

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Mestrado em Ensino de Física

Pedro Antônio Viana Vazata

Onda ou partícula?

Estudo das trajetórias ontológicas de actantes quânticos em Livros Didáticos de Física da Educação básica e superior

Porto Alegre

2022

Pedro Antônio Viana Vazata

Onda ou partícula?

Estudo das trajetórias ontológicas de actantes quânticos em Livros Didáticos de Física da Educação básica e superior

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS sob orientação do Prof. Dr. Nathan Willig Lima e coorientação da Prof. Dra. Fernanda Ostermann.

Porto Alegre

2022

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço aos meus professores das disciplinas do mestrado, que mesmo em tempos de pandemia, as conduziram com maestria e dedicação. Assim como ao meu orientador Prof. Dr. Nathan Willig Lima e minha orientadora Dra. Prof. Fernanda Ostermann, pela paciência, revisões dos textos, direcionamentos, críticas construtivas e pela construção deste projeto como um todo.

Agradeço também aos meus pais Prof. Carlinhos Vazata e Prof. Nádia Vazata, por me inspirarem através de suas trajetórias docentes e por proverem a base necessária para que eu pudesse desenvolver minhas potencialidades. Estendo esse agradecimento à toda minha família.

E por fim, agradeço à minha companheira de vida, Fernanda Davila Schmachtenberg, pois além de estar ao meu lado nos bons e maus momentos, fez inúmeras revisões textuais e contribuiu para o amadurecimento das ideias deste trabalho.

A vida é fruição, é uma dança, só que é uma dança cósmica, e a gente quer reduzi-la a uma coreografia ridícula e utilitária.

A vida não é útil, Ailton Krenak

RESUMO

Na presente dissertação, propomos uma análise da forma como as diferentes ontologias do problema da dualidade onda-partícula são apresentadas em livros didáticos de ensino básico e superior. Nosso objetivo é investigar as trajetórias ontológicas das diferentes concepções da natureza da luz, a fim de compreendermos a visão de ciência defendida pelos autores, o papel dos livros didáticos na educação científica e propor reflexões sobre como as visões de ciência presentes nessas obras impactam a sociedade. Para tanto, propomos dois estudos: um destinado à análise de livros didáticos de ensino superior, pautado na proposta cosmopolítica de Latour e Stengers, bem como na análise metalinguística de Bakhtin, a fim de compreendermos o papel do livro didático na construção de um “mundo comum”; e outro destinado à análise dos livros didáticos de ensino básico, fundamentada na tipologia proposta por Latour e Woolgar a respeito da transformação do nível ontológico dos enunciados. Comparando os livros de ensino básico e superior, concluímos que, como aponta a literatura, os livros de ensino básico analisados refletem teorias e visões de ciências dos livros de ensino superior. Por outro lado, concluímos também que os livros divergem em certos aspectos, como em relação à trajetória ontológica das diferentes concepções da luz, ou em relação à forma como os livros compõem o “mundo comum”. No entanto, há uma característica comum a todas as obras: elas escondem as controvérsias a respeito da ontologia da Física Quântica. Por fim, evidenciamos que os dispositivos analíticos propostos nos estudos têm potencial metodológico para análises de actantes não estabilizados ontologicamente em livros didáticos.

ABSTRACT

In the present dissertation, we propose an analysis of the way in which the different ontologies of the wave-particle duality problem are presented in basic and higher education textbooks. Our objective is to investigate the ontological trajectories of different conceptions of the nature of light, in order to understand the view of science defended by the authors, the role of textbooks in scientific education and to propose reflections on how the views of science present in these works impact society. Therefore, we propose two studies: one aimed at the analysis of higher education textbooks, in which we are guided by the cosmopolitical proposal of Latour and Stengers, as well as the metalinguistic analysis of Bakhtin, in order to understand the role of the textbook in the construction of a “common world”; and another aimed at the analysis of textbooks for basic education, based on the typology proposed by Latour and Woolgar regarding the transformation of the ontological level of utterances. Comparing basic and higher education textbooks, we conclude that, as the literature points out, basic education textbooks reflect the theories and visions of science in higher education textbooks. Furthermore, we also concluded that the books differ in several aspects, either in relation to the ontological trajectory of the different conceptions of light, or in relation to the way in which the books make up the “common world”, but that there is a common characteristic to all works: they hide the controversies about the ontology of Quantum Physics. Finally, we emphasize that, in both works, we propose analytical devices that have methodological potential for the analysis of actants not ontologically stabilized in textbooks.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS E QUESTÕES DE PESQUISA.....	12
2 O FÓTON ESTÁ NU: O PAPEL DOS LIVROS DIDÁTICOS NA CONSTRUÇÃO DO MUNDO COMUM	16
2.1 INTRODUÇÃO	16
2.2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.2.1 <i>O fim do acordo de paz da(s) natureza(s) e a composição do mundo comum</i>	<i>18</i>
2.2.2 <i>Guerra no front da física: onda x partícula</i>	<i>20</i>
2.2.3 <i>O papel do livro didático para forjar o mundo comum e as trajetórias ontológicas da RE: uma análise discursiva.....</i>	<i>25</i>
2.2.4 <i>Dispositivo analítico para análise do papel do livro didático na composição do mundo comum</i>	<i>27</i>
2.2.5 <i>Análise da trajetória ontológica de actantes.....</i>	<i>29</i>
2.3 TRAJETÓRIA METODOLÓGICA.....	30
2.4 RESULTADOS.....	33
2.4.1 <i>As diferentes naturezas incorporadas nos livros didáticos</i>	<i>33</i>
2.4.2 <i>Trajetoira ontológica das proposições</i>	<i>40</i>
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS: O FÓTON ESTÁ NU	44
2.6 REFERÊNCIAS.....	47
3 ONDA OU PARTÍCULA? UM ESTUDO DAS TRAJETÓRIAS ONTOLÓGICAS DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA DA EDUCAÇÃO BÁSICA	52
3.1 INTRODUÇÃO	53
3.2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	56
3.2.1 <i>Estudos sociológicos das ciências.....</i>	<i>56</i>
3.2.2 <i>Estudos sociológicos na educação em ciências</i>	<i>57</i>
3.2.3 <i>Estabilização ontológica de actantes</i>	<i>59</i>
3.2.4 <i>Diferentes visões sobre a Natureza da Radiação Eletromagnética</i>	<i>61</i>
3.3 METODOLOGIA	64
3.4 ANÁLISE DE DADOS	67

3.4.1 <i>Análise tipológica dos enunciados na trajetória ontológica da natureza ondulatória e corpuscular da luz</i>	67
3.4.2 <i>Análise das formas de modalização de enunciados usados nos processos de construção das trajetórias ontológicas da luz como onda ou como partícula</i> 79	
3.5 CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES	83
3.6 REFERÊNCIAS.....	85
4 CONCLUSÃO	89
APÊNDICE A - O POSITIVISMO COMTIANO, A NÃO MODERNIDADE DE LATOUR E A CRISE DO PARADIGMA VIGENTE DE BOAVENTURA: O QUE A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA DEVE PRESERVAR DA MODERNIDADE E O QUE DEVE CRITICAR	91
APÊNDICE B - DIFERENTES CONCEPÇÕES ONTOLÓGICAS DA MECÂNICA QUÂNTICA NO LIVRO DIDÁTICO DO ATIVISTA QUÂNTICO AMIT GOSWAMI: UMA INTERPRETAÇÃO À LUZ DA TEORIA DO ENUNCIADO CONCRETO DE BAKHTIN	102

1 INTRODUÇÃO

O terror vivido durante as duas guerras mundiais, a crise das armas nucleares, as mutações climáticas e outros eventos catastróficos relacionados ao desenvolvimento científico-tecnológico, no decorrer do século XX, acabaram por provocar o surgimento de linhas de pensamento filosóficos que passaram a colocar em suspeição os pressupostos basilares do pensamento científico, como: o absolutismo epistemológico, a neutralidade e o salvacionismo científico (AULER; DELIZOICOV, 2001; CHALMERS, 1993). Filósofos como Feyerabend (2011), Kuhn (1996) e Latour (2017), por exemplo, sustentam que a ciência não é uma fonte de saber absoluto, e que não pode, portanto, ser vista como algo apartado das discussões sociais.

Neste trabalho, partimos do pressuposto de que a ciência é produto de uma cultura (SANTOS, 2019; SHIVA, 2003), inserida no contexto político-social de uma dada época e local e nos pautamos nos pressupostos filosóficos de Latour (2017). Segundo o autor, assim como qualquer outra cultura, a ciência não possui plena garantia de existência e depende de um vasto e complexo sistema circulatório, que vascularize as mais diferentes esferas da sociedade, a fim de ser difundida e estabilizada. Sob essa ótica, a educação em ciências e as ciências são interdependentes (LIMA et al., 2019), ou seja, apesar de possuírem objetivos e características próprias, a existência de uma depende da outra. Ademais, propomos que o livro didático (LD) tem papel fundamental nesse processo, sendo uma das formas como as teorias científicas e visões de ciência são apresentadas perante a sociedade (VAZATA et al., 2020).

Neste quadro teórico, o LD torna-se um recurso fundamental na educação em ciências, agindo como fonte básica de conhecimento científico para professores do ensino básico e superior (LIGHTMAN, 2016). Autores como Kuhn (1996)¹ destacam a importância desses manuais de instrução para a própria prática da ciência, pois são a base para o aprendizado do ofício científico. Assim, o LD pode ser entendido como um não-humano que participa do processo de estabilização ontológica dos entes físicos, causando um conseqüente aumento de realidade da própria ciência. Ademais,

¹ A primeira edição do livro foi publicada em 1962.

tendo características específicas em relação a outros tipos de escritas científicas, os manuais podem ser considerados um tipo de gênero do discurso (BAKHTIN, 2016), e suas estruturas linguísticas têm sido alvo de pesquisas por diversas vertentes (ADRIANA; MARTINS, 2007; CASSAB; MARTINS, 2008; CRISTINA; MARTINS, 2015; MARTINS, 2006).

Dado esse contexto, esta pesquisa centra-se no entendimento do papel do LD no ensino de ciências e na sociedade, utilizando como recorte o ensino de Física Quântica (FQ). Tal recorte se justifica dada a sua relevância: a FQ é um dos temas científicos em voga na sociedade, estando associado a movimentos como o misticismo quântico (GOSWAMI, 2017). No que diz respeito à própria disciplina de Física, a quântica se diferencia de outras teorias científicas por ainda não haver um consenso, dentro da comunidade científica, a respeito de sua ontologia (JAMMER, 1974; PESSOA JR., 2003), sendo campo de disputas desde sua formulação. Ela tem sido alvo, conseqüentemente, de diferentes estudos relacionados ao seu ensino, devido não somente a sua contemporaneidade, mas também as suas controvérsias ontológicas e à recorrente dificuldade de compreensão por parte de estudantes, e até mesmo de professores, de todos os níveis de ensino, rendendo como fruto uma produção numerosa de teses (LIMA, 2018; NETTO, 2015), artigos científicos (MARQUES et al., 2019; MONTENEGRO; PESSOA JR., 2002; PEREIRA; OSTERMANN, 2009) e livros (FREIRE JR; PESSOA JR.; BROMBERG, 2011; PESSOA JR., 2003).

Neste trabalho nos pautamos, portanto, na visão de ciência e política de Bruno Latour e Isabelle Stengers a fim de analisarmos as diferentes ontologias da dualidade onda-partícula em livros didáticos (LDs) de Física de educação básica e superior. Ademais, no intuito de aprofundarmos nossa análise discursiva, propomos uma aproximação entre os estudos científicos de Latour e a filosofia da linguagem de Mikhail Bakhtin. Entendemos que a base filosófica dos autores tem um grande potencial para analisar controvérsias científicas como o caso do problema da dualidade onda-partícula. A dissertação se divide em dois estudos: no capítulo 2 apresentamos um artigo em processo de submissão, destinado à análise de LDs de graduação; no capítulo 3 apresentamos um artigo original publicado em periódico da área de ensino de Física, destinado à análise de LDs de ensino básico. Apresentamos, primeiramente, o artigo destinado aos LDs de graduação, pois os de educação básica usualmente utilizam como sua principal referência livros de ensino superior e acabam

refletindo teorias e visões de ciências presentes nessas obras (FREIRE JR; PESSOA JR.; BROMBERG, 2011).

