não é necessário que se faça essa renúncia. Procurando convencer os leitores que buscam seguir

¹⁰ “[...] supõe-se que fenômenos físicos reais e observáveis não têm causa, pois já dispomos de dispositivos observacionais suficientemente sensíveis para responder de modo macroscopicamente observável às propriedades de átomos individuais e de quanta individuais de radiação eletromagnética (por exemplo, contadores Geiger, câmaras de Wilson, contadores de cintilação etc.) No entanto, as medições realizadas em tais dispositivos produzem resultados que mostram uma flutuação irregular de uma observação para a seguinte, com o comportamento médio regular de um agregado estatístico contendo um grande número de observações.” (BOHM, 2015, p. 180)

linhas de pesquisa em que há descrição causal para as flutuações irregulares nas medições no domínio quântico. Assim, o caminho de interpretação alternativo à interpretação usual, surge em controvérsia com esta interpretação, enfatizando a primeira característica da concepção de controvérsia interna à comunidade científica que discutimos no capítulo anterior.

Não se trata do aspecto quantitativo de descrições causais, nesse extrato, mas da possibilidade em princípio que há para compreender em termos causais as flutuações irregulares individuais. Novamente, indicando uma rota alternativa em termos filosóficos à interpretação usual, sem discutir a formalização matemática ou a realização experimental.

Caso 4. “[...] **na interpretação usual da teoria quântica, não se supõe que as magnitudes precisas das flutuações irregulares nos resultados das medições individuais no nível atômico sejam determinadas por quaisquer tipos de causas, conhecidas ou desconhecidas.** Em vez disso, supõe-se que em qualquer experimento particular será obtido um resultado preciso mas completamente arbitrário, no sentido de que não possui qualquer relação com algo mais que exista, ou já tenha existido, no Universo. Assim, temos um exemplo de concepção de flutuações “completamente desprovidas de lei” que discutimos na seção 16 do capítulo II.” (ibid., p. 181, grifos nossos)

Em **negrito**, destacamos que a “interpretação usual da teoria quântica” não supõe que as flutuações irregulares nas medições individuais sejam determinadas por qualquer tipo de causa. Essa expressão negativa do que a interpretação usual não supõe, indica que é possível fazer tal suposição numa rota alternativa à interpretação usual. Evidenciando no termo “não supõe” o que a interpretação usual não possui, mas que é possível haver num caminho alternativo de pesquisa. Esse caminho alternativo de pesquisa, surge na controvérsia de fazer a suposição ou não fazer, pois a “interpretação usual” não faz essa suposição, mas no caminho alternativo se pode fazer tal suposição.

Em sublinhado, destacamos que a interpretação usual supõe unicamente que os resultados experimentais são precisos, mas completamente arbitrários, não possuindo relação com qualquer outra coisa do Universo.

Da mesma forma que se pode supor que não se tem qualquer tipo de causa para as flutuações irregulares nos resultados das medidas experimentais individuais

em regime atômico, também se pode supor que essas flutuações tenham algum tipo de causa associada, mesmo que desconhecida. Portanto, temos de escolher qual suposição fazer. Demonstrando, mais uma vez, a controvérsia no campo filosófico indicando qual suposição escolher e, desta forma, seguindo seus respectivos programas de pesquisa.

Se percebe também, discretamente, na forma em que Bohm retoma as implicações da interpretação usual, uma inclinação para a escolha de linhas de pesquisa com descrições causais. Por que, afinal de contas, optar por descrições sem nenhuma causa em detrimento de descrições causais? Uma vez que o campo da física era baseado desde sua fundação nos pressupostos da causalidade, porque abrir mão de tais pressupostos na TQ?

O trecho que está em *itálico e sublinhado*, representa a retomada direta que Bohm faz com os capítulos precedentes do livro, quando faz discussões filosóficas mais gerais sobre a causalidade e o acaso nas leis naturais e discute a filosofia do mecanicismo. Nesse sentido, devemos refletir sobre alguns pontos dos capítulos precedentes.

O que Bohm destaca, em sublinhado, é que, dentro da interpretação usual, as flutuações irregulares obtidas no regime quântico, são diferentes de todas as demais flutuações irregulares que se têm: porque os resultados experimentais são precisos, mas completamente arbitrários, e, desta forma, não se relacionam com nada mais que há no Universo. Bohm, então, retoma indiretamente o exemplo, discutido no primeiro capítulo do livro (causalidade e acaso em ciência natural), sobre acidentes automobilísticos para discutir sobre os tipos de causas conhecidas e desconhecidas, através dos caminhos alternativos de pesquisa que estão em **negrito**. Mesmo que não possa prever todas as causas dos acidentes, se acredita que tais causas existem, sendo que algumas delas possam ser conhecidas e outras desconhecidas.

Por outro lado, no destaque em sublinhado, na interpretação usual não se têm causas conhecidas ou desconhecidas nas flutuações irregulares por não se ter qualquer relação com qualquer outra coisa que possa existir no Universo. Colocando uma peculiaridade na interpretação usual da TQ que causa certa estranheza, pois não há nada semelhante nas demais teorias.

Em *sublinhado e itálico*, parece uma retomada direta com o capítulo II (causalidade e acaso na física clássica: a filosofia do mecanicismo), na consideração que a interpretação usual considera as flutuações “completamente desprovidas de lei”. Para entender melhor essa discussão que Bohm faz aqui, devemos nos dirigir a seção sugerida. No entanto, cabe destacar, que há um equívoco: não se trata da seção 16 do capítulo II, pois ela nem sequer existe, mas a seção 14 do mesmo capítulo (um novo ponto de vista em probabilidade e lei estatística: o mecanicismo indeterminista).

Na seção 14 do capítulo II, Bohm faz uma discussão da filosofia do mecanicismo indeterminista. A filosofia do mecanicismo é compreendida como: “[...] a suposição de que tudo no Universo inteiro pode ser reduzido, de modo completo e perfeito, a efeitos de parâmetros mecânicos que estão submetidos a mudanças puramente quantitativas.” (BOHM, 2015, p. 146). Nesse sentido, a filosofia mecanicista indeterminista corresponde “[...] a noção de que uma genuína distribuição aleatória de objetos ou eventos aos quais aplicamos a teoria das probabilidades não existem quaisquer relações causais, e a distribuição é completamente ‘desprovida de leis’”(BOHM, 2015, p. 146 e 147). Caracterizando, assim, de acordo com a “interpretação usual”, que as flutuações irregulares dos resultados experimentais em regime atômico, seriam completamente desprovidas de lei – não havendo qualquer coisa que se possa chamar de causa ou origem para elas, porque “não possui qualquer relação com algo mais que exista, ou já tenha existido, no Universo”. Portanto, o posicionamento da “interpretação usual” é considerado como um mecanicismo indeterminista de acordo com Bohm, por acreditar que as flutuações irregulares das medições individuais são completamente desprovidas de lei.

Caso 5. “[...] **poder-se-ia talvez ter a impressão de que as flutuações irregulares das medições das propriedades dos átomos individuais possuem uma causa, pois elas foram imputadas à perturbação do objeto observado pelo dispositivo de medição.** No entanto, uma análise mais cuidadosa mostra que não se pode fazer nenhuma atribuição precisa e consistente de causas no quadro da interpretação usual da teoria quântica, pois o dispositivo observacional também está sujeito às leis da teoria quântica [...] Por conseguinte, na interpretação usual da teoria quântica não há motivo para supor fatores causais adicionais, aos quais se poderia, mesmo em princípio, imputar a origem dos detalhes precisos das flutuações irregulares

nos resultados das medições das propriedades dos átomos individuais.”
(BOHM, 2015, p. 182 e 183, grifos nossos)

Em **negrito**, destacamos que se poderia imaginar que as flutuações irregulares nos resultados das medidas individuais, em regime atômico, possuem algum tipo de causa, devido a perturbação que o objeto quântico sofre pelo dispositivo experimental, por exemplo. Indicando, desta forma, através de uma linha de pesquisa alternativa à “interpretação usual”, uma maneira de associar causas as flutuações irregulares das medições. Permitindo nesta linha de pesquisa descrições causais. Em sublinhado, destacamos que na “interpretação usual da teoria quântica” não há qualquer possibilidade de associar causas para as flutuações irregulares, mesmo em princípio. Salientando, implicitamente, que a “interpretação usual da teoria quântica” segue a filosofia do mecanicismo indeterminista em que as flutuações irregulares das medições são desprovidas de lei.

Evidenciando assim, novamente, a controvérsia entre a “interpretação usual” e interpretações causais da TQ. Enfatizando para os leitores que, dentro da “interpretação usual”, não se têm qualquer tipo de causa para entender as flutuações irregulares nos resultados experimentais no domínio quântico. Por outro lado, tais flutuações podem ser descobertas seguindo caminhos alternativos de pesquisa para a teoria atômica, onde a ideia da perturbação do instrumento de medida no objeto como causa destas flutuações serviria apenas como um exemplo para pensar na sua origem.

Caso 6. “[...] **na interpretação usual da teoria quântica a única escolha é abandonar completamente a noção de que os detalhes precisos das flutuações observáveis nos resultados das medições individuais no nível de precisão quântico tenham algum tipo de causa desconhecida; em vez disso, deve-se supor que esses detalhes sejam arbitrários e desprovidos de lei.**” (ibid., p. 183 e 184, grifos nossos)

Em **negrito**, destacamos que na “interpretação usual da teoria quântica” não possuímos qualquer maneira de entender causas para as flutuações irregulares nos

resultados individuais dos experimentos. Devemos assim, se seguir a linha de pesquisa da “interpretação usual”, abandonar completamente descrições causais. No entanto, essa forma de colocar em evidência o que a “interpretação usual” não considera no seu programa de pesquisa, permite entender que esta interpretação desconsidera que há possibilidade de que linhas alternativas de pesquisa considerem descrições causais para a TQ, seguindo interpretações alternativas. Assim, o caminho de pesquisa alternativo à “interpretação usual” surge na controvérsia de abandonar ou não descrições causais, em que neste caminho alternativo existe a possibilidade de haver descrições causais.

Em sublinhado, se evidencia que na “interpretação usual” devemos abrir mão de descrições causais, estando sujeitos, exclusivamente, a compreensões completamente arbitrárias e desprovidas de qualquer tipo de lei para o entendimento das flutuações dos resultados das medições individuais no nível quântico. Novamente, retomando que dentro do quadro da “interpretação usual da teoria quântica”, estamos sujeitos a filosofia do mecanicismo indeterminista.

Essa unidade de análise da controvérsia sobre a possibilidade de descrições causais na TQ, demonstra que dentro do quadro da interpretação usual não há possibilidade para tais descrições. Por outro lado, na controvérsia com essa implicação da interpretação usual, Bohm constrói argumentos para demonstrar que em caminhos alternativos de pesquisa possa haver descrições do tipo causal. Assim, mesmo que o termo “interpretação alternativa” não seja efetivamente expresso por Bohm nesse capítulo, a possibilidade de haver descrições causais no domínio atômico, implicitamente apresenta a interpretação alternativa como um caminho alternativo ao programa de pesquisa da interpretação usual.

Podemos perceber assim o mecanismo característico da controvérsia, que aparece pela retomada das implicações da “interpretação usual” com a proposição de um “ponto de vista oposto” que serve para evidenciar tais implicações e sugerir “interpretações alternativas” com novas linhas de pesquisa. Ou seja, o pensamento e posicionamento de David Bohm surge em controvérsia com o posicionamento do demais membros da comunidade científica, materializados na “interpretação usual”. Evidenciando a primeira característica da concepção de controvérsia interna à comunidade científica que derivamos da epistemologia de Bachelard.

3.3.2 Sobre a continuidade do movimento no domínio atômico:

Essa unidade de análise, demonstra a controvérsia sobre continuidade do movimento na TQ, evidenciando a possibilidade de “interpretações alternativas” por esta controvérsia. A controvérsia, nesse caso, acontece pela discussão do rastro, sob a forma de gotículas de prata, deixado pela passagem de um elétron livre de alta energia por uma chapa fotográfica. A controvérsia acontece, deste modo, sobre a possibilidade de se associar uma trajetória ou a noção de continuidade do movimento dos objetos quânticos.