No primeiro estudo, analisamos as diferentes proposições ontológicas sobre o problema da dualidade onda-partícula em livros didáticos de graduação, com base nos artigos seminais de FQ de: Planck, Einstein, de Broglie, Schrodinger, Born e Bohr. Criamos uma categorização das proposições e buscamos, nos livros, enunciados que correspondessem a essas proposições. Com base nos dados, propomos duas análises: das trajetórias ontológicas de cada proposição, em cada livro, verificando possíveis estabilizações (LATOURE, 2017); e do papel desses LDs na composição do “mundo comum”, de acordo com a proposta cosmopolítica de Latour (2018) e Stengers (2018), a partir da análise da forma como as proposições são apresentadas. A fim de estruturarmos uma análise discursiva mais robusta, propomos uma aproximação entre os estudos de Latour e Woolgar (1997) e Bakhtin (2017), com base no artigo de (LIMA et al. (2018).

No segundo estudo, apresentamos um artigo original publicado na *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* (VAZATA et al, 2020), com enfoque na análise de livros didáticos da educação básica. Analisamos as trajetórias ontológicas de diferentes proposições sobre o problema da dualidade onda-partícula em três LDs aprovados no edital do Plano Nacional do Livro Didático 2018, com base nas quatro categorias de proposição (corpuscular, ondulatória, dualista realista e dualista positivista) propostas por Pessoa Jr (2003). Nesse trabalho, verificamos se alguma dessas categorias se estabilizavam ontologicamente (LATOURE; WOOLGAR, 1997), no contexto da Física Clássica e Moderna.

Além desses estudos, no anexo apresentamos dois trabalhos publicados em congresso: no apêndice A um trabalho publicado no Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (VAZATA; LIMA; OSTERMANN, 2020), em que buscamos compreender como a modernidade é entendida sob o ponto de vista de três diferentes pensadores; e, no apêndice B, um trabalho publicado no Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (VAZATA; LIMA; OSTERMANN, 2021), em que propomos uma análise metalinguística do LD do ativista quântico Amit Goswami.

Entendemos que a pluralidade de concepções em torno de elementos da Física Quântica deva ser explorada, no intuito de gerar uma discussão ampla sobre questões filosóficas e epistemológicas, propiciando um ensino de Física mais crítico em relação à natureza da ciência e suas relações político-sociais. Ressaltamos, ainda, que este

trabalho faz parte de um projeto de pesquisa que visa compreender com maior profundidade o papel do livro didático no ensino de ciências na educação científica (LIMA et al., 2018, 2019; LIMA; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2017; VAZATA et al., 2019), investigando os processos e mecanismos narrativos utilizados por autores desse gênero literário.

1.1 OBJETIVOS E QUESTÕES DE PESQUISA

a) Objetivo geral

Descrever e analisar os mecanismos e processos discursivos da estabilização da dualidade onda-partícula no contexto pedagógico-científico à luz dos Estudos das ciências de Bruno Latour.

b) Objetivos específicos

- i) Descrever os mecanismos e processos discursivos da estabilização ontológica da dualidade onda-partícula em livros didáticos da educação básica aprovados no edital do PNLDEM 2018.
- ii) Descrever os mecanismos e processos discursivos da estabilização ontológica da dualidade onda-partícula em livros didáticos de Física Quântica de ensino superior.
- iii) Discutir o papel do livro didático na composição do mundo comum, com base na proposta cosmopolítica de Isabelle Stengers.

c) Questões de pesquisa

- i) Quais proposições de dualidade onda-partícula aparecem nos livros didáticos de educação básica? Essas proposições são estabilizadas ontologicamente? Quais mecanismos discursivos estabilizam, ou não estabilizam, essas proposições?

- ii) Quais proposições de dualidade onda-partícula aparecem nos livros didáticos de ensino superior? Essas proposições são estabilizadas ontologicamente? Quais mecanismos discursivos estabilizam, ou não estabilizam, essas proposições?
- iii) Qual o papel do livro didático na composição do mundo comum?

Referências

- ADRIANA, C.; MARTINS, M. I. Analogias e metáforas nos livros didáticos de Física. **Caderno brasileiro de ensino de Física**, v. 27, p. 255–287, 2007.
- AULER, D.; DELIZOICOV, D. Alfabetização Científico-Tecnológica Para Quê? **ENSAIO – Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 03, n. 1, p. 1–17, 2001.
- BAKHTIN, M. **Os Gêneros do Discurso**. São Paulo: Editora 34, 2016.
- BAKHTIN, M. **Notas sobre literatura, cultura e ciências humanas**. São Paulo: Editora 34, 2017.
- CASSAB, M.; MARTINS, I. Significações de professores de ciências a respeito do livro didático. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 10, p. 1–24, 2008.
- CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?**: Editora Brasiliense, 1993.
- CRISTINA, M.; MARTINS, I. A recontextualização de discursos da pesquisa em educação em ciências em livros didáticos de ciências: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 15, p. 237–257, 2015.
- FEYERABEND, P. **Contra o método**. 2º ed. São Paulo: Unesp, 2011.
- FREIRE JR, O.; PESSOA JR., O.; BROMBERG, J. L. **Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais**. 1ºed. Campina Grande; São Paulo: EDUEPB; Livraria da Física, 2011.
- GOSWAMI, A. **The Everything Answer Book: How Quantum Science Explains Love, Death, and the Meaning of Life**. 1º ed. Charlottesville: Hampton Roads Publishing Company, 2017.
- JAMMER, M. **The philosophy of quantum mechanics: the interpretations of quantum mechanics in historical perspective**. New York: John Wiley & Sons, 1974.
- KUHN, T. **The structure of Scientific Revolutions**. 3º ed. Chicago: The University of Chicago Press, 1996.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos**. 3º ed. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997. ISSN 0034-7590.

LATOUR, B. **A Esperança de Pandora: ensaios sobre a realidade dos estudos científicos**. 1º ed. São Paulo: Editora UNESP, 2017.

LATOUR, B. Qual cosmos, quais cosmopolíticas? Comentário sobre as propostas de paz de Ulrich Beck. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, v. 68, p. 428–441, 2018. Available at: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-901X.v0i69p427-421>

LIGHTMAN, B. **A Companion to the History of Science**. Oxford: John Willey and Sons, 2016.

LIMA, N. W. et al. Um Estudo Metalinguístico sobre as Interpretações do Fóton nos Livros Didáticos de Física Aprovados no PNLDEM 2015: Elementos para uma Sociologia Simétrica da Educação em Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 1, p. 331–364, 2018.

LIMA, N. W. **O Lado Oculto do Fóton: A Estabilização de um actante mediada por diferentes gêneros do discurso**. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

LIMA, N. W. et al. Educação em Ciências nos Tempos de Pós-Verdade: Reflexões Metafísicas a partir dos Estudos das Ciências de Bruno Latour. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 155–189, 2019.

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**, p. 435–459, 2017.

MARQUES, T. C. de F. *et al.* Ensino de física moderna e contemporânea na última década: revisão sistemática de literatura. **Scientia Plena**, [s. l.], v. 15, n. 7, p. 1–8, 2019. Available at: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.074809>

MARTINS, I. Analisando livros didáticos na perspectiva dos Estudos do Discurso: compartilhando reflexões e sugerindo uma agenda para a pesquisa. **Proposições**, v. 1, n. 49, p. 117–136, 2006.

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

NETTO, J. S. **Complementaridade onda-partícula e emaranhamento quântico na formação de professores de Física segundo a perspectiva sociocultural**. Porto Alegre: Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

PEREIRA, A.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em ensino de ciências**. Porto Alegre. Vol. 14, n. 3, p. 393-420, v. 14, n. Vi, p. 393–420, 2009

PESSOA JR., O. **Conceitos de Física Quântica**. 1ºed. São Paulo: Livraria da Física, 2003.

SANTOS, B. de S. **O Fim do Império Cognitivo - A Afirmação das Epistemologias do Sul**. Belo Horizonte: Autêntica, 2019.

SHIVA, V. **Monoculturas da mente: perspectivas da biodiversidade e da biotecnologia**. 2ºed. São Paulo: Editora Gaia, 2003.

STENGERS, I. A proposição cosmopolítica. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, v. 69, p. 442–464, 2018. Available at: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-901X.v0i69p442-464>

VAZATA, P. A. V. et al. A Natureza da Luz no Contexto Clássico e Moderno: Uma análise de enunciados de um Livro de Física aprovado no PNLDEM 2018 a partir dos Estudos da Ciência de Bruno Latour. **XII ENPEC**. 2019.

VAZATA, P. A. V. et al. Onda ou Partícula? Um Estudo das Trajetórias Ontológicas da Radiação Eletromagnética em Livros Didáticos de Física da Educação Básica. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 20, p. 855–885, 2020. Available at: <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u855885>

VAZATA, P. A. V.; LIMA, N. W.; OSTERMANN, F. O positivismo Comtiano, a não modernidade de Latour e a crise do paradigma vigente de Boaventura: o que a Educação científica deve preservar da modernidade e o que deve criticar. **XVIII EPEF**. 2020. p. 1–8.

VAZATA, P. A. V.; LIMA, N. W.; OSTERMANN, F. Diferentes concepções ontológicas da Mecânica Quântica no livro didático do ativista quântico Amit Goswami: uma interpretação à luz da Teoria do Enunciado Concreto de Bakhtin. In: 2021. **XIII ENPEC**. 2021.

2 O FÓTON ESTÁ NU: O PAPEL DOS LIVROS DIDÁTICOS NA CONSTRUÇÃO DO MUNDO COMUM

2.1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do formalismo da Teoria Quântica (TQ) foi estabelecido no início do século XX e é válido até hoje. Por outro lado, desde sua formulação, diferentes ontologias foram propostas, como no caso do problema da dualidade onda-partícula em que visões ondulatórias, corpusculares e dualistas competem, sem que nenhuma delas tenha conseguido se estabilizar ontologicamente (Jammer, 1974). Diversas linhas de pesquisa se dedicam ao estudo dessas ontologias (Freire Jr et al., 2011), sua inserção no ensino (Montenegro & Pessoa Jr, 2002) e a forma como são apresentadas no livro didático (LD) (Lima et al., 2018; Pereira et al., 2019).

Apesar da pluralidade ontológica em torno da TQ, a pesquisa em educação científica aponta que os LDs de Física, de ensino básico e superior, usualmente não abordam essa discussão. Questões conceituais e filosóficas são suprimidas em detrimento de uma apresentação instrumentalista, silenciando as controvérsias em torno da teoria (Freire Jr et al., 2011), se alinhando, portanto, a visões de ciência positivistas e absolutistas. Desde o lançamento da obra *A estrutura das revoluções científicas* de Thomas Kuhn (1996), em que o autor defende que é a partir do LD que o paradigma vigente é apresentado aos cientistas, a educação científica tem se dedicado a compreender com mais profundidade a estrutura desses manuais e suas implicações para as ciências e para sociedade. Vazata et al. (2020), por exemplo, propõem que o LD é uma das formas como a ciência se faz representada perante a sociedade, fazendo parte do processo de formação do imaginário social sobre o que é ciência, além de serem de suma importância para que o fluxo sanguíneo da ciência permaneça em funcionamento (Latour, 2017a).