Caso 7. **“Segundo nossa maneira habitual de raciocinar, suporíamos que o rastro das gotículas de prata indica que um elétron real se move continuamente pelo espaço numa trajetória mais ou menos próxima a elas, tendo causado, por interação, a formação das gotículas.** Porém, segundo a interpretação usual da teoria quântica, seria incorreto imaginar que isso realmente aconteceu. Tudo o que se pode dizer é que certas gotículas apareceram, mas não devemos **tentar imaginar que elas foram produzidas por um objeto real que se move no espaço da maneira como usualmente pensamos em objetos que se movem no espaço**: ainda que essa ideia de um objeto que se move continuamente seja boa o suficiente para uma teoria aproximada, descobriríamos que numa teoria muito exata ela sucumbiria.” (ibid., p. 185, grifos nossos)

Em **negrito**, destacamos a possibilidade de caminhos alternativos à “interpretação usual da teoria quântica”. Caminhos estes que seguem “nossa maneira habitual de raciocinar”, entendendo que o rastro deixado no experimento indica o movimento de um elétron real, utilizando esta forma como um convencimento dos leitores da plausibilidade de pensar no movimento real do elétron. Isto é, o objeto quântico apresenta uma trajetória aproximada de seu movimento. Logo, podemos falar da continuidade do movimento desse objeto.

Em sublinhado, destacamos a compreensão da “interpretação usual”, em que não se deve imaginar que as gotículas de prata demonstram a trajetória de um elétron real, mas só podemos “dizer é que certas gotículas apareceram”. Essa forma de

apresentar a “interpretação usual”, sugere um menosprezo a esta interpretação, pois ela simplesmente diz que as gotículas aparecem e não devemos imaginá-las como “nossa maneira habitual de raciocinar”. Isto é, “tentar imaginar que elas foram produzidas por um objeto real que se move no espaço da maneira como usualmente pensamos em objetos que se movem no espaço”, uma vez que essa forma de pensar estaria associada a um caminho alternativo à interpretação usual de pesquisa.

Podemos ver também que no extrato, Bohm não desenvolve uma maior discussão sobre o que corresponde “certas gotículas aparecerem” dentro da “interpretação usual”. Essa ideia é o ponto do positivismo da interpretação usual¹¹, que de forma breve e superficial, se trata de se ater exclusivamente aos resultados experimentais, sem entendê-los como propriedades exclusivas dos objetos investigados, independentes dos meios de observação, isto é, da aparelhagem experimental. Essa complexidade que Bohm omite no extrato, serve para convencer o leitor de que o caminho alternativo à “interpretação usual” parece ser mais coerente, porque além de tudo ele segue “nossa maneira habitual de raciocinar” e não está unicamente atenta para dizer que “certas gotículas apareceram”.

Podemos perceber assim o mecanismo característico da controvérsia, que aparece pela retomada das implicações da “interpretação usual” com a proposição de um “ponto de vista oposto” que serve para evidenciar tais implicações e sugerir “interpretações alternativas” com novas linhas de pesquisa. Ou seja, o pensamento e posicionamento de David Bohm surge em controvérsia com o posicionamento do demais membros da comunidade científica, materializados na “interpretação usual”.

¹¹ “[...] a impossibilidade de qualquer separação nítida entre o comportamento dos objetos atômicos e a interação com os instrumentos de medida que servem para definir as condições em que os fenômenos aparecem. De fato, a individualidade dos efeitos quânticos típicos encontra expressão apropriada no fato de que qualquer tentativa de subdividir os fenômenos exige uma mudança do arranjo experimental, introduzindo novas possibilidades de interação entre os objetos e os instrumentos de medida, as quais, em princípio, não podem ser controladas. Conseqüentemente, os dados obtidos em diferentes condições experimentais não podem ser compreendidos dentro de um quadro único, mas devem ser considerados complementares, no sentido de que só a totalidade dos fenômenos esgota as informações possíveis sobre os objetos. Nessas circunstâncias, há um elemento essencial de ambigüidade quando se conferem atributos físicos convencionais aos objetos atômicos, como logo se evidencia no dilema relativo às propriedades corpusculares e ondulatórias de elétrons e fótons, no qual lidamos com imagens contrastantes, cada qual referindo-se a um aspecto essencial dos dados empíricos.” (BOHR, 2008, p. 51) Para o leitor que deseja estudar em maiores detalhes este positivismo, sugerimos o livro de Pessoa Jr (2006).

3.3.3 Sobre o princípio da complementaridade e o uso de conceitos bem-definidos:

O princípio da complementaridade¹² foi elaborado por Niels Bohr para poder dar conta do entendimento dos resultados experimentais, sugerindo uma conciliação entre os aspectos antagônicos que apareciam sob diferentes condições experimentais. Um exemplo desses aspectos é a observação de um padrão de interferência, característica tipicamente ondulatória, no anteparo do experimento da dupla fenda com ambas fendas abertas e realizada com objetos quânticos individuais. Na realização experimental com apenas uma fenda aberta, o padrão de interferência some e podemos ver uma concentração de objetos quânticos no anteparo na direção da fenda que está aberta, característica tipicamente corpuscular. Bohr resolve essa contradição entre resultados sob diferentes condições experimentais, entendendo que existe uma complementaridade entre os aspectos ondulatórios e corpusculares que são mutuamente excludentes, por aparecem sob diferentes condições experimentais e nunca juntos, e complementares no sentido de permitirem um completo entendimento dos resultados experimentais se levados em conta ambos aspectos.

Novamente, Bohm questiona as implicações do princípio da complementaridade e, por esta controvérsia, sugere um caminho alternativo à “interpretação usual” com uma linha de pesquisa diferente. Vejamos:

Caso 8. “Em lugar de um modelo conceitual precisamente definível, o princípio de complementaridade enuncia que estamos restritos a pares complementares de conceitos inerentemente definidos de modo impreciso.

¹² “Em especial, convém enfatizar que os quanta de luz não podem ser considerados como partículas a que se possa atribuir uma trajetória bem definida, no sentido da mecânica usual. A figura de interferência desaparece se, para nos certificar de que a energia da luz se propaga por apenas um dos dois caminhos entre a fonte e o anteparo, interrompermos um dos feixes com um corpo não transparente; da mesma forma, em qualquer fenômeno para o qual a constituição ondulatória da luz seja essencial, é impossível precisar a trajetória dos quanta individuais de luz sem perturbar essencialmente o fenômeno em processo de investigação. Na verdade, nossa imagem da propagação espacialmente contínua da luz e a atomicidade dos efeitos luminosos são aspectos complementares, no sentido de descreverem características igualmente importantes dos fenômenos luminosos. Elas nunca podem ser colocadas em contradição direta umas com as outras, já que sua análise mais minuciosa, em termos mecânicos, requer arranjos experimentais mutuamente excludentes. Essa mesma situação obriga-nos a renunciar a uma explicação causal completa dos fenômenos da luz e a nos contentar com leis probabilísticas[...].” (BOHR, 2008, p. 7 e 8)

tais como posição e momentum, onda e partícula etc. O grau máximo de precisão de um ou de outro membro do par é relacionado ao do membro oposto. As condições experimentais específicas determinam então como cada membro do par é relacionado ao do membro oposto. [...] Supõe-se que não é possível propor **algum conceito geral único que represente todos os aspectos significativos do comportamento de um sistema individual.**” (BOHM, 2015, p. 190, grifos nossos)

Em **negrito**, destacamos que um caminho alternativo à “interpretação usual” procura modelos conceituais bem-definidos dos sistemas individuais dentro da TQ. Podemos entender melhor essa ideia na proposição que Bohm faz quanto a dualidade onda partícula, considerando um único conceito que seja onda e partícula juntos¹³, uma espécie de partícula-onda. Em sublinhado, destacamos que a “interpretação usual da teoria quântica” quer que se substitua modelos conceituais precisamente definíveis (parte que está em negrito) por pares complementares de conceitos definidos de modo impreciso.

Essa forma de fazer a exposição, deixa a pergunta no ar da razão de se substituir conceitos bem-definidos por conceitos definidos de modo impreciso, como uma estratégia argumentativa para defender que os caminhos alternativos à “interpretação usual da teoria quântica” são melhores. Por quê, afinal de contas, substituir conceitos bem-definidos por pares complementares de conceitos definidos de modo impreciso? Essa simplicidade da exposição, sem entrar nos detalhes do princípio da complementaridade, omitindo a sua complexidade, surge como uma estratégia argumentativa de Bohm com o objetivo de convencer novos adeptos a sua linha de pesquisa. Uma vez que, aparentemente, não faz sentido fazer tal substituição.

Caso 9. **“O passo essencial dado por Bohr foi demonstrar que as leis da teoria quântica permitem que se renuncie consistentemente à noção de modelos conceituais precisamente definidos, em favor daquela de pares complementares de modelos definidos de maneira imprecisa.** Ele provou que

¹³ “No domínio quântico, a matéria, sob diferentes condições, pode apresentar comportamento ondulatório ou corpuscular. Assim, é evidente que os conceitos de onda e partícula são por si mesmos incapazes de tratar de toda a riqueza de propriedades demonstradas pela matéria nesse domínio. Diante desse problema, a primeira e mais simples ideia é que talvez a dificuldade surja porque as teorias existentes só admitem duas possibilidades: a de uma pura onda e a de uma pura partícula. Mas é possível que, em algum processo, onda e partícula possam estar presentes juntas em algum tipo de interconexão.” (BOHM, 2015, p. 215)

o uso desses pares fornece um modo possível de se discutir o comportamento da matéria em domínio quântico. Por outro lado, o ponto de vista geral de Bohr com respeito ao princípio da complementaridade vai ainda mais longe, pois a sua suposição de que **as propriedades básicas da matéria jamais podem ser compreendidas racionalmente, em termos de modelos unívocos e não ambíguos**, subentende que é necessário usar pares complementares de conceitos definidos imprecisamente para tratar detalhes de qualquer domínio que algum dia venha a ser investigado. Por conseguinte, deveremos considerar as limitações de nossos conceitos, implícitas no princípio de complementaridade, como algo absoluto e final. (BOHM, 2015, p. 190, grifos nossos)

Em **negrito**, destacamos pela controvérsia com a “interpretação usual” caminhos alternativos de pesquisa para a TQ. Isto é, em que não é necessário renunciar o uso de modelos conceituais precisamente definidos, unívocos e não ambíguos. No entanto, na “interpretação usual da teoria quântica”, conforme podemos ver em sublinhado, entende que se deve renunciar aos modelos conceituais bem-definidos “em favor daquela de pares complementares de modelos definidos de maneira imprecisa” no domínio da TQ. Vemos assim, mais uma vez, a construção de caminhos alternativos à interpretação usual através de uma controvérsia, isto é, sugerindo que o que não há dentro do quadro desta interpretação pode haver no quadro de uma interpretação alternativa.

Além disso, a “interpretação usual” entende que se deve usar esse mesmo par complementar em “qualquer domínio que algum dia venha a ser investigado”, colocando o princípio da complementaridade “como algo absoluto e final”. Essa compreensão da “interpretação usual” entende o estágio atual da TQ da época (da escrita do livro) como absolutamente correto e permanentemente no tempo.

Essa noção dogmática da validade universal do estágio atual da TQ da época é fortemente criticada por Bohm, e, assim, retificada dentro do quadro de sua “interpretação alternativa” marcando a segunda característica de controvérsia que derivamos da noção de controle social de Bachelard. Portanto, essa crítica e retificação que Bohm faz à compreensão da validade universal do estágio atual da TQ

da “interpretação usual” será nossa próxima unidade de análise que será discutida a seguir.