Dado esse contexto, podemos nos questionar sobre como essa forma instrumentalista de apresentar a TQ, nos LDs, impacta o ensino de ciências e a sociedade. Diversas linhas de pesquisa na educação científica criticam as visões de ciências alinhadas aos pressupostos positivistas e modernistas. As perspectivas de ensino socioculturais entendem as ciências, por exemplo, como uma atividade sociocultural humana (Lemke, 2001), que não pode ser dissociada do contexto social

de uma dada época e local. Neste mesmo sentido, o movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade questiona a neutralidade e o salvacionismo científico (Auler & Delizoicov, 2001; dos Santos & Mortimer, 2002), buscando promover uma proposta de pesquisa educacional alinhada a uma concepção de ciência não-neutra, não-absolutista e com foco no bem-estar social (Bencze et al., 2020; Hodson, 2003; Yacoubian & Hansson, 2020).

Estas perspectivas, no entanto, não rompem com uma metafísica central do modernismo: a realidade pautada em uma natureza única e inata. De acordo com Latour (2018) e Stengers (2018) as concepções modernistas sobre as ciências partem do pressuposto de que a realidade é obtida através de um processo *cosmopolita*: uma mononatureza transcendente que serve de base para o acesso ao conhecimento verdadeiro, cuja as ciências têm acesso privilegiado. A fim de não recairmos em uma cosmovisão de mundo etnocentrista, Eduardo Viveiros de Castro (1996), com base em perspectivas ameríndias, defende que precisamos considerar que humanos e não-humanos apreendem o mundo de formas distintas, e, portanto, veem naturezas distintas, ou seja, existem multinaturezas.

A partir dessa concepção de Eduardo Viveiros de Castro, Latour e Stengers propõem que a realidade é obtida através de um processo *cosmopolítico*: multinaturezas, não-transcendentes, que negociam na busca da estabilização de um “mundo comum” a todos. Com base nessa visão, defendemos que as proposições de Einstein, Schrodinger, dentre outros, a respeito do problema da dualidade onda-partícula, não são interpretações sobre uma natureza, e sim diferentes naturezas, tratando de diferentes entes no mundo, que negociam pela estabilização de um mundo comum. Nessa perspectiva, livros que escondem esse debate ontológico, são cosmopolitas; enquanto os que expõem, são cosmopolíticos.

A proposta cosmopolítica, apresentada neste artigo com o intuito de analisar e compreender as disputas em torno da TQ, pode ser utilizada para contribuir na resolução de outros conflitos de nosso tempo, como o caso do negacionismo científico, que tem influenciado cada vez mais em decisões políticas ao redor do globo (Latour, 2020a; Lima & Nascimento, 2022). Alguns autores acusam os Estudos Científicos, campo da sociologia que se dedica ao estudo das ciências e do qual Latour e Stengers fazem parte, de promoverem visões relativistas sobre as ciências, abrindo caminho para esses grupos negacionistas (Sokal & Bricmont, 1998). Latour, no entanto, defende o oposto do que o incriminam: devemos sim confiar na ciência,

pois ela sempre esteve preocupada com a construção de um mundo comum; sem, no entanto, recairmos em visões modernistas (Lima & Nascimento, 2022), ou seja, visões que considerem que exista uma natureza e uma verdade.

Dado esse contexto, nossas questões de pesquisa são as seguintes: qual a abordagem de livros didáticos de Mecânica Quântica no processo de composição de um possível mundo comum: cosmopolita ou cosmopolítico? Quais os recursos discursivos utilizados pelos autores em cada uma dessas abordagens? Como se dá a trajetória ontológica das proposições apresentadas nestas obras? Além disso, com base nessas discussões, propomos algumas reflexões a respeito da problemática: quais os compromissos políticos e pedagógicos de uma abordagem cosmopolita ou cosmopolítica em livros didáticos?

2.2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.2.1 O fim do acordo de paz da(s) natureza(s) e a composição do mundo comum

Os princípios filosóficos das ciências modernas causaram grande impacto na formação da cultura contemporânea, principalmente no mundo ocidental. Muitos pensadores se dedicam a entender, por diferentes perspectivas, as raízes desse pensamento e sua influência na estrutura social (Bachelard, 1996; Shiva, 2003; Stengers, 2002; Whitehead, 1925). Segundo Latour (1993), o que marca o nascimento da modernidade é o pressuposto de que podemos que podemos suprimir as dimensões sociais e discursivas dos dados científicos através de um processo de purificação. Latour aponta que essa crença na purificação é inviável, visto que os dados científicos só podem ser obtidos e interpretados a partir do intermédio dos cientistas. Tal crença estabelece a concepção de que o saber científico é absoluto e universal.

A partir do final do século XIX, no entanto, diversos movimentos filosóficos colocaram em suspeição essas concepções basilares da cultura científica. No período pós segunda Guerra, um desses movimentos, os estudos científicos, se dedicaram a estudar as relações entre as ciências e a sociedade (Collins, 2002). Alguns dos autores deste movimento promoveram o que ficou conhecido como a “virada ontológica” (Latour, 2017b; Stengers, 1996), movimento que se opunha à ruptura ontológica modernista entre natureza e sociedade, bem como sustentava que não

existe uma verdade nem uma única realidade (Lima & Nascimento, 2022), perspectiva encontrada também em cosmologias ameríndias (Castro, 1996).

Crítico da visão moderna, Latour (2017a) entende que a realidade deve ser vista como um gradiente e não como dois polos (existe/não existe), ou seja, podemos ter uma realidade ampliada ou uma realidade contraída. O filósofo se dedicou a estudar as ciências a partir dos estudos antropológicos do laboratório, analisando o processo de estabilização dos “fatos científicos” (Latour & Woolgar, 1997). Um fato científico, segundo Latour, é um não-humano que necessita ser articulado por um cientista (humano) a outros humanos (cientistas, políticos, educadores, jornalistas, empresários) e outros não-humanos (outros “fatos”, livros didáticos, artigos acadêmicos, testes de laboratório), criando redes. O trabalho do cientista é, portanto, estabilizar actantes² através da articulação e expansão de suas redes, a fim de torná-los autônomos. Deste modo, uma rede, ainda que pequena e pouco articulada, denota uma realidade. Diferentes coletivos, sobre um mesmo tópico, podem, portanto, coexistir. No entanto, estes coletivos possuem uma hierarquia de realidade, que pode ser observada a partir do tamanho das redes e da qualidade de suas articulações.

De acordo Latour (2019), a visão usual de política, no entanto, parte do princípio de que todos os humanos utilizam como base uma única natureza (uma única realidade), que por sua vez é inerte e usualmente dada pelo mundo ocidental europeu, e que age como princípio norteador dos acordos de paz. Neste contexto, as guerras e conflitos são fruto de visões diferentes de uma dada realidade, logo, para atingir a paz, basta uma reconciliação entre os humanos que divergem apenas no campo cultural. Dentro dessa concepção, existem multiculturas sobre uma mononatureza, transcendental e inerte. Esta visão, defendida, por exemplo, pelo sociólogo Ulrich Beck (Latour, 2018), corresponde à versão kantiana de resolução de conflitos, denominada **cosmopolita**: existe UM só cosmos, ao qual podemos ter, portanto, diferentes interpretações sobre o que ele é; sendo esse cosmos transcendente e independente do observador (Blaser, 2018).

Para Latour (2018) e Stengers (2018), no entanto, lidar com conflitos é algo muito mais complexo, pois, como discutido anteriormente, não há o conforto de uma mononatureza transcendental que possa ser utilizada como referência. Este modo modernista de resolução de conflitos inviabiliza a democracia, visto que se há uma

² Latour retira este termo da semiótica para se referir não somente a atores humanos, mas também não-humanos. Cientistas, a função de onda, educadores e livros didáticos são, por exemplo, actantes.

natureza transcendental, cujo acesso é obtido somente pelos cientistas, basta que um especialista encontre as respostas no cosmos e as coloque em prática. Na concepção dos autores, existem multinaturezas que competem, mediante a articulação de actantes, para estabilizarem um possível “mundo comum” a todos, a partir de um processo cosmopolítico. Este processo nunca acaba e nunca atinge uma estabilização total, visto que tanto humanos quanto não-humanos não são inertes, eles têm agência e participam ativamente nas redes, logo, as articulações não são inertes no processo cosmopolítico. Stengers defende que a resolução de conflitos ocorre, portanto, a partir de um processo **cosmopolítico**: existem MULTI cosmos, diferentes culturas podem ver cosmos diferentes, logo, o cosmos não é transcendente, ele depende do observador (Stengers, 2018).

Segundo Latour, a cosmopolítica deve ser orientada de modo a encontrar uma realidade comum a todos, uma singularidade. Neste sentido, a cosmopolítica serve para tentar articular um mundo comum, para que então se resolvam os conflitos, mas em hipótese alguma deve-se utilizar um mundo comum, pré-estabelecido por alguma cultura, como ponto de partida. Stengers, por sua vez, entende que a construção de uma singularidade pode acabar deixando de fora grupos historicamente invisibilizados (mulheres, negros, povos ameríndios e aborígenas, por exemplo), forjando um mundo comum muito próximo do cosmos transcendente da proposta cosmopolita. Deste modo, Stengers pede um freamento da construção do um mundo comum³.

2.2.2 Guerra no front da física: onda x partícula

Há guerra no front das ciências. O front científico, a partir de uma concepção de mundo estabilizado, guerreia por uma posição de “verdade” quanto à natureza de diferentes actantes. A disputa em relação à natureza da luz se configura como uma das mais sangrentas; uma batalha em campo aberto entre ontologias corpusculares, ondulatórias e dualistas. Diferentemente de outros campos da pesquisa científica, não há composição de um mundo comum na Física Quântica. Diferentes proposições da radiação eletromagnética (RE) competem, através de um processo cosmopolítico, a fim de se estabelecerem como uma proposição estabilizada.

³ Um exemplo de conflito entre multinaturezas pode ser encontrado no artigo (Blaser, 2018). O autor se baseia na proposta cosmopolítica de Stengers e Latour a fim de resolver um conflito entre autoridades locais, de uma cidade do Canadá, e comunidades autóctones sobre a caça de renas.

A ontologia da luz tem sido alvo de discussão há séculos. Diversos físicos como Newton e Huygens exploraram o tema sob diferentes óticas, buscando compreender sua forma e características. Um dos pontos de discussão mais polêmicos que vigora até hoje é em relação a sua natureza ondulatória ou corpuscular. Ao longo do século XIX, no entanto, essa discussão arrefeceu, pois a ontologia ondulatória da luz se estabilizou. Diversos fenômenos relacionados ao problema de difração e interferência da RE já haviam sido amplamente estudados por Fresnel, Young, dentre outros, e a concepção ondulatória da luz respondia excepcionalmente bem a eles. Ademais, em 1861 James Maxwell havia estruturado a união das Leis do Magnetismo e da Eletricidade, criando a teoria eletromagnética, que descrevia a luz como resultado da combinação do campo magnético e elétrico viajando como uma onda num campo contínuo. Tais previsões teóricas ainda seriam corroboradas pelos experimentos de Heinrich Hertz em 1886.

Neste momento a rede sociotécnica da RE ondulatória de campos contínuos dispunha de uma série de actantes humanos (Maxwell, Young, Hertz), assim como de actantes não humanos (teoria eletromagnética, explicação de fenômenos ondulatórios de interferência), que se articulavam de forma a se estabilizar ontologicamente. Ademais, o eletromagnetismo, a termodinâmica e a mecânica se estabeleciam como os pilares do que conhecemos como Física Clássica (Lima et al, 2020).

No entanto, no final do século XIX havia um fenômeno que não conseguia ser explicado a partir das teorias existentes. Em 1860 Gustav Kirchhof havia proposto um corpo idealizado, chamado corpo negro (corpo que absorve toda a radiação incidente e posteriormente a emite). O espectro de emissão de radiação do corpo negro não conseguia ser explicado estritamente a partir do eletromagnetismo e da termodinâmica clássicas. Havia o modelo de Wien e o modelo de Rayleigh que descreviam, cada um, parte do espectro de emissão. No entanto, somente Planck a partir da interpolação de ambas as teorias conseguiu propor uma equação da radiação do corpo negro que contemplasse todo o espectro. Em sua tentativa de explicar esse espectro, Planck propõe que os átomos do corpo negro emitem radiação como um oscilador harmônico em um conjunto discreto de frequências. Planck, portanto, sugere que a emissão de energia de radiação do corpo negro é quantizada.