3.4 A INTERPRETAÇÃO ALTERNATIVA: CRÍTICA E RETIFICAÇÃO À INTERPRETAÇÃO USUAL

Essa unidade de análise irá demonstrar melhor a segunda característica da concepção de controvérsia interna à comunidade científica que derivamos do controle social da epistemologia de Bachelard, na textualização da obra “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm. Ou seja, a noção de que o posicionamento de um determinado cientista surgiu enquanto crítica e retificação ao posicionamento dos demais membros do grupo científico. Com isso, não queremos dizer que a primeira característica dessa concepção, analisada nas seções anteriores, não esteja presente nos extratos – afinal de contas, elas estão juntas –, mas que destacaremos em maiores detalhes a segunda característica nessa seção. Nesse caso analisado, veremos então a “interpretação alternativa” de David Bohm enquanto crítica e retificação ao posicionamento da “interpretação usual”.

Desse modo, a caracterização da controvérsia será, primeiro, na crítica ao dogmatismo da “interpretação usual” – ao considerá-la uma teoria absoluta e final, isto é, impossível de ser corrigida – e, depois, na retificação desta posição na própria constituição da “interpretação alternativa” de David Bohm. Portanto, essa análise será feita, majoritariamente, no capítulo 3 do livro, demonstrando a crítica ao posicionamento da “interpretação usual” e na sugestão de um caminho alternativo que, no capítulo seguinte, retifica este posicionamento na própria definição da “interpretação alternativa”.

Caso 1. “[...] a necessidade de se renunciar à causalidade, à continuidade, e à realidade objetiva dos micro-objetos individuais, **as quais nem decorrem dos fatos experimentais que fundamentam a mecânica quântica nem das equações matemáticas nas quais a teoria se expressa**. Antes, decorrem da suposição – usualmente implícita, em vez de explícita – de que certos aspectos associados com a atual formulação da teoria são absolutos e finais, no sentido em que jamais serão contrariados em teorias futuras e jamais se descobrirá serem eles aproximações que só valem em algum domínio limitado.” (BOHM, 2015, p. 193, grifos nossos)

Destacamos, em sublinhado, que a “interpretação usual” entende como absoluta e final a “atual formulação da teoria”. Indicando, desta forma, um caráter absolutista para esta interpretação. No entanto, como indicamos em **negrito**, pode ser que essa noção absolutista da “interpretação usual” seja contrariada em novas teorias, sendo a “a atual formulação da teoria” válida num determinado domínio limitado. Gerando, por essa controvérsia sobre ser ou não final e absoluta a “atual formulação da teoria”, caminhos alternativos de pesquisa em que não há necessidade de se renunciar “à causalidade, à continuidade, e à realidade objetiva dos micro-objetos individuais”. Assim, a “interpretação alternativa” da TQ de David Bohm aparece enquanto uma crítica ao absolutismo da “interpretação usual”, procurando determinar que é controverso considerar a “atual formulação da teoria” como absoluto e final.

Novamente, a discussão se dá no campo filosófico, enfatizando que se trata de uma “suposição” sem ter evidência nos “fatos experimentais que fundamentam a mecânica quântica nem das equações matemáticas nas quais a teoria se expressa”. Logo, a controvérsia se dá na suposição de ser ou não absoluta e final a “atual formulação da teoria”.

A forma textual que Bohm utiliza para enfatizar que se trata da “atual formulação da teoria”, ou “estágio atual”, ou “teoria quântica corrente”, ou “formulação corrente da teoria quântica”, serve para indicar ao leitor que a “interpretação usual” é restritamente verdadeira na atualidade da escrita do livro. Isto permite delimitar no tempo a verossimilhança da “interpretação usual” que, embora verdadeira, não é absoluta e final – essencialmente. Desta maneira, a ênfase dada a característica de validade temporal da “interpretação usual” expressa a crítica ao absolutismo desta interpretação, não à considerando, necessariamente, permanentemente verdadeira no tempo.

Ao longo do capítulo 3, Bohm utiliza, pelo menos, 21 vezes sinônimos para evidenciar que a “interpretação usual” se trata, exclusivamente, da forma corrente da TQ. Marcando, por conseguinte, a possibilidade de “interpretações alternativas” da TQ pela controvérsia com a “interpretação usual” na crítica e retificação ao seu absolutismo, procurando limitar sua validade.

Um exemplo que serve bem para ilustrar o tipo de crítica e retificação que é feita ao absolutismo da “interpretação usual” pode ser visto quanto ao princípio de indeterminação¹⁴. Vejamos:

Caso 2. “O fato de a teoria quântica subentender que a precisão de todo processo de medição estará sujeita às mesmas limitações últimas levou Heisenberg a considerar as relações de indeterminação, tal como $\Delta p \cdot \Delta x \cong h$, como a manifestação de um princípio geral fundamental e maximamente difuso, que opera na totalidade das leis naturais. Desse modo, **em vez de considerar as relações de indeterminação, primariamente, como uma dedução da teoria quântica em sua forma corrente**, Heisenberg postula que tais relações são uma lei básica da natureza; além disso, supõe que todas as outras leis têm que ser consistentes com elas. Assim, ele supõe que as relações de indeterminação teriam uma validade final e absoluta, que se manterá indefinidamente, mesmo que, como parece bastante plausível, a forma corrente da teoria quântica venha a ser corrigida, estendida ou mesmo mudada de um modo fundamental e revolucionário.” (BOHM, 2015, p. 175 e 176, grifos nossos)

Em sublinhado, destacamos que dentro do quadro da “interpretação usual” o princípio da indeterminação é considerado final e absoluto, isto é, correto com todas as demais teorias que existem e que poderão existir. Por outro lado, em **negrito**, destacamos a crítica e retificação que Bohm faz a esse absolutismo da “interpretação usual”.

Primeiro, destacando a crítica, marcada na passagem “teoria quântica em sua forma corrente” – em que a “interpretação usual” é apenas verdadeira, restritamente, na atualidade – e, depois, indicando que é “bastante plausível” que ela deva ser “corrigida, estendida ou mesmo mudada”. Essa caracterização sobre o absolutismo da “interpretação usual” demonstra a crítica e retificação que Bohm faz a esta interpretação. Temos assim de forma evidente a segunda característica da concepção

¹⁴ “Por isso o termo “princípio de indeterminação” é mais apropriado do que aquele comumente usado, “princípio de incerteza”. No que diz respeito a quaisquer variáveis de observáveis físicos, não se supõe que estas sejam apenas “incertas” para nós, em função de não sermos capazes de medi-las com total precisão. Antes, supõe-se que seu modo de ser próprio requer que sejam indeterminadas.” (BOHM, 2015, p. 178)

de controvérsia que derivamos da epistemologia Bachelard, no sentido de criticar os posicionamentos da comunidade científica e sugerir correções que indicam a direção do seu conhecimento.

Devemos retomar que as linhas de pesquisa alternativas ao programa de pesquisa da “interpretação usual” sugeridas pela controvérsia, indicavam a possibilidade que não é necessário renunciar descrições causais para a TQ, conforme vimos na seção precedente. A possibilidade de descrições causais surge enquanto retificação ao absolutismo da “interpretação usual” pela controvérsia de qual suposição fazer. Vejamos:

Caso 3. “[...] o princípio de indeterminação só precisa renunciar à causalidade se supusermos que ele tem uma validade final e absoluta (ou seja, sem aproximação e em todos domínios que venham a ser investigados pela física em algum momento). **Se supusermos que ele só se aplica com boa aproximação e em algum domínio limitado** (que é mais ou menos aquele no qual a teoria quântica atual seria aplicável), **então fica aberta a possibilidade de que novos tipos de leis causais sejam aplicáveis a novos domínios.**” (BOHM, 2015, p. 154 e 155, grifos nossos)

Destacamos em sublinhado, que somente se considerarmos a suposição da validade final e absoluta do princípio da indeterminação – como faz a “interpretação usual” – é necessário renunciar à causalidade. Porém, se admitir uma suposição que faz uma retificação a esse absolutismo da “interpretação usual”, que destacamos em **negrito**, geramos uma “interpretação alternativa” na controvérsia sobre qual suposição escolher, permitindo a possibilidade de “leis causais sejam aplicáveis a novos domínios”. Assim, a crítica que Bohm faz ao absolutismo da “interpretação usual” se manifesta na restrição do domínio de validade do princípio da indeterminação, portanto, não o considerando absoluto e final.

Nesse sentido, a ideia de que a “teoria quântica em sua forma corrente” pode ser “corrigida, estendida, ou mesmo mudada” do extrato anterior, caso 2, sugere a retificação ao absolutismo da “interpretação usual”. Isto é, mesmo que a “interpretação usual” seja válida, ela tem um domínio limitado de validade, e não mais é absoluta e final – válida em todos domínios. Essa maneira que Bohm faz na materialidade do seu pensamento, expressa no livro, representa outra característica da controvérsia do qual falamos no primeiro capítulo dessa dissertação. O aspecto da controvérsia, nesse

caso, representa a retificação a ideia de que a “formulação corrente da teoria quântica”, caracterizada pela “interpretação usual”, teria validade absoluta e final, restringindo o domínio desta interpretação.

Essa retificação se dá no campo filosófico, pois Bohm destaca que a escolha de considerar a “interpretação usual” absoluta e final é uma suposição controversa – pois também pode considerá-la válida num domínio restrito. Gerando caminhos alternativos de pesquisa pela possibilidade de novos domínios de pesquisa, em que as posições da “interpretação usual” não tenham validade.

Caso 4. “[...] com respeito, à **formulação corrente da teoria quântica, somos levados a criticar suposições, como as de Heisenberg e de Bohr, de que o princípio da indeterminação e a restrição de pares de conceitos complementares persistirão independentemente do progresso da física em novos domínios. Não pretendo dar a entender que a teoria quântica não é válida ou útil em seu próprio domínio.** Ao contrário, a teoria quântica é um êxito brilhante e da mais elevada ordem de importância, uma teoria cujo valor seria absurdo contestar.” (BOHM, 2015, p. 199 e 200, grifos nossos)

No extrato, em **negrito**, podemos ver que Bohm destaca que um caminho alternativo sugere também um programa de pesquisa alternativo, capaz de compreender o “progresso da física em novos domínios”. Esse novo programa de pesquisa, característico de sua “interpretação alternativa”, se constitui pela crítica ao posicionamento da “interpretação usual” que considera “a formulação corrente” absoluta e final. Aparecendo na utilização do termo “somos levados a criticar suposições”.

Bohm também destaca que a “interpretação usual” tem validade dentro do seu próprio limite, assim, a retificação feita ao posicionamento desta interpretação se dá na controvérsia sobre ela ser válida em todos os domínios ou não, estando dentro do quadro da “interpretação alternativa” restrita a um domínio de validade. No entanto, Bohm não defende que a “formulação corrente da teoria quântica” não tenha algum domínio de validade, isto é, ele entende que embora seja verdadeira essa formulação ela tem um domínio de validade restrito.

Caso 5. “O que desejamos enfatizar é que as brilhantes realizações da mecânica quântica não dependem da noção de que os aspectos acima mencionados (ou quaisquer outros) da teoria corrente representam limitações finais e absolutas das leis da natureza, **pois todas essas realizações poderiam ser obtidas na suposição mais modesta de que tais aspectos se aplicam em algum domínio e com um grau de aproximação limitado**. Resta descobrir a exata extensão desses limites. Assim, evitamos a elaboração de suposições a priori, as quais evidentemente não poderiam estar sujeitas a uma prova experimental, e **deixamos aberto o caminho para considerar tipos basicamente novos de leis, que poderiam ser aplicados em novos domínios.**” (BOHM, 2015, p. 200, grifos nossos)

Destacamos, em sublinhado, o posicionamento da “interpretação usual” que considera a suposição do estágio atual da TQ corrente como “limitações finais e absolutas das leis da natureza”. No entanto, conforme destacamos em **negrito**, não é necessário fazer tal suposição, pois ela está imersa dentro de uma controvérsia de qual suposição é mais adequada e se deve escolher.