A quantização de Planck teve como consequência um processo de desestabilização ontológica da luz enquanto onda ao longo da primeira metade do século XX, visto que causou uma grande revisão das teorias físicas (Jammer, 1966);

a natureza da luz mais uma vez foi posta em xeque. Além dos embates entre concepções ondulatórias e corpusculares, houve também disputas entre concepções realistas e idealistas da RE. Neste cenário, o realismo está associado à concepção de que existe uma realidade “lá fora” independentemente de um observador, como no caso das ondas de Schrodinger. Em contrapartida, o idealismo está associado a concepção de que a consciência humana tem papel crucial na descrição dos entes, como no caso da complementaridade de Bohr⁴.

Dentro deste contexto, diversos físicos da época buscaram descrever a natureza da RE. Lima et al. (2020) estudaram os artigos originais de Einstein, De Broglie, Schrodinger, Born e Bohr, a fim de identificar como estes autores concebiam a natureza da luz. Com o mesmo propósito, estudamos os artigos originais desses mesmos autores, incluindo também a concepção ontológica de Max Planck, criando nossa própria categorização. A partir desta taxonomia, investigamos em livros didáticos de graduação quais delas estavam presentes. Abaixo descrevemos as principais características dessas proposições, trazendo citações diretas dos artigos seminais.

Proposição 1 – Ondulatória clássica – Planck (1901): o autor não possui uma visão quantizada da RE. Na concepção de Planck, a radiação interage com a matéria, a qual possui osciladores com energia quantizada, como ilustrado no trecho a seguir “É evidente que agora a distribuição dos P elementos de energia entre os N ressonadores só pode ocorrer segundo um número finito e determinado de maneiras.” (Planck, 2000, p. 539). A luz se propaga como uma onda eletromagnética clássica. Sua visão é **ondulatória e realista**.

Proposição 2 – Corpuscular – Einstein (1905): esta é a primeira proposição que busca revisar a visão ondulatória da radiação eletromagnética. Para Einstein, a luz “...consiste de um número finito de quanta de energia que estão localizados em pontos do espaço que se movem sem se dividir e que podem ser emitidos e absorvidos em unidades completas.” (Einstein, 1987, p. 86). Sua visão é **corpuscular e realista**.

⁴ Estas definições de realismo e idealismo são descrições simplificadas e destinadas a uma melhor compreensão das posições filosóficas associadas as diferentes proposições da RE, dispostas neste artigo. Dentro da filosofia existem diversas concepções de realismo e idealismo, uma melhor descrição destas posições filosóficas pode ser apreciada no livro (Pessoa Jr, 2003), relacionada ao contexto da Mecânica Quântica e no artigo (Pessoa Jr, 2009), em um contexto mais geral.

Proposição 3 – Dualista realista – De Broglie (1923, 1924): De Broglie apresentou sua primeira proposição em 1922, adotando uma perspectiva corpuscular realista, mas nos anos subsequentes já apresentou algumas modificações. Sua característica mais marcante é a noção de onda piloto. Segundo o autor, “... qualquer corpo em movimento deve ser acompanhado de uma onda e que é impossível dissociar o movimento do corpo e a propagação da onda.” (de Broglie, 1924, p. 450, tradução nossa). Como fica claro em outro trecho do artigo, De Broglie busca reintegrar a visão corpuscular com a ondulatória: “Eu assumirei no presente artigo a existência real dos quanta de luz, e tentarei mostrar como é possível reconciliar com ela as fortes evidências experimentais baseadas na teoria ondulatória.” (de Broglie, 1924, p. 446, tradução nossa). Outras características que diferenciam a visão do autor são sua proposição ter como base a relatividade e sua descrição dos quanta como objetos detentores de massa. Sua visão é, portanto, **dual⁵ e realista**.

Proposição 4 – Ondulatória – Schrodinger (1926): apresenta uma proposição estritamente ondulatória. Ideias como trajetória e partícula são apenas abstrações de fenômenos puramente ondulatórios.

“É certo que o caminho individual de um ponto de massa perde seu significado físico adequado e se torna tão fictício quanto o raio de luz individual isolado. A essência da teoria, o princípio mínimo, no entanto, permanece não apenas intacto, mas revela seu significado verdadeiro e simples apenas sob o aspecto ondulatório, como já se explicou.” (Schrodinger, 1933, p. 309).

Inicialmente Schrodinger imaginava que sua proposta de função de onda descrevia uma onda usual, mas ao longo de seus estudos percebeu que se tratava de uma onda mais complexa (fala em ψ como uma função-peso no espaço de configuração), visto que representa entes de natureza contínua, ou seja: a luz, processos mecânicos e matéria são ondas. Sua proposta é **ondulatória e realista**.

⁵ Segundo os autores, um sistema é considerado dual “Apenas quando um determinado sistema físico pode ser descrito tanto por um quadro ondulatório quanto por um quadro corpuscular na mesma escala...” (Lima et al., 2020, p. 4). Esta definição foi proposta por (Martins & Rosa, 2014).

Proposição 5 – Probabilística – Born (1926): o autor apresenta uma teoria probabilística bem estruturada para descrever fenômenos quânticos. Segundo o autor a $\int_A^B \psi * \psi dx$, é a probabilidade de encontrar a partícula entre A e B, ou seja:

“...nós deveríamos conectar as equações de onda com uma imagem como essa: as ondas satisfazendo a equação não representam o movimento das partículas de matéria de forma nenhuma; elas apenas determinam os possíveis movimentos, ou ainda os estados, da matéria. Matéria sempre pode ser visualizada como constituindo de massas pontuais (elétrons, prótons).” (Born, 1926, p. 355).

Sua visão coloca, portanto, em suspeição o determinismo da Física ao propor uma reinterpretação da função de onda ψ . Não fica claro se sua interpretação da função de onda de Schrodinger corresponde a um ente real (Lima et al. 2020). Portanto, sua posição filosófica está mais próxima de uma concepção idealista. Em resumo, sua proposição é **probabilística** e se aproxima de uma visão **corpuscular** e **idealista**.

Proposição 6 – Dualista Idealista – Bohr (1928): conhecida como o Princípio da Complementariedade, Bohr propõe que com apenas uma única proposição não é possível explicar a natureza da RE. Sua visão difere de outras visões duais, pois as visões corpuscular e ondulatória se complementam. Além disso, o que define a visão adequada é o aparato experimental, ou seja, somente depois da medição é que podemos tirar conclusões sobre a ontologia do ente. A possibilidade de identificar a trajetória do ente caracteriza um corpúsculo, enquanto que a visualização do padrão de interferência denota caráter ondulatório. Segundo Bohr:

“...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.” (Bohr, 1995, p. 51)

De acordo com o autor “...os fenômenos complementares aparecem em arranjos experimentais mutuamente excludentes...” (Bohr, 1995, p. 59). Ou é onda (pautado no programa de pesquisa de Schrodinger), ou é partícula (pautado no programa de pesquisa de Heisenberg). Sua proposição é **dualista** (onda ou partícula)

e **idealista**, visto que só faz sentido determinar o que é a luz após a medição do observador.

Proposição 7 – Híbridização: eventualmente os autores de LDs mesclam a ontologia de duas ou mais proposições. Consideramos esses trechos, portanto, como uma nova categoria, que reflete a concepção ontológica do próprio autor da obra sobre a luz.

2.2.3 O papel do livro didático para forjar o mundo comum e as trajetórias ontológicas da RE: uma análise discursiva

Os livros didáticos, como citado anteriormente, são não-humanos que compõem a rede de actantes da ciência, fazendo com que o fluxo sanguíneo da ciência se mantenha em pleno funcionamento (Vazata et al. 2020). Estas obras são um documento de referência para professores do ensino básico e superior, de modo a apresentar à sociedade não somente teorias científicas como também a concepção sobre “o que é ciência” e qual seu papel na sociedade. Deste modo, analisar e compreender com profundidade as concepções filosóficas que permeiam este documento é de fundamental importância para forjarmos uma educação científica que proponha reflexões acerca das relações entre as ciências e os problemas sociais e ambientais do antropoceno.

Nas seções anteriores discutimos sobre como os cientistas buscam estabilizar as redes de actantes e como, de acordo com as perspectivas cosmopolita e cosmopolítica, o mundo comum é forjado. Além disso, apresentamos uma discussão sobre a não composição de um mundo comum a respeito da ontologia da RE. Dentro deste cenário, estamos interessados em compreender como os autores de LDs de Quântica de graduação incorporam as proposições sobre a radiação eletromagnética no contexto da Física Moderna e como eles abordam este conflito.

Neste contexto, compreender o processo de composição do mundo comum envolve analisar as redes de actantes e o discurso presente nessas obras. Latour & Woolgar (1997), em *A vida de Laboratório*, descrevem que o processo de estabilização ontológica de um actante, em artigos científicos, se dá mediante a transformação discursiva. Para Latour um actante é um híbrido de algo que é natural, social e discursivo. Deste modo, estabilizar um actante envolve, também, estabilizar o discurso. Ao longo do processo de estabilização do discurso, enunciados com baixo

grau de realidade são transformados gradualmente em enunciados com alto grau de realidade. Esse processo de estabilização deixa rastros discursivos (Latour & Woolgar, 1997), e já foi nosso alvo de pesquisa em trabalhos anteriores (Vazata et al., 2018, 2019, 2020). No presente artigo, bem como em nossos trabalhos anteriores, estendemos a análise de Latour, que investigou somente artigos científicos, para estudar a trajetória ontológica de actantes em LDs.

No presente trabalho, com o intuito de aprofundar essa análise discursiva, propomos uma aproximação entre os estudos científicos de Latour e os estudos da linguagem de Bakhtin. Ambos autores, Latour e Bakhtin, embora tenham como foco de estudo campos diferentes, um direcionado às linguagens e outro às ciências, possuem interseções que permitem uma aproximação teórica que tem o potencial de enriquecer análises de LDs de ciências (Lima et al., 2018). Latour, como citado anteriormente, entende que expandir a realidade de um actante envolve transformar o discurso. Bakhtin, por sua vez, entende que os textos não possuem uma realidade intrínseca, visto que, para ele, um texto não se encerra em si mesmo, uma vez que o contexto extra verbal, tanto do autor quanto do leitor, compõe seu significado (Bakhtin, 2011).

Ademais, além das interações entre autor e leitor, um texto também dialoga com outros textos. O livro didático, por exemplo, possui determinadas características discursivas, ou seja, faz parte de um tipo específico de gênero do discurso (Bakhtin, 2016). Ao escrever um LD de Física de graduação, o autor seguirá certo estilo de escrita e certa estrutura de capítulos para apresentação dos conceitos, dialogando com outros livros do mesmo gênero. Por outro lado, também necessita dialogar com os artigos seminais dos cientistas que propuseram as teorias que são apresentadas na obra (Lima et al., 2018). Logo, o LD é o resultado do diálogo de diferentes textos, acrescidos do excedente de visão do próprio autor. Além disso, como a leitura do texto também incorpora o contexto extraverbal do leitor, os significados do livro são potencialmente infinitos (Bakhtin, 2017).

Deste modo, o livro didático não é uma mera descrição dos artigos originais, mas sim uma interpolação entre a estrutura e o estilo do gênero do discurso ao qual ele pertence, o conteúdo dos artigos originais e o excedente de visão do autor da obra. Podemos investigar a estrutura deste diálogo a partir da análise do **discurso citado** (Bakhtin, 2006), pois “A análise literária de Bakhtin levou-o a concluir que a forma como o discurso aparece citado no texto (isto é, o estilo da escrita, envolvendo as

escolhas gramaticais e fraseológicas) está intimamente ligada com a visão de mundo do autor.” (Lima et al., 2018, p. 346).