Assim, a crítica ao posicionamento absolutista da “interpretação usual” se dá na ênfase dada em que não é necessário segui-lo, sendo, inclusive, uma suposição a priori e pouco modesta. Num caminho alternativo, se pode considerar uma “suposição mais modesta” onde essas “brilhantes realizações da mecânica quântica” são aplicáveis “em algum domínio e com um grau de aproximação limitado”. Logo, a retificação sugerida nesse caminho alternativo à interpretação usual – isto é, a interpretação alternativa de Bohm –, é feita na restrição a um determinado domínio de validade, que, ainda mais, permite vislumbrar também a importância de outro programa de pesquisa dentro deste caminho.

Além disso, Bohm utiliza “suposição mais modesta” e “evitamos a elaboração de suposições a priori” para convencer novos adeptos ao seu programa alternativo de pesquisa. Pois a “interpretação usual” além ser absolutista e dogmática, impede, inclusive, a criação de novos programas de pesquisa pela crença que não possam haver outros domínios em que ela não seja válida.

A ideia da suposição mais modesta está dentro de uma crítica mais geral¹⁵ que é feita sobre o posicionamento absolutista¹⁶ dentro do desenvolvimento da física, onde Bohm demonstra que os físicos anteriores ao século XX seguiam o ideal do mecanicismo determinista, já os físicos do início do século XX (desenvolvimento da teoria quântica) seguiram o ideal do mecanicismo indeterminista.

Caso 6. “[...] os proponentes da interpretação usual da teoria quântica adotaram a hipótese de Heisenberg, mencionados ao final da seção 4 [caso 2]. Não supõem que o princípio de indeterminação seja apenas uma consequência da **teoria quântica em seu atual estágio de desenvolvimento e que, portanto, tenha um intervalo limitado de validade, como parece ser provável se descobrirmos adiante que a forma atual da teoria deve ser modificada, corrigida ou estendida.** Em vez disso, supõem que esse princípio representa uma limitação final e absoluta de nossa capacidade de definir o estado das coisas por medições de quaisquer tipos, as que ora são possíveis e as venham a sê-lo algum dia.” (BOHM, 2015, p. 177 e 178, grifos nossos)

Novamente, podemos ver no extrato, em sublinhado, que na “interpretação usual” se considera a “teoria quântica em seu atual estágio” como algo absoluto e final, colocando a validade do princípio da indeterminação em quaisquer tipos de medições. Por outro lado, destacado em **negrito**, a “interpretação alternativa” faz uma retificação a este absolutismo da “interpretação usual”, sugerindo que ele deve ter um intervalo limitado de validade. Uma vez que “a forma atual da teoria deve ser modificada, corrigida ou estendida”. O uso do verbo “dever” enfatiza o posicionamento de retificação que Bohm tem frente a “interpretação usual”, ou a “teoria quântica em

¹⁵ “[...] a hipótese do caráter absoluto e final de qualquer aspecto de nossa teoria contradiz o espírito básico do próprio método científico. Este requer que todo aspecto esteja sujeito a sondagens e testes contínuos, que podem revelar contradições em qualquer ponto que adentre um novo domínio ou no qual venhamos a estudar com mais precisão os domínios já conhecidos [...] A aplicação completa e consistente do método científico só tem sentido num contexto em que não supomos o caráter absoluto e final de qualquer aspecto de qualquer teoria e, portanto, não aceitamos uma filosofia mecanicista.” (BOHM, 2015, p. 246)

¹⁶ “Físicos clássicos e modernos compartilham a tendência a supor que os aspectos gerais da teoria mais fundamental disponível em suas respectivas épocas têm um caráter final e absoluto. A interpretação usual da teoria quântica, em certo sentido, dá continuidade à atitude mecanicista dos físicos clássicos, convenientemente ajustada para levar em conta o fato de que a teoria mais fundamental ora disponível tem uma forma probabilística, não determinista.” (BOHM, 2015, p. 204)

seu atual estágio de desenvolvimento”, para defender e difundir o programa de pesquisa de sua “interpretação alternativa”.

Vemos, deste modo, a crítica que Bohm sugere ao posicionamento da “interpretação usual” – considerada absoluta e final – e a retificação deste posicionamento dentro do quadro de sua própria “interpretação alternativa”. Tratam-se de posicionamentos filosóficos, em que a escolha de qual suposição fazer define o programa de pesquisa e sua correspondente interpretação.

Devemos destacar que o programa de pesquisa da “interpretação alternativa” surge enquanto uma retificação ao posicionamento absolutista da “interpretação usual”. Não sendo uma retificação em todo o programa da “interpretação usual”, mas, restritamente, na crítica ao absolutismo desta interpretação. Deste modo, a “interpretação usual” passa ter uma validade limitada, possibilitando a emergências de novos domínios em que ela não seja válida e, por conseguinte, permitindo a existência de novos programas de pesquisa em novos domínios.

Caso 7. “[...] assim como na interpretação usual da teoria quântica, consideramos que a indeterminação decorrente do princípio de Heisenberg é uma necessidade objetiva e não apenas consequência de nossa falta de conhecimento sobre alguns “verdadeiros” estados hipotéticos das variáveis quânticas. Portanto, o que distingue o nosso ponto de vista do usual não é a existência da indeterminação e da necessidade de uma teoria estatística, pois essa característica é comum a ambos pontos de vista. A diferença-chave é que consideramos esse tipo de indeterminação e seu necessário tratamento estatístico como algo que só existe no nível quântico, de modo que, ampliando o contexto, poderíamos reduzir a indeterminação para além dos limites estabelecidos pelo princípio de Heisenberg.” (BOHM, 2015, p. 208, grifos nossos)

Esse extrato faz parte do início do capítulo 4 do livro. Nesse capítulo Bohm apresenta em maiores detalhes a sua interpretação alternativa da TQ. Vemos, assim, que dentro da própria apresentação de sua interpretação, Bohm explicita qual retificação nos posicionamentos da “interpretação usual” são feitas dentro do quadro da “interpretação alternativa”. Assim, temos nitidamente expressas a segunda característica da concepção de controvérsia que derivamos do controle social de Bachelard.

Em sublinhado, destacamos o que a “interpretação alternativa” considera correto no princípio da indeterminação dentro do quadro da “interpretação usual”. Demonstrando que dentro de um certo domínio esse princípio está correto, e tem validade, isto é, dentro do nível quântico. No entanto, fora desse domínio o princípio da indeterminação não tem validade, retificando o posicionamento da “interpretação usual” que considera a validade deste princípio absoluta e final. Destacamos, deste modo, em **negrito**, a pontual retificação que a “interpretação alternativa” faz ao posicionamento absolutista da “interpretação usual”, abrindo um novo domínio que permita utilizar o seu programa de pesquisa.

Assim, a “interpretação alternativa” de David Bohm surge enquanto uma crítica à “interpretação usual” que, dentro do próprio quadro daquela interpretação, é retificada. Ou seja, a crítica se dá na consideração da “interpretação usual” que a formulação corrente da TQ é absoluta e final, que, dentro do quadro da “interpretação alternativa”, é retificada. Considerando a formulação corrente da TQ válida dentro do domínio do nível quântico, porém não mais válida em todos domínios, estando, desse modo, sem validade num nível subquântico, por exemplo. Desse modo, podemos evidenciar na materialidade textual do livro, a segunda característica da controvérsia interna à comunidade científica que derivamos da epistemologia de Bachelard. Isto é, do posicionamento do cientista surgir enquanto crítica e retificação ao posicionamento dos demais membros do grupo científico.

4 FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO: CONTRIBUIÇÕES PARA FORMAÇÃO DO PROFESSOR

Nesse capítulo, vamos discutir como a análise da textualização pela obra “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm, com o referencial de controvérsia da epistemologia bachelardiana, pode contribuir na formação do professor de física para o ensino-aprendizagem de tópicos de FQ no EM. Não temos o interesse em prescrever uma atividade para a formação do professor de física no intuito de prepará-lo para esta tarefa, mas levantar subsídios para ajudar na preparação de possíveis atividades.

Acreditamos que nossa análise possui diversos elementos que podem ajudar na preparação do professor, especialmente numa melhor compreensão dos aspectos sociais, filosóficos e interpretativos da TQ. Mesmo que não tenhamos aprofundado a discussão das condições de produção do livro, os elementos que destacamos dão uma ideia da riqueza de possibilidades e indicam a fecundidade de usar os materiais produzidos por Olival Freire Jr¹⁷ nessa direção. Dentre as possíveis contribuições podemos destacar, por exemplo, a concepção de controvérsia interna à comunidade científica que derivamos do controle social de Bachelard e sua textualização pelo livro de David Bohm, pode ser significativamente importante para o professor entender uma concepção de ciência e, simultaneamente, aprimorar sua história de leitura, de relação com textos e, assim, ajudá-lo na preparação de atividades de ensino-aprendizagem para o EM. Assim, essa discussão irá levantar subsídios para ajudar na formação do professor de física utilizando as reflexões dos capítulos precedentes.

4.1 A FORMAÇÃO DO PROFESSOR

Conforme os trabalhos de ensino de ciências têm apontado, uma das principais dificuldades que os professores de física apresentam para introdução de tópicos de FQ no EM é a falta de aprendizagem dos conhecimentos históricos, conceituais, filosóficos e de interpretação desta teoria. Na maioria das vezes, os professores de física durante a formação em licenciatura acabam aprendendo,

¹⁷ Sugerimos ao leitor que deseja aprofundar o conhecimento sobre as condições de produção da pesquisa de David Bohm, além dos trabalhos já mencionados, Freire Jr (2004; 2005; 2009; 2015).

exclusivamente, o formalismo matemático para resolução de problemas (MONTENEGRO; PESSOA JR, 2002; OSTERMANN; RICCI, 2004; PEREIRA; CAVALCANTI; OSTERMANN, 2009; SILVA; ALMEIDA; HALLACK, 2015).

No entanto, conforme as pesquisas também têm demonstrado, não é através da formalização matemática que a TQ deve ingressar no EM. Normalmente, isso se deve pela complexidade matemática incompatível com este nível de ensino, mas também pela possibilidade de trabalhar outros aspectos importantes da cultura científica. A FQ possui uma vasta diversidade de aspectos sociais, históricos, políticos, filosóficos e interpretativos que podem ser trabalhados no EM (PINTO; ZANETIC, 1999; PAULO; MOREIRA, 2004; OSTERMANN; RICCI, 2004; SILVA; ALMEIDA, 2011). Não obstante, há uma carência na formação do professor que o habilite com tais conhecimentos, na maioria das vezes (OSTERMANN; PRADO, 2005; SABINO; PIETROCOLA, 2016; SILVA; ALMEIDA, 2011).

Contudo, não queremos defender que os professores de física não devam entender perfeitamente a formalização matemática da TQ, mas que, além disso, eles devam compreender os conhecimentos históricos, conceituais, filosóficos e de interpretação desta teoria. Uma vez que há a necessidade de prepará-lo para introdução de tópicos de FQ no EM, e a maneira mais adequada, de acordo com a pesquisa em ensino de ciências, é através da aquisição desses conhecimentos. Por conseguinte, devemos empreender esforços no ensino-aprendizagem durante a formação do professor a fim de prepará-lo para realizar esse desafio. Nesse sentido, a análise da textualização pelo livro de David Bohm através da concepção de controvérsia que derivamos da epistemologia de Bachelard pode contribuir.

4.2 A TEXTUALIZAÇÃO PELO LIVRO “CAUSALIDADE E ACASO NA FÍSICA MODERNA” DE DAVID BOHM E SUAS POSSÍVEIS CONTRIBUIÇÕES PARA FORMAÇÃO DO PROFESSOR:

A noção de textualização permite pensar o texto além de seu conteúdo. Mas como um produto de determinadas condições históricas, políticas e sociais. O texto passa, então, a ser visto como uma peça funcionando dentro da circulação de uma certa temática. E, desta forma, guarda as marcas da circulação dessa temática na sua materialidade.

Na análise da textualização pela obra “Causalidade e acaso na física moderna” procuramos identificar algumas dessas marcas dentro da concepção de controvérsia que derivamos da epistemologia bachelardiana. Por exemplo, na abertura de uma interpretação alternativa pela controvérsia com a interpretação usual. Nesse sentido, a circulação da temática pela controvérsia deixou marcas na materialidade do texto, que condicionaram sua existência ser assim e não de outra forma. Essas marcas são, portanto, um exemplo da influência das condições históricas, políticas e sociais na textualização pelo livro e na circulação da temática pela controvérsia.

Compreender essas marcas na materialidade textual do livro, significa pensar nas condições históricas, políticas e sociais que podem ter influenciado na sua escrita. Dentre elas, temos de reconhecer que no período da escrita e da publicação do livro, acontecia a guerra fria. Isto é, a guerra não declarada entre União Soviética e Estados Unidos, ou entre socialismo e capitalismo, respectivamente. Com certeza, essa guerra teve alguma influência na circulação da temática da controvérsia naquele período. Pois conforme destaca Freire Jr (1999), havia uma disputa ideológica entre os dois sistemas econômicos nos mais diversos campos e, que também esteve presente nesta controvérsia. Bohm, por exemplo, que estava do lado dos soviéticos, defendia um realismo¹⁸ independente da observação, numa nítida oposição ao positivismo da observação experimental de Copenhagen. Essa é uma das condições históricas que influenciaram na escrita do livro, dentre outras que se podem discutir através das noções de textualização e circulação e da retomada e diálogo com trabalhos que se

¹⁸ “Realismo entendido como a busca nas teorias físicas de uma dimensão necessariamente ontológica, e não só epistemológica [...]” (FREIRE JR, 1999, p. 178)

debruçaram mais aprofundadamente na vida, na obra, e no contexto histórico de David Bohm, como os de Freire Jr.

Essa noção de textualização, presente no estudo da circulação da temática da controvérsia entre interpretações da TQ na materialidade do livro “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm, poderia ajudar na formação do professor de física. No sentido de contribuir na capacitação do professor para introduzir tópicos de física moderna no EM. O professor poderia através da noção de textualização ser mais que um leitor interpretante, mas um leitor que entende o texto como produto de condições históricas, políticas e sociais. O conhecimento de tais condições contribuiria na formação do próprio sentido de ciência do professor de física. Seriam, assim, os textos científicos entendidos como funcionando dentro de um contexto mais amplo de circulação de uma temática e produção cultural e contextual do conhecimento científico.

Concordando com a ideia de que textos diferentes dos livros didáticos, tais como livros originais de cientistas como sugerimos, podem ajudar na formação do professor de física, Lima e Almeida (2012) defendem o uso de textos de divulgação científica. No sentido que o professor em formação possa introduzir tópicos de FMC no EM, os autores entendem que esses textos podem ajudar no entendimento de que a ciência e, particularmente, a tecnologia são produtos humanos. Logo, esses produtos humanos sofrem influência dos mais variados tipos, tanto no financiamento econômico de pesquisas, por exemplo, quanto mesmo no aproveitamento bélico que essas tecnologias podem gerar.

Os autores defendem a utilização de um conjunto de 13 textos sobre nanociência e nanotecnologia para esse fim, sendo seus respectivos autores das mais variadas áreas do conhecimento. Abrangendo desde a discussão da influência do setor econômico nesse tipo de pesquisa, a explicação de conceitos e propriedades básicas deste nível e até o papel do cidadão numa sociedade cheia de inovações tecnológicas. Em cada um dos textos, os pesquisadores sugerem o que se pode contribuir na preparação do professor de física para introduzir FMC no EM.

Dentre essa pluralidade dos textos, um deles sugere contribuir como apoio para o professor “[...] promover debates em sala de aula, evidenciando a existência

de posições controversas entre cientistas.” (LIMA; ALMEIDA, 2012, p. 7). Por fim, os autores destacam o papel cultural que a leitura de textos contribui para os professores em formação, na sua preparação para introduzir tópicos de FMC no EM, e também na utilização de leituras alternativas ao livro didático em situações de ensino-aprendizagem. Além disso, também ressaltam que cada um dos textos selecionados deve ter melhor compreendido o seu funcionamento dentro dessas atividades de ensino-aprendizagem, de acordo com as condições específicas em que eles serão utilizados.

Nesse sentido, acreditamos que a noção de textualização pode ajudar na formação do professor, ajudando-o a pensar no funcionamento de textos alternativos ao livro didático na criação de atividades de ensino-aprendizagem, na mediação da cultura científica. Essa noção, permite entender mais que o conteúdo desses textos alternativos, mas seu próprio funcionamento dentro da circulação de uma temática. Permitindo que o estudante entenda que um determinado texto pode servir como ponto de discussão de diversos aspectos da atividade científica, sem esquecer da sua precisão conceitual.

O texto alternativo deve ser analisado procurando entender, além de seu conteúdo, as suas condições históricas, políticas e sociais de produção. Isso ajudaria o professor a adquirir conhecimentos da TQ dos variados tipos, tais como epistemológicos, filosóficos, históricos, sociais e conceituais, dentre outros. Estes conhecimentos, como vimos, são a maneira que as pesquisas em ensino de ciências têm sugerido trabalhar no EM.

A dissertação de Barros¹⁹ (2018), por exemplo, discute a peça teatral Copenhagen. Esta peça sugere, dentro da linguagem do teatro, como foi o encontro entre Niels Bohr, sua esposa e Werner Heisenberg. Esse encontro aconteceu entre os dois principais defensores da interpretação de Copenhagen durante a segunda guerra mundial, enquanto a Alemanha ocupava a Dinamarca. Sendo que Werner Heisenberg é alemão e seu orientador Niels Bohr e sua esposa são dinamarqueses. Embora se saiba da existência desse encontro, nenhum material permite dizer precisamente como ele, realmente, aconteceu. De qualquer forma, se pode imaginar

¹⁹ O grupo FLUXO tem como um de seus interesses entender melhor textos que remetem à ciência, sejam alternativos, sejam didáticos, e levantar subsídios para ajudar na preparação dos professores para introduzir tópicos de FQ no EM. Para o leitor que deseja conhecer mais este grupo, sugerimos o endereço eletrônico (fluxo.ufsc.br).

que nesse contexto de guerra, um dos assuntos presentes na conversa foi a bomba atômica, uma vez que Heisenberg fazia parte do programa nuclear alemão e Niels Bohr ajudava o programa nuclear estado-unidense. O autor da peça teatral, então, sabendo da incerteza sobre o que aconteceu no encontro e mesmo do princípio da incerteza dessa interpretação da TQ, utiliza esta incerteza em vários aspectos da peça. Nesse sentido, essa dissertação sugere trabalhar essa incerteza da peça junto com a noção de incerteza científica da interpretação de Copenhagen na formação de professores. Dentre outros elementos presentes nessa dissertação.

Desta forma, pensamos que as discussões dos capítulos precedentes desta dissertação podem contribuir com a formação do professor de física a fim de que possa introduzir tópicos de FQ no EM. Discutiremos quais elementos da sua formação que essas discussões podem contribuir. Claro, enfatizando que a retomada desses elementos nessa dissertação não foi esgotada, havendo muitos outros trabalhos em que se pode enriquecer o conhecimento de tais elementos. Assim os elementos servem como indicação do que se pode utilizar, a partir, das retomadas do trabalho de Olival Freire Jr que trouxemos nos capítulos precedentes.

4.2.1 Elementos epistemológicos:

Primeiro, a própria concepção de controvérsia interna a comunidade científica que derivamos da epistemologia bachelardiana pode ajudar na formação do professor. Nesse sentido, conforme alguns artigos têm apontado, existe a necessidade durante a formação do professor de adquirir compreensões epistemológicas sobre a formação de conhecimentos científicos. Essa concepção, então, permitiria ao professor entender melhor as características de uma controvérsia científica e a sua necessidade para formação de conhecimentos científicos perante a perspectiva epistemológica de Bachelard. Além de permitir ao professor entender, a partir da análise da textualização pelo livro de Bohm, que as características da controvérsia que apontamos através da epistemologia de Bachelard se materializam na própria construção do discurso científico de um cientista.

Isso ajudaria o professor a não só enriquecer seu conhecimento epistemológico, mas também entender uma característica da natureza da ciência, bem como, quem sabe, poderia, até mesmo, influenciar na própria preparação das aulas no EM. Isto é, sabendo o professor da importância da controvérsia para formação de conhecimentos científicos dentro de uma perspectiva epistemológica, poderia ele desenvolver atividades de ensino-aprendizagem tendo como eixo o debate entre visões antagônicas de um mesmo problema.

A reflexão sobre o controle social de Bachelard que permitiu chegarmos a uma concepção de controvérsia, poderia ajudar mesmo o professor que já conhecia esta epistemologia, fazendo revisar algumas de suas noções mais importantes e dar uma atenção especial aos seus aspectos sociais – que não são, normalmente, tão bem difundidos. Deste modo, os elementos epistemológicos desta dissertação poderiam ajudar o professor na introdução de tópicos de FQ no EM, no sentido de aprofundar sua compreensão sobre tais elementos.

4.2.2 Elementos históricos, políticos e sociais:

As discussões feitas nos capítulos precedentes, permitem identificar diversos elementos históricos que podem ajudar na formação do professor para introduzir tópicos de FQ no EM. Como, por exemplo, o conhecimento de diferentes períodos de controvérsia entre interpretações da TQ, o exílio de Bohm no Brasil e sua relevância dentro do desenvolvimento do seu trabalho.

Em maiores detalhes, o professor de física em formação poderia entender o segundo período de controvérsia, compreendendo a importância de David Bohm e o seu exílio no Brasil. Percebendo o quanto os elementos históricos estão entrelaçados com os elementos políticos no desenvolvimento da TQ, uma vez que Bohm somente veio para o Brasil por ter posições políticas diferentes do seu País natal.

Além dos elementos políticos e históricos estarem entrelaçados no desenvolvimento da TQ, os elementos sociais também estão presentes nesse entrelaçamento. Isto é, se recordamos do desenvolvimento do trabalho de Bohm, vimos que foi por razões políticas que Bohm foi exilado no Brasil, mas que também, esse exílio, por razões sociais – ou seja, a influência de físicos brasileiros – fez com o que o desenvolvimento de sua interpretação alternativa tivesse importantes flexões

epistemológicas. Vemos, assim, o quanto os aspectos históricos, políticos e sociais estão entrelaçados dentro do desenvolvimento da TQ. Não podemos falar de um elemento exclusivamente sem abordar, mesmo que em menores detalhes, os demais elementos.

Isso ajudaria ao professor em formação aprofundar os conhecimentos sobre elementos históricos, políticos e sociais da TQ e, ainda mais, o quanto estes elementos estão entrelaçados nesta teoria. Tais entrelaçamentos vistos em maiores detalhes no trabalho de David Bohm, e, em especial, em seu livro “Causalidade e acaso na física moderna”. Essa formação poderia, por exemplo, ajudar ao professor desenvolver atividades de ensino-aprendizagem no EM sobre TQ, onde exploraria o quanto o contexto de guerra fria influenciou no desenvolvimento desta teoria.

4.2.3 Elementos filosóficos e conceituais:

Retomando aspectos da dissertação, vimos o quanto a questão filosófica da causalidade influenciou na definição conceitual da interpretação alternativa de David Bohm. Isto é, o quanto a construção conceitual da interpretação alternativa de Bohm, em considerar possíveis descrições causais no domínio quântico, foi gerada pela discussão geral da causalidade. Permitindo, inclusive, a formação de uma linha de pesquisa alternativa ao programa de pesquisa da interpretação usual. Linha alternativa de pesquisa que permitiria conhecer novos domínios de realidade, como o nível subquântico que teria informações causais sobre o sistema quântico.

Nesse sentido, a discussão filosófica da causalidade está entrelaçada com a formação conceitual de uma determinada interpretação da TQ. Visão filosófica e conceitual estão, desse modo, restritamente entrelaçadas e não podem ser dissociadas uma da outra.