A partir da análise do discurso citado, portanto, além de identificar as diferentes naturezas da luz presentes nessas obras, podemos verificar também como estas proposições são apresentadas pelos autores, de modo a compreender qual o papel desses livros no processo de composição do mundo comum. Entendemos que os livros podem cumprir dois papéis: **livros cosmopolitas**, ou seja, livros que partem do princípio que há uma natureza pré-determinada a ser descrita, ocultam as disputas entre os actantes para se estabilizarem e estão a serviço de uma ciência autoritária e tecnocrata; **livros cosmopolíticos**, ou seja, livros que não utilizam como referência uma natureza transcendente e que explicitam as disputas entre os actantes para se estabilizarem, colocando-se a serviço de uma ciência democrática e dialógica.

2.2.4 Dispositivo analítico para análise do papel do livro didático na composição do mundo comum

Para compreender qual o papel dos livros didáticos de ciências no processo de composição de um possível mundo comum, criamos uma metodologia de análise a partir da integração dos referenciais teóricos discutidos acima. Em nossa análise os livros são classificados em quatro categorias referentes a uma possível composição de mundo comum. A classificação é sintetizada na figura 1 abaixo. Cada categoria corresponde a uma maneira distinta de incorporar as naturezas dos actantes. Neste trabalho, nosso olhar está direcionado para a análise da RE, no entanto, este método pode ser utilizado para analisar qualquer actante que ainda não esteja estabilizado.

Primeiramente dividimos os livros em relação à **quantidade** de naturezas encontradas nos textos: *à esquerda* são catalogadas as obras **mononatureza**, ou seja, uma única natureza é apresentada ou o autor apresenta várias, mas defende somente uma delas; *à direita*, são catalogados os livros **multinatureza**, ou seja, mais de uma natureza é apresentada e o autor não defende nenhuma em específico. Posteriormente dividimos as obras em relação à **forma** como essas naturezas são apresentadas pelo autor: *abaixo* são catalogados os livros em que o autor **não explicita as fronteiras** entre as diferentes naturezas, ou seja, não demonstra que há possibilidade de existirem outras naturezas; *acima* são catalogadas obras em que o autor **explicita as fronteiras** entre as naturezas, ou seja, expõe que há mais de uma

possibilidade de naturezas. Na sequência descrevemos sucintamente as principais características dos livros de cada uma dessas categorias:

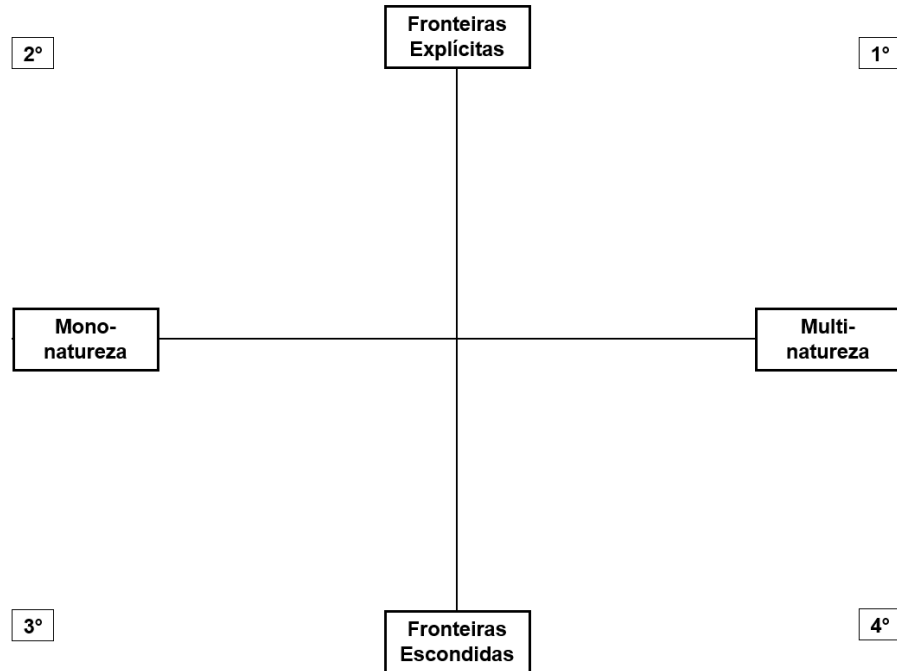


Figura 1: possibilidade de incorporação das diferentes naturezas de um actante em livros didáticos.

4º Quadrante: multinaturezas são encontradas no texto e o autor não delimita fronteiras explícitas que as distingua. Um livro desta categoria é *cosmopolita*, pois apesar de conter diferentes naturezas, parte de uma natureza pré-posta e não apresenta as disputas entre elas para se estabelecerem como uma proposição vitoriosa.

3º Quadrante: obra mononatureza, sendo que o autor não apresenta nenhuma outra possibilidade de natureza além da defendida por ele. Livros desta categoria são também *cosmopolitas*, pois partem do princípio que existe somente uma natureza e não há apresentação de qualquer tipo de disputa entre diferentes proposições.

2º Quadrante: obra mononatureza, em que o autor defende também uma única proposição. Ao contrário da categoria anterior, no entanto, são apresentadas outras naturezas e as demarcações de suas diferenças são claras. Como as demais categorias, estes livros também são *cosmopolitas*, pois mesmo que os autores apresentem as fronteiras entre as naturezas, assumem que somente uma é

verdadeira e que as demais possuem erros de interpretação, já superados, de uma natureza pré-posta.

1° Quadrante: multinaturezas são encontradas no texto e o autor delimita com clareza as fronteiras que as distinguem. Os livros desta categoria são os únicos *cosmopolíticos*, visto que são apresentadas várias naturezas possíveis, e as fronteiras e disputas entre as naturezas são explicitadas a partir dos potenciais e limites explicativos de cada uma delas.

2.2.5 Análise da trajetória ontológica de actantes

Além de analisar a forma como os autores apresentam o conflito para a composição do mundo comum da RE, estamos interessados também em verificar quais as proposições que estão participando deste conflito e como se dá a trajetória ontológica delas. Latour & Woolgar (1997) supõem que os LDs apresentam um discurso já estabilizado, – diferentemente do que, segundo eles, acontece nos artigos científicos – com uma visão próxima a de Kuhn (1996), que acredita que esses manuais são a forma como o paradigma científico vigente é apresentado aos cientistas em formação. Nossas pesquisas, no entanto, indicam que o cenário é mais complexo, visto que encontramos diferentes formatos de trajetórias ontológicas em LDs, ao menos em relação à RE (Trein et al., 2020; Vazata et al., 2020).

A partir da classificação dos enunciados, presentes nos livros, de acordo com as sete proposições descritas neste capítulo, podemos observar as características da trajetória ontológica da RE. Em um gráfico de linha em que o eixo horizontal representa a ordem cronológica em que aparecem os enunciados e o vertical as categorias de proposições (da mais antiga para a mais nova), distinguimos cinco padrões de trajetórias ontológicas, assim designadas: *a) Estabiliza com a história:* o autor parece contar a história do surgimento das proposições; observa-se uma trajetória ascendente, estabilizando em uma das proposições mais recentes dentre as analisadas; *b) Estabiliza em uma proposição:* a trajetória não apresenta um padrão até que se estabiliza em uma proposição; *c) Estabiliza em duas ou mais proposições:* a trajetória não apresenta um padrão até que se estabiliza em torno de duas ou mais proposições; *d) Não estabiliza em nenhuma proposição:* em nenhum momento a trajetória estabiliza em alguma proposição; *e) Mono-proposição:* o gráfico é uma reta horizontal, partindo de uma proposição, em relação ao eixo x.

2.3 TRAJETÓRIA METODOLÓGICA

A metodologia adotada neste trabalho pode ser entendida como uma interpretação de textos (Bakhtin, 2017; Lima et al., 2018). Interpretamos textos em livros didáticos e textos de artigos originais. A partir da interpolação destes textos, e com base em nosso referencial teórico, criamos um texto.

Esse estudo, por sua vez, também é uma produção única carregada com o nosso excedente de visão, logo, é somente uma possível interpretação da estrutura ontológica e discursiva dos livros didáticos de graduação. No entanto, tal produção não possui a mesma realidade e coerência que qualquer interpretação, visto que em nossa interpretação nos associamos a outras redes, que por sua vez, não necessariamente serão as mesmas de uma outra interpretação. Uma interpretação, por exemplo, que não se associasse aos artigos originais teria uma rede menor com articulações mais fracas, o que a tornaria uma interpretação com realidade contraída em relação à nossa. Abaixo, descrevemos a trajetória metodológica em duas partes. A primeira se refere ao processo de coleta de dados e a segunda ao processo de análise dos dados.

Parte 1 - Coleta de dados

a) Escolha do actante

Escolhemos analisar a radiação eletromagnética devido ao fato de que, no contexto da Física Moderna, sua realidade ainda é fruto de controvérsias. Além disso, como existe uma grande quantidade de naturezas da RE, foi necessário escolher algumas delas. As proposições selecionadas não refletem as concepções atuais da RE, mas foram escolhidas devido ao seu potencial pedagógico, visto que são usualmente apresentadas em disciplinas de TQ (Lima et al., 2020).

b) Escolha dos livros didáticos analisados

A seleção dos livros se deu mediante pesquisa da bibliografia prescrita nas ementas das disciplinas de FQ de nível básico e avançado em cursos de Física Bacharelado/Licenciatura em cinco Instituições de Ensino Superior do Brasil,

representando as cinco regiões do país. São elas: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Região Sul), Universidade de São Paulo (Sudeste), Universidade Federal do Pará (Região Norte), Universidade de Brasília (Região Centro-Oeste) e Universidade Federal do Cariri (Região Nordeste). Seleccionamos os livros que apareciam com maior frequência nas ementas destas disciplinas: *Quantum Mechanics* (Cohen-Tannoudji et al. 1991), *Física Moderna* (Caruso & Oguri, 2006), *Quantum Physics* (Eisberg & Resnick, 1985), *Introduction to Quantum Mechanics* (Griffiths, 2005), *Quantum Physics* (Gasiorowicz, 2003), *Quantum Mechanics* (Merzbacher, 1998), *Quantum Mechanics* (Messiah, 1961), *Modern Quantum Mechanics* (Sakurai, 1994).

No intuito de compor um amplo quadro de livros analisados, solicitamos indicações de livros utilizados por professores de FQ do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Os livros sugeridos foram: *Introductory Quantum Mechanics* (Liboff, 2003), *Quantum Mechanics* (Schiff, 1949), *Principles of Quantum Mechanics* (Shankar, 1994), *Quantum Mechanics* (Auletta et al., 2009), *Quantum Mechanics* (Blokhintsev, 1964), *Quantum Theory* (Bohm, 1951), *Quantum Mechanics* (Goswami, 1997), *Quantum Mechanics* (Greiner, 2001), *Quantum Mechanics* (Gottfried & Yan, 2003), *Introduction to Modern Physics* (Richtmyer & Kennard, 1947), *Quantum Mechanics Non-Relativistic Theory* (Landau & Lifshitz, 1997) e *The Elements of Quantum Mechanics* (Dushman, 1938).

c) Escolha dos textos

Seleccionamos, a partir do sumário, quais capítulos de cada livro referiam-se à descrição das proposições selecionadas.

d) Seleção dos enunciados

Após a seleção dos capítulos começamos o processo de extração dos enunciados sobre a dualidade onda partícula. No intuito de nortear a busca, seleccionamos algumas palavras-chaves: *dualidade*, *fóton*, *onda-partícula*, *ondas eletromagnéticas*, *onda piloto*, *quantum* e *corpúsculo*. Após a leitura do capítulo, os enunciados que continham as palavras-chave, acima referidas, foram catalogados em uma tabela na ordem em que apareciam no livro. Para cada livro foi criada uma tabela.

e) *Classificação dos enunciados de acordo com sua proposição*

As categorias de proposições são as seguintes: 1) Ondulatória Clássica, 2) Corpuscular, 3) Dualista Realista, 4) Ondulatória, 5) Probabilística, 6) Dualista Idealista e 7) Hibridização. Enunciados que não continham descrição ontológica ou que não se remetiam às proposições acima descritas, foram desconsiderados.