Pensando na formação do professor de física, o reconhecimento desse entrelaçamento entre o conceitual e o filosófico, ajudaria a entender melhor essa característica da física e, em especial, da TQ. Isso poderia permitir ao professor trabalhar o conceitual e o filosófico nas atividades de ensino-aprendizagem de introdução de FQ no EM.

4.2.4 Textualização: todos elementos juntos?

Como vimos, os elementos históricos, políticos, sociais, filosóficos, epistemológicos e conceituais estão entrelaçados dentro do desenvolvimento do trabalho de David Bohm. Acreditamos, que a noção de textualização permite trabalhar todos esses elementos juntos. Uma vez que “[...] essa articulação, entre o político, o social, a linguagem, o ideológico e o científico está na base das noções de textualização e circulação.” (SILVA, 2014, p. 73). Deste modo, a noção de textualização por si própria permitia trabalhar esses elementos entrelaçados, porque esta noção desloca a ideia de analisar o texto em si, restritamente no seu conteúdo, mas entender suas condições de produção, onde emerge o entrelaçamento desses elementos e sua relação com a materialidade do texto.

Assim, a noção de textualização, especialmente pelo livro “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm, poderia contribuir na formação do professor no conhecimento de elementos históricos, políticos e sociais da controvérsia entre interpretações da TQ. Tanto no sentido de melhorar sua história de leitura e sua formação enquanto leitor de ciência, quanto na aquisição dos conhecimentos necessários para tal empreendimento. Ajudando-o na preparação para introduzir tópicos de FMC no EM.

Além disso, através da análise da textualização do livro, poderia também ajudar o professor a conhecer em maiores detalhes uma interpretação de um cientista, reconhecendo o quanto o ponto de vista de um cientista se materializa na controvérsia com os demais pontos de vista presentes na comunidade científica. Desse modo, utilizando as análises dos extratos do livro de Bohm, o professor poderia entender que as críticas científicas se materializam na sugestão de um caminho alternativo, onde a retificação proveniente desta crítica se torna retificação dentro do quadro deste novo caminho sugerido. Isto é, que a interpretação alternativa de Bohm surge dentro da controvérsia com a interpretação usual da TQ, e que ela mesma incorpora dentro de seu quadro retificações a esta interpretação. Claro, reconhecendo essas características dentro da concepção de controvérsia interna à comunidade científica que derivamos do controle social de Bachelard.

Sabemos que as análises feitas não demonstram precisamente como preparar atividades na formação do professor de física para capacitá-lo a introduzir tópicos de FQ no EM. De qualquer forma, através dessas análises podemos entender que a noção de textualização permite trabalhar com o professor diversos elementos que podem contribuir na preparação e, assim, dar os primeiros passos no esboço de uma proposta de atividade. Pois nosso interesse imediato para contribuir com a formação de professores com essa pesquisa foi, primeiro, construir uma visão diferenciada sob o texto, caracterizada pela noção de textualização, para, depois, num futuro, realmente construir e analisar uma proposta de atividade. Pois:

“[...] trabalhar a textualização como elemento do ensino depende da qualidade da construção anterior de um olhar diferenciado para o texto que, de um lado, demanda tempo de reflexão, análise e ensaios práticos, e, de outro, que inclui um exercício de leitura que aprenda melhor a relação texto e contexto.” (SILVA, 2014, p. 90)

4.3 OS ORIGINAIS DE CIENTISTAS NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES:

Pensamento restritamente nos livros científicos que se têm contato nas disciplinas durante a formação, conforme já apontava Kuhn na década de 1960, a formação dos físicos e professores de física se dá majoritariamente através dos manuais, isto é, de uma ciência que já foi socializada e aceita dentro da comunidade científica como atual paradigma científico. Podemos ver isso também nas palavras do próprio Bachelard “Os livros de física, que há meio século são cuidadosamente copiados uns dos outros, fornecem aos alunos uma ciência socializada, imóvel [...]” (BACHELARD, 2013, p. 30). Destacando que na maior parte do tempo das disciplinas da graduação, os estudantes não têm contato com uma ciência em formação como poderiam ter através dos originais dos cientistas.

Desse modo, a formação do professor se dá exclusivamente com uma ciência socializada, que já passou pelos mecanismos regulatórios sociais, institucionais e textuais, que se tornaram tradições, para uma formação paradigmática, sem ter praticamente nenhum contato com a ciência não-socializada, ou, em outros termos, a ciência em formação. Assim, o professor de física em formação teria contato apenas com os livros que apresentam a TQ como um paradigma, sem conhecer uma das suas principais características que é a controvérsia.

Por outro lado, os livros originais dos cientistas permitiriam um contato dos professores em formação com uma ciência em formação, possibilitando entender aspectos da ciência que não estão presentes nos manuais, o que, talvez, aumentasse seu interesse pela própria física de maneira geral, e repercutiria em suas concepções de ciência. Como, por exemplo, a compreensão de que existem controvérsias entre as diferentes perspectivas dos cientistas a compreensão de aspectos da dimensão contextual e cultura do trabalho do cientista, de seu aspecto intersubjetivo polêmico, da dimensão filosófica sempre implicada na compreensão da natureza proporcionada pela Física.

Deste modo, o contato com o livro original “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm na circulação da temática da controvérsia sobre interpretações da TQ, colocado num momento adequado de sua formação, permitiria ao professor entender em maiores detalhes a materialização do jogo de forças que entra na ciência em formação. Entendendo o quanto existem diferentes interpretações

da teoria, resultantes de um profundo entrelaçamento de questões históricas, políticas e sociais no desenvolvimento da TQ, que, normalmente, nos manuais de FQ também não estão presentes. Contribuindo com a formação do professor de física, e mesmo na sua preparação para introdução de tópicos de FQ no EM. Uma vez que trabalhar com a noção de textualização significa que:

“[...]nosso objeto, no campo da educação científica, não é a ciência em si, mas o processo em que, ainda que remeta à ciência, seus objetos, seus temas, suas palavras, essa retificação crítica não é o único elemento regulador. [como é na ciência controlada dos manuais] Assim, precisamos buscar as regularidades com instrumentos que não são aqueles que dizem respeito apenas ao discurso científico estabilizado.” (SILVA, 2014, p. 208)

Cabe ressaltar, que não achamos que se deve substituir a ciência dos manuais pela ciência dos originais, porém, acreditamos, que ambas podem trazer contribuições para a formação dos professores e também para os próprios estudantes do EM. Diversas publicações de ensino de ciências defendem o uso de originais de cientistas na formação de professores, conforme destacamos alguns na introdução dessa dissertação.

4.4 RELATO DA EXPERIÊNCIA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES:

Nesse momento, gostaríamos de relatar a experiência das atividades de discussão da controvérsia na formação de professores que realizamos e refletir em que, a partir deste relato, se pode pensar numa melhor maneira para desenvolver tais atividades a fim de contribuir com esta formação e na preparação dos professores para introdução de tópicos de FQ no EM. Não queremos fazer um relato detalhado da experiência, com uma análise de dados e uma metodologia bem definidas. Mas, conforme destaca Bachelard, refletir sobre essa experiência e encontrar o que pode ser retificado para melhorar a qualidade das intervenções com os professores em formação e, assim, contribuir na sua preparação para desenvolver atividades de ensino-aprendizagem da TQ no EM. Esse relato consiste nas atividades de intervenção desenvolvidas no estágio docência do autor desta dissertação.

O Estágio Docência foi realizado na disciplina Metodologia de Ensino de Física do curso de Licenciatura em Física da UFSC no segundo semestre de 2018. O principal objetivo da disciplina na formação dos professores é o conhecimento das tendências de pesquisa em ensino de ciências, com ênfase nos conteúdos e métodos articulados a problematização e contextualização dos conhecimentos.

A primeira intervenção nas aulas de metodologia do ensino de física, foi através da inserção de trechos dos textos originais de David Bohm e Werner Heisenberg, no intuito de demonstrar a controvérsia entre elas. Escolhemos os originais de Werner Heisenberg para demonstrar a interpretação de Copenhague. Os trechos originais utilizados nas atividades estão no apêndice A desta dissertação. Nossa ideia era de que somente através desses extratos os professores em formação percebessem a controvérsia entre interpretações da TQ.

No começo da aula, foi entregue o conjunto de extratos de ambos cientistas individualmente para os estudantes, deixando, durante um período de tempo, eles refletindo sobre os extratos. Não foi dada nenhuma informação adicional a leitura, além de manifestar de quais cientistas se tratavam, o período histórico em que foram escritas e, que se tratava de FQ. Sabendo que a maioria dos estudantes já haviam cursado disciplinas que abordam FQ, também reconhecia que não foram aprofundados em questões filosóficas, sociais e políticas desta. Depois dos alunos lerem individualmente, foi questionado se eles haviam encontrado semelhanças e

diferenças quanto aos textos dos dois cientistas. Os estudantes reconheceram que todos extratos tratavam de FQ, acerca de questões filosóficas, mas entendiam que os cientistas tinham diferentes abordagens, embora não reconhecessem o positivismo da interpretação de Heisenberg, e a crítica que Bohm faz a este positivismo.

Percebemos, assim, embora tenham percebido diferentes abordagens, os licenciandos não perceberam que se tratava de uma controvérsia entre interpretações da TQ. Assim, optamos por discutir aspectos da linguagem utilizada no texto que evidenciam a controvérsia, como, por exemplo, a utilização que David Bohm faz do termo interpretação usual quando tece críticas a interpretação de Copenhagen. Com as discussões desses pontos, os estudantes começaram a entender que se tratava sim de uma controvérsia e quais eram os diferentes pontos entre os dois cientistas. Ao final da aula, pedimos que os estudantes levassem os extratos para casa e procurassem relê-los a fim de ver com outros olhos o mesmo texto, após a discussão da aula. Além disso, os estudantes disseram que acharam interessante a atividade proposta.

Em nosso entendimento a atividade foi boa, embora um sentimento de fracasso quanto a falta de compreensão dos estudantes que se tratava de uma controvérsia entre interpretações da TQ. Isto, por outro lado, fez entender a dificuldade de perceber essa controvérsia a partir dos textos originais, sem outros elementos históricos, contextuais, epistemológicos e conceituais o que, por estar tão impregnado nos textos e na controvérsia, parecia tão óbvio.

A segunda intervenção nas aulas, começou discutindo se os estudantes haviam entendido de forma diferente os extratos de Heisenberg e Bohm, após a discussão feita no final da aula anterior. Alguns estudantes citaram que conseguiram perceber melhor a controvérsia, inclusive, alguns deles, indicando onde ficava evidente tal controvérsia nos extratos entregues. Alguns também fizeram uma pesquisa na internet sobre o trabalho de Bohm, entendendo melhor assim os extratos e, conseqüentemente, a interpretação dele. De maneira geral, percebemos que os estudantes revisaram os extratos, tecendo diversos comentários no material entregue.

Depois, apresentamos mais profundamente a análise dos extratos, para demonstrar melhor o posicionamento de cada cientista na controvérsia.

Caracterizando, desta forma, o positivismo de Heisenberg e a noção da dualidade onda partícula como complementar e mutuamente excludente da interpretação de Copenhague, e a busca por uma interpretação realista de David Bohm e o seu entendimento da dualidade onda partícula como onda e partículas juntas. Após a retomada da leitura dos extratos pelos estudantes e uma discussão sobre as interpretações deles, passamos a explorar aspectos contextuais da controvérsia.

Inicialmente, demonstramos que a controvérsia entre interpretações da TQ havia iniciado desde o começo desta teoria, considerando, por exemplo, a diferente interpretação de Einstein em comparação aos defensores da interpretação da Copenhague. Discutindo os 3 períodos históricos distintos da controvérsia (FREIRE JR, 2003).

Depois da retomada do conteúdo físico e filosófico dos extratos, passamos a considerar, em particular, aspectos históricos, políticos e sociais da trajetória intelectual de David Bohm. Por exemplo, considerando sua posição socialista que culminou no exílio de seu país natal, o Estados Unidos, vivendo alguns anos no Brasil – inclusive, escrevendo o livro “Causalidade e acaso na física moderna” majoritariamente na nação tupiniquim (FREIRE JR, 1999). Caracterizamos, assim, o quanto influências filosóficas, sociais e políticas influenciam no desenvolvimento da ciência, estando inerentemente atreladas as posições científicas dos cientistas, isso gerou uma discussão entre os estudantes da importância de trazer estes aspectos para o ensino de física no EM.