Parte 2 - Análise dos dados

Primeira análise: classificação dos livros em relação ao seu papel para forjar o mundo comum

Desenvolvemos um dispositivo analítico, sintetizado na Figura 1, conforme descrito na seção 2.3. A análise se divide em duas etapas:

1º Etapa - a partir da catalogação das proposições, os LDs foram divididos em:

- **Mononatureza**, à esquerda na figura: livros que apresentam ou defendem somente uma proposição.
- **Multinatureza**, à direita na figura: livros que apresentam duas ou mais proposições.

2º Etapa - a partir da análise do discurso citado, os LDs foram divididos em:

- **Fronteiras escondidas**, abaixo na figura: livros **sem** uma estrutura clara que separe as proposições (separação por parágrafo ou categoria); e com escolhas fraseológicas, em relação à natureza dos verbos utilizados, que atribuam **alto** grau de realidade a uma determinada proposição, invisibilizando as demais, como no exemplo a seguir: “a luz **é** composta de corpúsculos”.
- **Fronteiras explícitas**, acima na figura: livros **em que há** uma estrutura clara que separe as proposições; e com escolhas fraseológicas, em relação à natureza dos verbos utilizados, que atribuam **baixo** grau de realidade às diferentes proposições, viabilizando a existência de outras naturezas, como no exemplo a seguir: “**De acordo com Einstein** a luz **seria** composta de corpúsculos”.

Os livros podem ocupar, portanto, um dos quatro quadrantes da Figura 1, nomeados a seguir: 4° Quadrante: Livro cosmopolita multinaturezas; 3° Quadrante: Livro cosmopolita mononatureza implícito; 2° Quadrante: Livro cosmopolita mononatureza explícito; 1° Quadrante: Livro cosmopolítico.

Segunda análise: classificação dos livros em relação a estabilização do actante

A partir da classificação dos enunciados, criamos um gráfico de linha para cada livro. O **eixo x** representa os enunciados na ordem em que aparecem nos livros, enquanto o **eixo y** representa as sete categorias de proposição. Os livros foram classificados nas seguintes categorias:

- a) Estabiliza com a história
- b) Estabiliza em uma proposição
- c) Estabiliza em duas ou mais proposições
- d) Não estabiliza em nenhuma proposição
- e) Mono-proposição

2.4 RESULTADOS

Nesta seção apresentamos os resultados obtidos a partir da análise dos enunciados dos livros didáticos. A seção 4.1 se refere a análise da abordagem de livros didáticos de Mecânica Quântica no processo de composição de um possível mundo comum: cosmopolita ou cosmopolítico. A seção 4.2 se refere a análise da trajetória ontológica das proposições.

2.4.1 As diferentes naturezas incorporadas nos livros didáticos

Em nossa primeira análise, classificamos os livros em um dos quatro quadrantes da Figura 1. Nossa classificação está explicitada na Figura 2. Para cada quadrante trazemos uma exemplificação do processo de classificação dos livros.

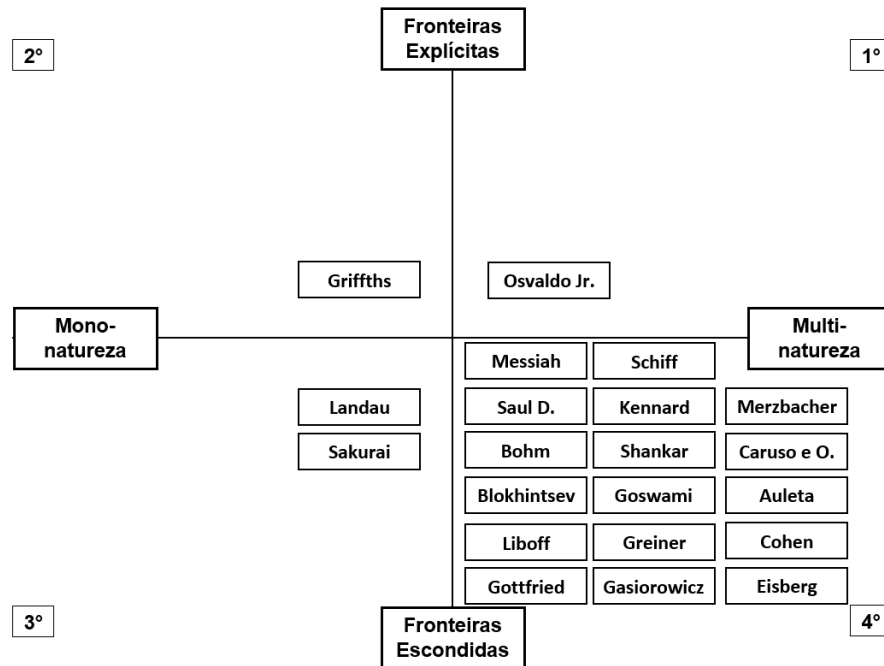


Figura 2: classificação dos livros de acordo com as diferentes possibilidades de incorporação das diferentes naturezas da radiação eletromagnética.

4º Quadrante

O quarto quadrante se refere aos livros que apresentam mais de uma natureza possível para a RE, e que não explicitam as fronteiras entre as diferentes naturezas. Esta é a categoria com mais obras catalogadas, e parece ser o caminho usual dos livros didáticos de Quântica de graduação. Classificamos o livro *Quantum Physics* (Eisberg & Resnick, 1985), há décadas muito utilizado no ensino superior, nesta categoria. Os autores apresentam seis das sete possibilidades de natureza da luz definidas neste artigo. A proposição 4 – Schrodinger (1926) – foi a única não encontrada. Os autores apresentam diferentes proposições e denotam a elas alto grau de realidade (Latour & Woolgar, 1997).

No enunciado abaixo, por exemplo, os autores afirmam que o experimento de Compton forneceu “uma **confirmação dramática**” para a proposição de Einstein (1905).

“A natureza corpuscular (semelhante a uma partícula) da radiação recebeu uma confirmação dramática em 1923 a partir dos experimentos de Compton. [...] o feixe de raios-X de entrada não era uma onda de frequência ν , mas uma coleção de fótons, cada um com energia $E = h\nu$, e que esses fótons colidiram com elétrons livres [...]” (Eisberg & Resnick, 1985, p. 34, tradução nossa).

No entanto, em um trecho posterior, os autores afirmam que só é possível descrever o comportamento da luz a partir das visões complementares de onda e partícula, sendo que sua natureza é definida pela medida, de acordo com a proposição de Niels Bohr (1928). Os autores imputam alto grau de realidade a esta proposição, como destacado no trecho a seguir “se uma medição **prova o caráter ondulatório** da radiação ou matéria, então é **impossível provar o caráter da partícula** na mesma medição e vice-versa.”. Ou seja, os autores destacam que considerar somente o caráter ondulatório ou corpuscular é uma concepção incompleta da realidade da radiação. Na última linha os autores retomam “radiação e matéria **não são** simplesmente ondas **nem simplesmente partículas.**”

“Neils Bohr resumiu a situação em seu princípio de complementaridade. Os modelos de onda e partícula são complementares; se uma medição prova o caráter ondulatório da radiação ou matéria, então é impossível provar o caráter da partícula na mesma medição e vice-versa. O modelo que usamos é determinado pela natureza da medição. Além disso, nosso entendimento da radiação, ou da matéria, é incompleto a menos que levemos em consideração as medidas que revelam os aspectos das ondas e também aquelas que revelam os aspectos das partículas. Conseqüentemente, radiação e matéria não são simplesmente ondas nem simplesmente partículas.” (Eisberg & Resnick, 1985, p. 63, tradução nossa).

As proposições defendidas nos enunciados apresentados são ontologicamente contraditórias, visto que a proposição de Einstein é estritamente corpuscular e realista, enquanto a de Bohr é dualista e idealista. O autor, portanto, afirma categoricamente que a natureza da luz é corpuscular, ao mesmo tempo em que afirma que é dualista sem, no entanto, viabilizar a possibilidade de que elas possam coexistir ou que tenham algum tipo de limitação na explicação de fenômenos. A partir desta análise podemos destacar algumas conclusões sobre esta categoria:

- Apesar dos autores apresentarem diferentes naturezas para a RE, eles escondem que há disputas entre elas, visto que: não há comparações entre elas; há um alto grau de realidade para ambas; não há uma estrutura clara que as distinga ou as classifique.
- São **ontologicamente contraditórios**, visto que imputam alto grau de realidade a naturezas antagônicas.

- Sua abordagem é **cosmopolita**, pois não apresentam as controvérsias entre as naturezas e agem como se houvesse uma natureza pré-posta.
- O papel deste LD é construir uma ciência autoritária, linear e racional.

3° Quadrante

O terceiro quadrante se refere aos livros que apresentam somente uma proposição para a radiação eletromagnética, sem mostrar que existem outras possibilidades de natureza. O livro *Modern Quantum Mechanis* (Sakurai, 1994) foi classificado nesta categoria. Somente dois enunciados foram encontrados no livro, o que pode ilustrar que, para o autor, a proposição de Born (1926), defendida no livro, já está estabilizada, ou seja, não há necessidade de argumentar em sua defesa.

O trecho a seguir reflete a visão do autor, ele assume que o módulo do quadrado da função de onda é a interpretação “**mais satisfatória**” da função de onda de Schrodinger, ou seja, parece sugerir que possam existir outras interpretações possíveis para a função de onda ψ , no entanto, não apresenta nenhuma outra proposição.

“Um elétron atômico deve ser considerado como uma distribuição contínua de matéria preenchendo uma região finita do espaço ao redor do núcleo; ainda, quando uma medição é feita para ter certeza de que o elétron está em algum ponto particular, essa distribuição contínua de matéria repentinamente encolhe a uma partícula semelhante a um ponto sem extensão espacial. A interpretação estatística mais satisfatória de $|\psi|^2$ como a densidade de probabilidade foi dada pela primeira vez por M. Born.” (Sakurai, 1994, p. 102, tradução nossa).

Ademais, segundo o autor é o processo de medição que faz com que a matéria distribuída no espaço “encolha” em uma partícula. Deste modo, o autor defende sua própria concepção de natureza, uma hibridização das proposições de Born (1926) e Bohr (1928). A partir desta análise podemos destacar algumas conclusões sobre esta categoria:

- Apresentam somente uma natureza da RE, sendo esta uma hibridização das proposições encontradas nos artigos seminais.
- **É coerente ontologicamente**, pois só uma natureza é apresentada.

- Sua abordagem é **cosmopolita**, pois partem de uma natureza pré-posta.
- O papel deste LD é construir uma ciência autoritária e racional.

2° Quadrante

O segundo quadrante se refere aos livros que defendem somente uma proposição para a radiação eletromagnética, mostrando que existem outras possibilidades de natureza. A obra *Introduction to Quantum Mechanics* (Griffiths, 2005) foi a única catalogada nesta categoria. O autor apresenta diferentes proposições no início da obra, mas logo assume sua posição mononatureza.

Na citação abaixo o autor explicita sua posição. Ele entende que existam ao menos três possibilidades de natureza da RE: realista (a classificamos como a proposição de Einstein (1905)), agnóstica (posição que, segundo o autor, se recusa a dar uma resposta) e ortodoxa (que corresponde à proposição adotada e elaborada pelo próprio autor).