Por se tratar de uma disciplina que procura discutir metodologias do ensino de física, apresentamos algumas linhas de pesquisa em ensino que utilizam abordagens de controvérsia, citando a linha CTS que aborda a controvérsia do aquecimento global, por exemplo. Também discutimos a linha da natureza da ciência, que pretende demonstrar aspectos sociais, políticos e filosóficos ligados a atividade científica, podendo, desta forma, estar ligada a uma controvérsia científica. No final, os estudantes avaliaram que o estudo da controvérsia foi interessante, tanto para conhecer mais sobre a parte filosófica da FQ quanto pela discussão dos aspectos sociais, políticos e filosóficos no desenvolvimento científico, embora fossem de difícil compreensão.

4.5 UM ESBOÇO DE PROPOSTA PARA FORMAÇÃO DE PROFESSORES:

Nesse momento, queremos discutir um esboço de uma proposta de atividade na formação de professores a partir das análises desta dissertação e da experiência vivenciada no estágio docência relatada na seção anterior. Cabe ressaltar, que não se trata de uma proposta bem determinada, mas um esboço de proposta para a formação de professores a fim de contribuir com sua preparação para desenvolver atividades de ensino-aprendizagem de tópicos de FQ no EM.

O primeiro ponto que nos chama atenção da experiência realizada na disciplina de metodologia do ensino da física, foi que os professores em formação não entenderam a controvérsia entre interpretações da TQ a partir, exclusivamente, do contato com os extratos originais dos cientistas. Demonstrando, desse modo, a necessidade de uma melhor preparação para o contato com os extratos.

Desse modo, acreditamos que primeiramente devam ser desenvolvidas atividades que demonstrem a controvérsia entre interpretações da TQ. Assim, sugerimos que, inicialmente, sejam feitas atividades que, primeiro, caracterizem o que é a controvérsia entre interpretações da TQ utilizando os materiais de Olival Freire Jr e outros autores como Pessoa Jr (2006). Demonstrando que a controvérsia entre interpretações da TQ surgiu desde o início do desenvolvimento dessa teoria e que até hoje acontece essa controvérsia.

Depois de caracterizar o que é uma controvérsia, sugerimos discutir os três períodos históricos de controvérsia. Discutindo o primeiro e terceiro período histórico, para evidenciar a grande diferença entre eles, e, após essa caracterização, discutir o segundo período, que é o de transformação da controvérsia e onde tem maior importância o trabalho de David Bohm, enfatizando que este é o nosso período de maior interesse.

Após a caracterização que nosso maior interesse é no segundo período histórico e que Bohm foi muito importante nesse período, passamos a discutir em maiores detalhes os elementos históricos, políticos e sociais que influenciaram no trabalho deste importante cientista. Destacando o seu exílio no Brasil, e a continuação

de sua interpretação alternativa aqui, culminando na discussão da escrita do livro “Causalidade e acaso na física moderna”.

Antes de discutir em maiores detalhes a textualização por esse livro, sugerimos discutir com os estudantes a concepção de controvérsia interna a comunidade científica que derivamos da epistemologia de Bachelard. Procurando evidenciar as características dessa controvérsia, e retomar aspectos gerais da obra de Bachelard e sua utilização no ensino de ciências para ajudar no conhecimento de teorias epistemológicas dos estudantes.

Mais tarde, depois de entender a concepção de controvérsia interna à comunidade científica, demonstrar no livro “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm as marcas na sua materialidade textual que evidenciam as características da controvérsia que derivamos da epistemologia de Bachelard. Fazendo isso aprofundando a discussão dos elementos históricos, políticos, sociais, filosóficos e conceituais da interpretação da TQ de David Bohm.

Por fim, após todos esses momentos, sugerimos o fechamento conceitual para finalizar as atividades com os professores em formação. Assim, defendemos discutir o conceito da dualidade onda partícula perante a interpretação de Copenhague e a interpretação de David Bohm. Discutindo a interpretação de Copenhague utilizando os originais de Werner Heisenberg e Niels Bohr.

5 CONCLUSÃO:

No primeiro capítulo dessa dissertação, discutimos controvérsias científicas e colocamos nosso problema de pesquisa e objetivos. Sendo o problema de pesquisa: seguindo a noção de controle social de Bachelard, quais são as marcas da controvérsia entre interpretações da TQ presentes na materialidade do livro “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm? E os objetivos: 1. Analisar a textualização pelo livro “Causalidade e acaso na física moderna” seguindo os elementos do controle social bachelardiano. 2. Identificar as características desse controle social na textualização do livro.

No segundo capítulo, discutimos a noção de controle social de Bachelard. Essa discussão permitiu identificar uma concepção de controvérsia interna à comunidade científica, com duas características fundamentais. Ou seja, a primeira característica é da materialização do pensamento de um cientista se definir em controvérsia com o pensamento dos demais membros do grupo científico. E a segunda característica, do posicionamento do cientista surgir enquanto crítica e retificação ao posicionamento dos demais membros do grupo científico. Esse movimento nos permitiu reconhecer as características de uma controvérsia, nós capacitando a investigá-las na materialidade textual da obra de Bohm.

No terceiro capítulo, exploramos a noção de textualização pelo livro “Causalidade e acaso na física moderna” de David Bohm. Primeiro, retomando algumas condições de produção do livro através dos trabalhos de Freire Jr, e, depois, demonstrando na materialidade textual da obra as características de controvérsia interna à comunidade científica que derivamos da noção de controle social de Bachelard. Desse modo, respondemos nosso problema de pesquisa.

No quarto capítulo, discutimos como essa dissertação pode contribuir com a formação dos professores de física para que possam introduzir tópicos de FQ quando estiverem em sala de aula no EM. Assim, discutimos como a noção de textualização pode enriquecer a formação do professor e esboçamos atividades para a formação do professor.

Por conseguinte, concluímos que fomos capazes de responder nosso problema de pesquisa e levantar subsídios para desenvolver atividades na formação de professores a fim de que possam introduzir tópicos de FQ no EM. Para trabalhos futuros dessa dissertação, acreditamos que uma elaboração detalhada de atividades para a formação do professor e sua realização seria um caminho natural. Para tal, sugerimos aprofundar as condições de produção do livro, e construir materiais que permitam trabalhar o conceito de dualidade onda partícula a partir da interpretação de Copenhague e a interpretação de David Bohm.

REFERÊNCIAS

BACHELARD, G. **A filosofia do não: filosofia do novo espírito científico**. 3.ed. Tradução de Joaquim José Moura Ramos. Lisboa: Editorial Presença, 1984.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. 10.ed. Tradução de Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 2013.

BACHELARD, G. **Estudos**. 1.ed. 1 reimpressão. Tradução de Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 2012.

BACHELARD, G. **Études**. Paris: J. Vrin, 1970.

BARBOSA, L. G. D' C.; LIMA, M. E. C. de C.; MACHADO, A. H. Controvérsias sobre o aquecimento global: circulação de vozes e de sentidos produzidos em sala de aula. **Revista Ensaio**, v. 14, n. 1, p. 113-130, 2012.

BARROS, M. A. de. **Copenhague, leituras e incertezas: um texto teatral e o ensino de física quântica**. 2018. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Centro de Ciências da Educação, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

BOHM, D. **Causalidade e acaso na física moderna**. 1. ed. Tradução de Rodolfo Petrônio. Rio de Janeiro: Contraponto, 2015.

BOHM, D. A suggested interpretation of the quantum theory in terms of “hidden” variables I. **Physical review**, v. 85, n. 2, p. 166-179, 1952.

BOHM, D. A suggested interpretation of the quantum theory in terms of “hidden” variables II. **Physical review**, v. 85, n. 2, p. 180-193, 1952.

BOHR, N. **Física Atômica e conhecimento humano**. 4. ed. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 2008.

CARVALHO FILHO, J. E. C. Educação científica na perspectiva bachelardiana: ensino enquanto formação. **Ensaio – Pesquisa em Educação e Ciências**, v. 8, n. 1, p. 1-24, 2006.

FREIRE JR, O. A Story Without an Ending: The Quantum Physics Controversy 1950-1970. **Science and Education**, n. 12, p. 573-586, 2003.

FREIRE JR, O. Das margens para o centro: mudanças na pesquisa em fundamentos da mecânica quântica, 1950-1990. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 369-377, 2015.

FREIRE JR, O. **David Bohm e a controvérsia dos quanta**. 1. ed. Campinas: UNICAMP, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência (Coleção CLE; v.27), 1999.

FREIRE JR, O. Quantum dissidents: research on the foundations of quantum theory circa 1970. **Studies in history and philosophy of modern physics**, v. 40, p. 280-289, 2009.

FREIRE JR, O. Science and exile: David Bohm, the hot times of the Cold War, and his struggle for a new interpretation of quantum mechanics. **Historical studies in the natural sciences**, v. 36, n. 1, 2005.

FREIRE JR, O. The historical roots of “foundations of quantum physics” as a field of research. **Foundations of physics**, v. 34, n. 11, 2004.

JUSTINA, L. A. D.; CALDEIRA, A.M. de A. Uma investigação com graduandos da licenciatura em Ciências Biológicas sobre a relação genótipo-fenótipo na perspectiva da epistemologia de Gaston Bachelard. **Revista Electrónica de las Ciencias**, v. 13, n. 2, p. 179-200, 2014.

HEISENBERG, W. **Física e Filosofia**. 2. Ed. Tradução de Jorge Leal Ferreira. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1987.

LEHNER, C. O realismo de Einstein e sua crítica da Mecânica Quântica. In: FREIRE JR, Olival; PESSOA JR, Osvaldo; BROMBERG, Joan Lisa. (Org.). **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais (p. 181-228)**. Campina Grande: EDUEPB, 2011.

LEITÃO, U. A.; FERNANDES, J. A.; LAGE, G. Investigação de perfis conceituais em uma atividade experimental sobre força magnética no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 35, n. 1, p. 290-315, 2018.

LIMA, M. C. A.; ALMEIDA, M. J. P. M. DE. Articulação de textos sobre nanociência e nanotecnologia para a formação inicial de professores de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, 2012.

LIMA, N. W.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. de H. Física quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM 2015. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 435-459, 2017.

LOPES, A. R. C. Bachelard: o filósofo da desilusão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v. 13, n. 3, p. 248-273, 1996.

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

MONTENEGRO, R. L.; PESSOA JR, O. Interpretações da TQ e as concepções dos alunos do curso de física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 2, p. 107-126, 2002

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em ensino de ciências**, v. 1, n. 1, p.20-39, 1996.

NARASIMHAN, M. G. Controversy in Science. **Journal of Biosciences**, v. 26, n. 3, p. 299-304, 2001.

OSTERMANN, F; PRADO, S. D. Interpretações da mecânica quântica em um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 2, p. 193-203, 2005.

OSTERMANN, F.; RICCI, T. S. F. Construindo uma unidade didática conceitual sobre mecânica quântica: um estudo na formação de professores de física. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 2, p. 235-257, 2004.

PAGLIARINI, C. R; ALMEIDA, M.P.M de. Leituras por alunos do ensino médio de textos de cientistas sobre o início da física quântica. **Ciência e Educação**. v. 22, n. 2, p. 299-317, 2016.

PAULO, I. J. C. de; MOREIRA, M. A. Abordando conceitos fundamentais da mecânica quântica no nível médio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 4, n. 2, p. 63-73, 2004.

PEREIRA, A. P. de; CAVALCANTI, C. J. de H.; OSTERMANN, F. Concepções relativas à dualidade onda-partícula: uma investigação na formação de professores de Física. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 1, p. 72-91, 2009.

PESSOA JR, O. **Conceitos de física quântica**. 3. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

PINTO, A. C; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 7-34, 1999.

RAIČIK, A. C; PEDUZZI, L. O. Q; ANGOTTI, J. A. P. A estrutura conceitual epistemológica de uma controvérsia científica: implicações para o ensino de ciências. **Experiências em Ensino de Ciências**. v. 13, n. 1, p. 42-62, 2018.

RAMOS, M. B.; SILVA, H. C. da. Para pensar as controvérsias científicas em aulas de ciências. **Ciência & Ensino**. v. 1, n. especial, 2007.

REIS, J. M. C. dos; KIOURANIS, N. M. M.; SILVEIRA, M. P. da. Um olhar para o conceito de átomo: contribuições da epistemologia de Bachelard. **Alexandria**, v. 10, n. 1, p. 3-26, 2017.

SABINO, A. R; PIETROCOLA, M. Saberes docentes desenvolvidos por professores do ensino médio: um estudo de caso com a inserção da física moderna. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 21, n. 2, p. 200-2016, 2016.

SANTOS, P. M. V. dos. O itinerário científico de Louis de Broglie em busca de uma interpretação causal para a mecânica ondulatória. In: FREIRE JR, Olival; PESSOA JR, Osvaldo; BROMBERG, Joan Lisa. (Org.). **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais**. Campina Grande: EDUEPB, 2011.

SILVA, A. C. da; ALMEIDA, M. J. P. M. de. Física quântica no ensino médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 624-652, 2011.

SILVA, A. C; ALMEIDA, M. J. P. M. de; HALLACK, M. L. Fragmentos do paradoxo EPR em um trecho de divulgação científica: uma pesquisa de cunho exploratório com ingressantes na universidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 32, n. 1, p. 53-75, 2015.

SILVA, H. C. da. Ciência, política, discurso e texto: circulação e textualização: possibilidades no campo da educação científica e tecnológica. **Ciência & Ensino**, v. 3, n. 1, p. 72–94, 2014.

SILVA JUNIOR, A. G.; TENÓRIO A. C.; BASTOS H. F. B. N. O perfil epistemológico do conceito de tempo a partir de sua representação social. In: Ensaio. **Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9, n. 2, p. 1-17, 2007.

SILVA, L. F; CARVALHO, L. M. de. A temática ambiental e o processo educativo: o ensino de física a partir de temas controversos. **Ciência & Ensino**. v. 1, n. especial, 2007.

SOUZA FILHO, M. P.; BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Problematização no ensino de tópicos do eletromagnetismo por meio das etapas da psicanálise bachelardiana. **Nuances: estudos sobre educação**, v. 22, p. 72-95, 2012.

VIEIRA, K. R. C. F; BAZZO, W. A. Discussões acerca do aquecimento global: uma proposta CTS para abordar esse tema controverso em sala de aula. **Ciência & Ensino**. v. 1, n. especial, 2007.

APÊNDICE A – Extratos entregues aos professores em formação

“A interpretação teórica de uma experiência requer, portanto, três estágios distintos: (1) traduzir a situação experimental inicial em uma função de probabilidade; (2) seguir a evolução temporal dessa função; (3) escolher uma nova medida a ser feita no sistema físico considerado, cujo resultado poderá então ser calculado da função de probabilidade. No primeiro estágio, o princípio de indeterminação tem necessariamente que ser considerado. O segundo, não pode ser descrito em termos dos conceitos da física clássica; não há descrição alguma do que ocorre no sistema, do instante em que foi feita a observação inicial ao instante em que for efetuada a próxima medida. E é somente no terceiro estágio que mudamos novamente, passando do “possível” ao “real”.” (Werner Heisenberg, Física e Filosofia, 1987 [1958], páginas 40 e 41)

“[...] na interpretação usual da teoria quântica, *um átomo não possui quaisquer propriedades quando não é observado*: seu único modo de ser é ser observado. Desse ponto de vista, a noção de que exista um átomo com propriedades univocamente definíveis em si mesmas, ainda que não esteja interagindo com uma peça de dispositivo observacional, é destituída de significado. Se for necessário abandonar a noção de existência objetiva de átomos e de outros micro-objetos com propriedades univocamente definíveis em si mesmas, então surgirá naturalmente a questão: com o que, realmente, lida a mecânica quântica? A resposta dada por Bohr (e, no quadro da interpretação usual, a única resposta consistente possível) é que ela não lida com propriedades de micro-objetos como tais, mas *somente com relações entre fenômenos observáveis em larga escala*. No entanto, os fenômenos são considerados totalidades indivisíveis que não podem ser analisadas, mesmo abstratamente e conceitualmente, como aproximadamente constituídas de diferentes partes, com várias espécies de micro-objetos. O papel da teoria é, tão somente, calcular as distribuições de probabilidade para os diversos tipos possíveis de fenômenos. Esse ponto de vista nos leva a renunciar à prática, até agora bem-sucedida, de pensar em um sistema individual como um todo unificado e precisamente definível cujos os aspectos são, de certo modo, simultânea e não ambigualmente

acessíveis ao nosso olhar conceitual.” (David Bohm, *Causalidade e acaso na física moderna*, 2015 [1957], páginas 188 e 189)

“O ato de observação, por si mesmo, muda a função de probabilidade de maneira descontínua; ele seleciona, entre todos os eventos possíveis, o evento real que ocorreu. Visto que, pela observação, nosso conhecimento do sistema mudou descontinuamente, sua representação matemática também sofreu essa descontinuidade. E falamos, então, de um “salto quântico”. Quando ouvirmos o velho adágio, *Natura non facit saltus*, como base para se criticar a teoria quântica, poderemos replicar que, certamente, nosso conhecimento pode mudar abruptamente e esse fato justifica o uso da expressão “salto quântico”. Portanto, a transição do “possível” ao “real” ocorre durante o ato de observação. Se quisermos descrever o que ocorre em um evento atômico, devemos compreender que o termo “ocorre” pode ser somente aplicado à observação, e não ao estado de coisas durante duas observações consecutivas. Aquele termo diz respeito à componente física do ato de observação, mas não à psíquica e poderemos dizer que a transição do “possível” ao “real” toma lugar tão logo a interação do objeto com o instrumento de medida (e, portanto, com o resto do mundo) tenha se realizado, ele nada tem a ver com o ato de registrar o resultado por parte da mente do observador. A mudança descontínua na função de probabilidade, no entanto, tem lugar com o ato de registro, pois é essa mudança descontínua do nosso conhecimento, no instante do registro, que tem por imagem a mudança descontínua da função de probabilidade. Até que ponto, então, finalmente conseguiu-se uma descrição objetiva do mundo e, especificamente, do domínio atômico? Na física clássica, a ciência teve como ponto de partida a crença – ou dever-se-ia dizer ilusão? – de que poderia se descrever o mundo ou, pelo menos, parte dele, sem referência alguma a nós mesmos. Isso é, em grande medida, de fato possível. Por exemplo, todos nós temos conhecimento da existência da cidade de Londres, independentemente de tê-la vista ou não. Poder-se-ia dizer que a física clássica é justamente aquele tipo de idealização segundo a qual podemos falar de coisas do mundo sem qualquer referência a nós mesmos. Seu sucesso deu lugar ao ideal bem amplo de uma descrição objetiva do mundo. Objetividade tornou-se, assim, o critério primeiro de qualquer resultado científico. Pergunta: e a interpretação de Copenhague ainda segue esse ideal? Talvez se possa dizer que a teoria quântica corresponda a esse ideal tanto quanto possível. Certamente, a teoria quântica não

contém características subjetivas genuínas, não introduzindo a mente do físico como parte do evento atômico. Mas a teoria quântica começa pela divisão do mundo em “objeto” e o resto do mundo e, também, do fato de que, pelo menos para o “resto do mundo”, utilizamos conceitos clássicos em nossa descrição. Essa divisão é arbitrária e, historicamente, uma consequência direta do método científico: a utilização de conceitos clássicos é, afinal, uma consequência geral do ser humano pensar. Mas isso já constitui uma referência a nós mesmos e isso na medida em que nossa descrição não é completamente objetiva.” (Werner Heisenberg, Física e Filosofia, 1987 [1958], páginas 46 e 47)

“[na interpretação usual da teoria quântica] supõe-se que fenômenos físicos reais e observáveis não têm causa, pois já dispomos de dispositivos observacionais suficientemente sensíveis para responder de modo macroscopicamente observável às propriedades de átomos *individuais* e de *quanta individuais* de radiação eletromagnética. No entanto, as medições realizadas com tais dispositivos produzem resultados que mostram uma flutuação irregular de uma observação para a seguinte, com o comportamento médio regular de um agregado estatístico contendo um grande número de observações. Esse comportamento médio regular pode ser predito com elevado grau de aproximação nos termos da atual teoria quântica a partir da função de onda Ψ de Schrodinger, com o auxílio de probabilidades. Porém, a atual teoria quântica não nos dá nenhum meio, mesmo em princípio, de prever como as medições *individuais* flutuarão de um caso para o seguinte. Mais do que isso, ela nem se quer possui algo que poderíamos, ao menos qualitativamente, considerar como sendo a origem de qualquer flutuação individual particular. Conforme já assinalamos, podemos considerar a possibilidade de que tais flutuações se originem do movimento irregular de alguns tipos novos de entidades num nível mais profundo. Porém, a partir do princípio de indeterminação, conclui-se que, mesmo que tal nível mais profundo exista, as propriedades das novas entidades nunca poderão ser medidas com precisão suficiente para tornar possível uma predição precisa das flutuações irregulares dos resultados dos processos de medição individuais. Desse modo, somos levados a concluir que a maneira precisa como ocorrem essas flutuações irregulares não pode ser remetida experimentalmente a quaisquer causas, pois tais flutuações

não possuem causa.” (David Bohm, Causalidade e acaso na física moderna, 2015 [1957], páginas 180 e 181)

“Seja como for, temos que proceder com grande cautela, no uso das palavras, ao fazermos uma afirmação sobre o comportamento das partículas atômicas. Na verdade, não precisamos de maneira alguma falar em partículas. Em muitas experiências, é mais conveniente falar-se em ondas de matéria; por exemplo, as ondas estacionárias de matéria ao redor do núcleo atômico. Uma tal descrição contradiria frontalmente a outra descrição, caso se ignorasse as limitações impostas pelas relações de incerteza. Levando-se em conta essas restrições, a contradição é evitada. O uso de “ondas de matéria” é conveniente, por exemplo, ao se lidar com a radiação emitida pelo átomo. Por intermédio de suas frequências e intensidades, a radiação presta informação acerca da distribuição de carga oscilante no átomo e, nesse caso, a descrição ondulatória aproxima-se muito mais da verdade do que a de partículas. Eis por que Bohr advogou o uso de *ambas* descrições e chamou-as de *complementares* entre si. As duas descrições são, certamente, mutuamente exclusivas, pois uma certa coisa não pode ser ao mesmo tempo uma partícula (i.e., substância confinada a um volume muito pequeno) e uma onda (i.e., substância espalhada sobre uma região de dimensões muito grandes), mas se complementam uma à outra. Jogando-se com ambas descrições, indo-se de uma à outra e de volta novamente, obteremos por fim a impressão correta desse estranho tipo de realidade que permeia os fenômenos atômicos.” (Werner Heisenberg, Física e Filosofia, 1987 [1958], página 42)

“No domínio quântico, a matéria, sob diferentes condições, pode apresentar comportamento ondulatório ou corpuscular. Assim, é evidente que os conceitos de onda e partícula são *por si mesmos* incapazes de tratar de toda a riqueza de propriedades demonstradas pela matéria nesse domínio. Diante desse problema, a primeira e mais simples ideia é que talvez a dificuldade surja porque as teorias existentes, só admitem duas possibilidades: a de uma pura onda e a de uma pura partícula, considerando ambas mutuamente excludentes. Mas é possível que, em algum processo, onda e partícula possam estar sempre *juntas* em algum tipo de interconexão.” (David Bohm, Causalidade e acaso na física moderna, 2015 [1957], página 215)