“Até bem recentemente, todas as três posições (realista, ortodoxa e agnóstica) tinham seus partidários. Mas em 1964 John Bell surpreendeu a comunidade da física ao mostrar que faz uma diferença observacional se a partícula tinha uma posição precisa (embora desconhecida) antes da medição, ou não. A descoberta de Bell eliminou efetivamente o agnosticismo como uma opção viável e tornou uma questão experimental se 1 ou 2 é a escolha correta. Voltarei a essa história no final do livro, quando você estará em melhor posição para apreciar o argumento de Bell; por enquanto, basta dizer que os experimentos confirmaram decisivamente a interpretação ortodoxa:⁸ Uma partícula simplesmente não tem uma posição precisa antes da medição, não mais do que as ondulações em um lago; é o processo de medição que insiste em um número particular e, portanto, em certo sentido, cria o resultado específico, limitado apenas pela ponderação estatística imposta pela função de onda.” (Griffiths, 2005, p. 4).

Segundo o autor, das três proposições a ortodoxa é a única que corresponde a uma realidade, visto que “os experimentos **confirmaram decisivamente** a interpretação ortodoxa”. A posição ortodoxa é uma hibridização das proposições de Born (1926) e Bohr (1928), visto que, a equação de Born descreve a provável posição

da partícula, e que o “processo de medição [...] cria o resultado específico”, como prescreve Bohr. Antes de medir é impossível precisar a posição da partícula.

O autor, portanto, apresenta inicialmente algumas proposições possíveis, mas assume que somente uma delas possui as provas empíricas necessárias para sua existência. Difere-se dos autores anteriores por aceitar a possibilidade de outras naturezas, no entanto, pode-se entender que na visão do autor as demais proposições contém erros de interpretação, mediante prova empírica. A partir desta análise podemos destacar algumas conclusões sobre esta categoria:

- Diferente dos quadrantes anteriores, a obra descreve ontologicamente diferentes proposições e explicita suas diferenças. A demarcação das fronteiras se evidencia na estrutura de apresentação das proposições em que o autor não somente destaca que existam três possibilidades, como as apresenta de forma categorizada, separada por parágrafos subsequentes.
- Os enunciados das proposições são apresentados com graus de realidade diferentes, sendo que o discurso de uma das proposições possui realidade expandida em relação as demais, logo, **é coerente ontologicamente**.
- Sua abordagem é **cosmopolita**, pois somente uma das naturezas possui realidade.
- O papel deste LD é construir uma ciência autoritária, linear e racional.

1° Quadrante

O primeiro quadrante se refere aos livros que apresentam mais de uma natureza para a radiação eletromagnética, e que explicitam as fronteiras entre as diferentes naturezas. Como nenhum dos livros foi classificado nessa categoria, decidimos utilizar como exemplo para este quadrante um livro que *a priori* não compunha o quadro de obras analisadas. O livro *Conceitos de Física Quântica* (Pessoa Jr, 2003) se enquadra nesta categoria.

No trecho abaixo, na apresentação da estrutura do livro, o autor assume a possibilidade de incorporação de diferentes naturezas para fenômenos quânticos:

“Os problemas conceituais e filosóficos, normalmente evitados em tais cursos, são enfrentados *con gusto* no presente livro. A principal chave para destrinchar tais problemas é reconhecer desde o início que há diferentes

interpretações plausíveis para a Teoria Quântica, todas com seus méritos e anomalias. Munidos de tais visões de mundo, o aluno pode compreender a sua maneira diferentes experimentos que são conceitualmente simples [...]” (Pessoa Jr, 2003, p. 1).

Partindo deste princípio, o autor separa as diferentes naturezas em grupos. Segundo o autor, “Existem dezenas de interpretações diferentes da Teoria Quântica, que podem ser agrupadas em quatro ou cinco grandes grupos³. Apresentaremos agora como quatro interpretações básicas [...]” (Pessoa Jr, 2003, p. 5). O autor as divide nos seguintes grupos: i) ondulatórias; ii) corpusculares; iii) dualistas realistas e iv) dualistas positivistas. Com base nessas categorias o autor desenvolve os conceitos da Quântica a partir da explicação de fenômenos quânticos, sendo cada um deles analisado de acordo com as quatro categorias. Abaixo segue a descrição de uma categoria:

“(1) *Interpretação Ondulatória* (consideraremos aqui a idéia de Erwin Schrödinger de que os objetos quânticos são na realidade ondas, aproximando-a da visão de John von Neumann que introduz colapsos de onda). Antes da detecção, o objeto quântico propaga-se como onda, mas durante a detecção ele torna-se mais ou menos bem localizado, parecendo uma partícula. Não há mais contradição, porque durante um certo tempo temos uma onda espalhada, e *depois* temos uma partícula (ou melhor, um pacote de onda bem estreito), sem que ambos coexistam simultaneamente.” (Pessoa Jr, 2003, p. 5).

O primeiro destaque se dá em relação à estrutura de apresentação das categorias. Nota-se que o autor adota uma divisão espacial clara da descrição das categorias, numerando-as de (1) a (4), e separando-as em parágrafos subsequentes. No trecho, “**consideraremos** aqui a idéia de Erwin Schrodinger”, o autor sugere que esta é apenas uma natureza ondulatória possível, o que denota um baixo grau de realidade dado à proposição.

Na apresentação de outra categoria o autor segue a mesma lógica de descrição ontológica “(2) *Interpretação corpuscular* (defendida por exemplo por Alfred Landé, e mais recentemente por Leslie Ballentine). O fóton e o elétron seriam na realidade uma partícula, o que é manifesto quando o detectamos.” (Pessoa, Jr, 2003, p. 5). Assim como na descrição da categoria anterior, o autor também apresenta alguns cientistas

que defendem esta proposição e destaca que “O fóton e o elétron **seriam** na realidade uma partícula”, ou seja, o autor assume que de acordo com estes físicos que defendem esta proposição a RE **seria** uma partícula, o que não significa que a luz **é** uma partícula. A partir desta análise podemos destacar algumas conclusões sobre esta categoria:

- A estrutura desta obra não permite uma análise igual a dos demais livros, visto que o autor agrupa diferentes proposições em uma única categoria e as retoma em vários capítulos.
- Visto que todos os fenômenos apresentados no livro são analisados de acordo com cada categoria, pode-se inferir que **não há estabilização ontológica** de nenhuma proposição (ou de alguma categoria de proposições). Ademais, o autor assume desde o princípio que a TQ não está estabilizada ontologicamente.
- O autor apresenta diferentes naturezas e demarca explicitamente suas fronteiras. Esta característica pode ser observada mediante a distribuição espacial das descrições em categorias bem definidas.
- Apresenta enunciados sobre as diferentes proposições com baixo grau de realidade, o que denota uma **coerência ontológica**.
- Sua abordagem é **cosmopolítica**, pois não parte de uma natureza pré-posta, além disso, busca frear a composição de um “mundo comum” em relação à ontologia da RE.
- O papel deste LD é construir uma ciência anti-autoritário, não-linear e não-racional.

2.4.2 Trajetória ontológica das proposições

Nesta seção analisamos a trajetória ontológica das diferentes proposições da radiação eletromagnética nos livros didáticos. A partir da arguição dos gráficos identificamos cinco padrões de trajetórias ontológicas. Em cada grupo está descrito os livros que seguem o padrão correspondente, assim como a análise do gráfico de uma das obras. Nossa proposta é observar se há estabilização ontológica das proposições (Latour, 2017a) e como elas são desenvolvidas pelos autores.

a) Livros que estabilizam com a história

Nesta categoria estão presentes os livros cuja trajetória ontológica descrita no gráfico corresponde a uma linha ascendente. Os autores parecem “contar a história cronológica” das proposições da Teoria Quântica. O gráfico da Figura 3 apresenta a trajetória ontológica do livro *Principles of Quantum Mechanics* (Shankar, 1994). O autor primeiramente apresenta a proposição de Einstein (1905), na sequência a proposição de Born e estabiliza em uma nova proposição, que corresponde à hibridização de De Broglie (1923, 1924) e Born (1926). No gráfico a estabilização corresponde a uma reta horizontal.

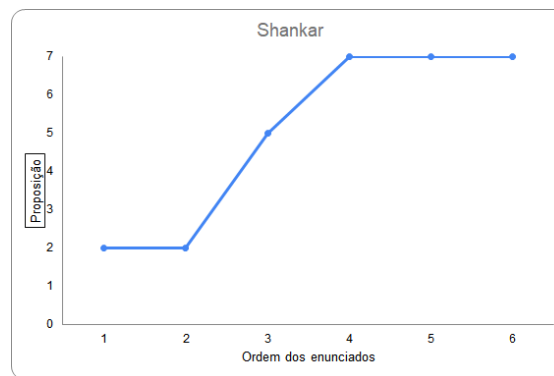


Figura 3: gráfico referente ao livro *Principles of Quantum Mechanics* (Shankar, 1994).

Além do livro analisado acima, se enquadra neste grupo a obra de Blokhintsev (1964).

b) Livros que estabilizam em uma proposição

Nesta categoria estão presentes os livros que ao final da trajetória ontológica estabilizam em uma proposição. O livro *Quantum Theory* (Bohm, 1951), descrito no gráfico da Figura 4 é um exemplo desta categoria. Diferentemente dos livros da categoria anterior, não há uma trajetória ascendente; a linha do gráfico percorre um caminho sem padrão até chegar ao final do percurso, quando a linha se torna uma reta horizontal. O livro de David Bohm apresenta seis proposições diferentes e estabiliza em uma hibridização das proposições de Born (1926) e Bohr (1928).

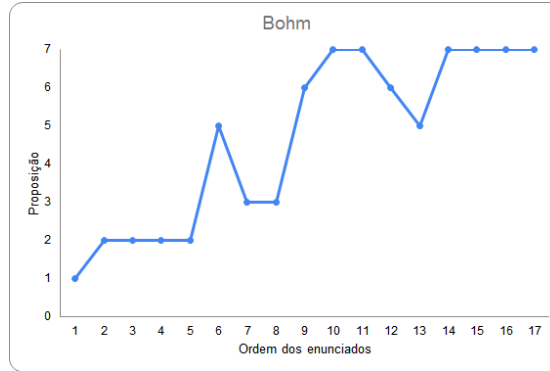


Figura 4: gráfico referente ao livro *Quantum Theory* (Bohm, 1951).

Nesta categoria estão presentes também os livros de Caruso & Oguri (2006), Gasiorowicz (2003), Gottfried & Yan (2003), Merzbacher (1998) e Schiff (1949).

c) Livros que estabilizam em duas ou mais proposições

Como exemplo de livro que estabiliza em mais de uma proposição, o gráfico da Figura 5 traz a obra *Quantum Mechanics* (Greiner, 2001). O autor inicia o texto apresentando a proposição de Einstein (1905), mas a partir do quarto enunciado estabiliza em torno das proposições de De Broglie (1923, 1924), Born (1926) e Bohr (1928). Como o autor adere a mais de uma proposição, o padrão de estabilização ontológica não é uma reta horizontal, como nos casos das categorias anteriores, caracterizando-se por retas ascendentes e descendentes em torno das três proposições.

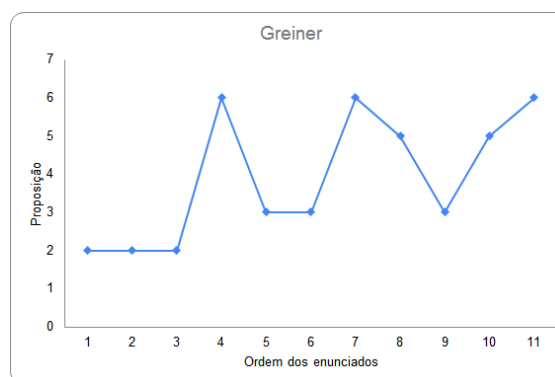


Figura 5: gráfico referente ao livro *Quantum Mechanics* (Greiner, 2001).

Os livros Cohen-Tannoudji et al. (1991), Eisberg & Resnick (1985), Goswami (2017), Liboff (2003), Messiah (1961) e Dushman (1938) também se enquadram nesta categoria.

d) Livros que não estabilizam em nenhuma proposição

Nesta categoria se enquadram os livros que, em nenhum momento, apresentam estabilização ontológica. A obra *Quantum Mechanics* (Auletta et al., 2009) descrita no gráfico da Figura 6 é um exemplo desta categoria. Das sete proposições possíveis, somente a de Schrodinger (1926) não está presente. Há linhas ascendentes e descendentes ao longo de toda trajetória ontológica, mas diferentemente do observado na categoria acima, não há nenhum padrão na apresentação das proposições, logo, não há estabilização.

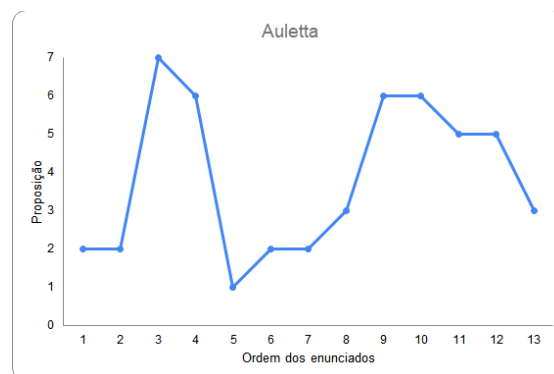


Figura 6: gráfico referente ao livro *Quantum Mechanics* (Auletta et al., 2009).

A obra Richtmyer & Kennard (1947) também se enquadra nesta categoria.

e) Livros que apresentam somente uma proposição

A última categoria se refere aos livros que apresentam desde o início uma proposição estabilizada. No caso da obra *Quantum Mechanics Non-Relativistic Theory* (Landau & Lifshitz, 1977), descrita no gráfico da Figura 7, os autores aderem à proposição de Born (1926). O gráfico do livro apresenta, portanto, somente uma reta horizontal.

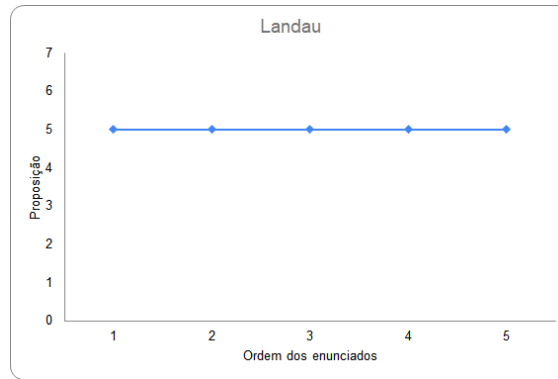


Figura 7: gráfico referente ao livro *Quantum Mechanics Non-Relativistic Theory* (Landau & Lifshitz, 1977).

A obra *Modern Quantum Mechanics* (Sakurai, 1994) possui uma estrutura de trajetória ontológica idêntica ao livro apresentado acima, como é possível visualizar no gráfico da Figura 4. No entanto, o livro *Introduction to Quantum Mechanics* (Griffiths, 2005) possui um padrão diferente. Como foi discutido na seção anterior (na apresentação do quadrante 2), o autor apresenta explicitamente diferentes naturezas possíveis para a RE, mas assume que somente uma delas corresponde a uma realidade. Deste modo, mesmo que estejam presentes mais de uma proposição em sua trajetória, ainda assim a obra se enquadra na categoria de monoproposição.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS: O FÓTON ESTÁ NU

Os resultados encontrados em nossa análise dos LDs indicam que não há uma proposição da RE estabilizada ontologicamente, quando consideramos todas as obras. Porém, visto que a maioria destes mesmos livros escondem as fronteiras entre as proposições, fica evidente que os autores simulam que há um consenso dentro da comunidade científica a respeito de sua ontologia.

Propomos uma analogia entre os resultados encontrados neste trabalho e um conto dinamarquês do início do século XIX. Na história existia um rei muito vaidoso que amava roupas novas. Um dia dois vigaristas, se fazendo passar por alfaiates, ofereceram ao rei uma roupa feita de um tecido muito especial, tão especial que ficava invisível para todos que fossem tolos ou presunçosos. A história da tal roupa rapidamente se espalhou pelo reino. O rei, então, começou a convidar pessoas ligadas à administração do reino para acompanhar a fabricação da roupa. Todos olhavam os tecelões tecendo uma roupa “invisível”, mas com medo de serem

tachados de tolos, e deste modo afastados de seus afazeres na alta cúpula do reinado, rasgavam elogios da roupa para o rei, mesmo sem vê-la. Muito curioso sobre a vestimenta, um dia o próprio rei foi averiguar o trabalho dos alfaiates e ele mesmo com medo de passar uma imagem negativa ao reino, por também não ver a roupa, elogiou o trabalho dos vigaristas.

No dia em que a roupa ficou pronta, os vigaristas ajudaram o rei a “vesti-la”. Completamente despido, o rei saiu na rua para o cortejo da nova roupa. Na rua uma multidão começou a exclamar os mais belos elogios sobre sua vestimenta, até que em um momento uma criança grita “o rei está nu”. O povo imediatamente começou a cochicar “o rei está nu”, “o rei está nu”.

Na história do dinamarquês Hans Christian Andersen, intitulada *A roupa nova do rei* (Mckissack et al., 1987), os adultos com medo de serem tachados de burros e incapazes, fingem ver a roupa do rei, enquanto a criança, que não se preocupa em manter qualquer tipo de aparência, fala o óbvio: o rei está nu. De certa forma, esse conto desafia a visão de superioridade tecnocrática, pois, muitas vezes, são não especialistas (como uma criança) que indicam uma realidade que ninguém quer ver.

Nesse sentido, a criança do conto pode ser comparada à personagem conceitual de Gilles Deleuze: o Idiota. O Idiota “é aquele que sempre desacelera os outros, aquele que resiste à maneira como a situação é apresentada” (Stengers, 2018, p. 444). Em nossa metáfora, os livros didáticos simulam a existência de uma realidade estabilizada para a natureza do fóton, que há um mundo comum, mesmo que não haja nenhum indicativo de um consenso. O fóton está despido, nenhuma roupa se encaixa adequadamente a ele. Precisamos que uma criança (ou que um Idiota) grite “**o fóton está nu**”, “a RE não está estabilizada”, “não há um mundo comum”.

A falsa estabilização do fóton, encontrada nos livros didáticos, é fruto de uma concepção de ciência autoritária e cosmopolita. Neste contexto, o papel do LD contemporâneo é cessar as discussões, mesmo que para isso tenham que sacrificar a coerência ontológica e/ou renunciar às múltiplas realidades que permitem, em conjunto, uma explicação mais adequada dos fenômenos quânticos. Os recursos discursivos utilizados pelos autores, imputando alto nível de realidade a ontologias antagônicas, tem o intuito de apagar as discussões internas da cultura científica, e se enquadram, portanto, dentro da perspectiva de educação hegemônica, que visa formar “especialistas” e cidadãos que compreendam a ciência como uma fonte de saber universal, técnico e neutro, alinhadas a concepções de ciência racionalistas e

positivistas. A fim de promovermos uma visão de ciência antiautoritária, precisamos trazer à tona as discussões em torno da natureza não-estabilizada, promovendo, portanto, uma educação contra-hegemônica (Apple, 2006), com o propósito de formar idiotas deleuzeanos, que compreendam as ciências como uma atividade cultural associada às questões sociais de sua época, respeitando a diversidade ontológica e epistemológica do mundo.

Neste trabalho apresentamos um estudo sobre os recursos discursivos utilizados por autores de livros didáticos de Física Quântica de graduação, com o intuito de analisar a trajetória ontológica da RE e investigar a forma como as diferentes naturezas da ontologia da luz são incorporadas nestas obras. Nosso estudo demonstra que os LD analisados se distinguem em quatro formas de incorporar a realidade da luz e se dividem em cinco grupos em relação ao modo de apresentar a sua trajetória ontológica.

Todos os livros selecionados previamente para a análise se pautam em uma estrutura cosmopolita, ou seja, partem do princípio de que há uma natureza única e transcendente. Nossa pesquisa aponta que o estilo discursivo do quarto quadrante, provavelmente, seja o caminho usual na incorporação da natureza da luz, visto que a categoria possui uma quantidade de obras muito superior frente as demais. Além disso, a partir da análise do discurso citado, constatamos que os autores dos livros desta categoria são ontologicamente contraditórios, visto que mesmo que as obras sejam cosmopolitas, imputam alto grau de realidade a naturezas antagônicas.

Ademais, nossos estudos apontam que diferentemente do que supunham Latour e Woolgar, somente três, dos dezessete livros analisados apresentam um discurso estabilizado ao longo de toda obra, sendo que dois livros sequer estabilizam alguma proposição e somente seis obras estabilizam em uma única proposição.

Dentro deste cenário, o LD tem o papel autoritário de encerrar as discussões internas da cultura científica. Entendemos, portanto, que há uma necessidade de uma narrativa contra-hegemonica, com o intuito de formar "Idiotas". Precisamos, portanto, de uma revisão cultural profunda, não somente em conteúdo, mas em estrutura composicional (com uma estrutura que distinga e aponte as diferenças entre ontologias) e estilo do discurso citado (com enunciações coerentes ontologicamente), a fim de fundarmos um novo gênero do discurso didático. Deste modo, necessitamos ir além da apresentação dos conteúdos, explorando de forma antiautoritária a pluralidade de realidades que compõe o espectro da ontologia da ciência, com o

propósito de discutir tópicos ligados a filosofia das ciências, bem como seu papel na estrutura da sociedade.

Ressaltamos que ao criarmos categorizações e classificações em um universo tão diverso e complexo, como o da TQ, inevitavelmente deixamos de fora elementos importantes. Dentre os motivos que tornam esta atividade complexa, destacam-se dois: primeiro, existem muitas propostas de natureza da luz, portanto, é necessário criar critérios de exclusão; segundo, muitas propostas possuem aproximações, o que eventualmente dificulta sua diferenciação no momento de classificação dos enunciados. Ademais, destacamos que nosso intuito nesse trabalho é propor uma forma de visualizar e abordar as controvérsias em torno do problema da dualidade onda-partícula no contexto científico-pedagógico, logo, não pretendemos exaurir nenhuma discussão, e sim promovê-la. Por fim, destacamos que este trabalho dialoga com a literatura da área, que aponta para a necessidade da inserção de tópicos de natureza da ciência tanto no ensino básico como no superior, assim como o aprimoramento de propostas didáticas na área da TQ.

2.6 REFERÊNCIAS

- Apple, M. (2006). *Ideologia e currículo* (3rd ed.). ARTMED.
- Auler, D., & Delizoicov, D. (2001). Alfabetização Científico-Tecnológica Para Quê? *ENSAIO – Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 03(1), 1–17.
- Auletta, G., Fortunato, M., & Parisi, G. (2009). *Quantum Mechanics: into a modern perspective* (1 ed). Cambridge University Press.
- Bachelard, G. (1996). *A formação do espírito científico*. Contraponto.
- Bakhtin, M. (2006). *Marxismo e filosofia da linguagem: problemas fundamentais do método sociológico da linguagem*. (12th ed.). Hucitec.
- Bakhtin, M. (2011). *A Estética da Criação Verbal*. Martins Fontes.
- Bakhtin, M. (2016). *Os Gêneros do Discurso*. Editora 34.
- Bakhtin, M. (2017). *Notas sobre Literatura, Cultura e Ciências Humanas*. Editora 34.
- Bencze, L., Pouliot, C., Pedretti, E., Simonneaux, L., Simonneaux, J., & Zeidler, D. (2020). SAQ, SSI and STSE education: defending and extending “science-in-context.” *Cultural Studies of Science Education*, 15(3), 825–851.
- Blaser, M. (2018). Uma outra cosmopolítica é possível? *Revista de Antropologia Da UFSCar*, 31(4), 14–42.

- Blokhintsev, D. I. (1964). *Quantum Mechanics* (1st ed.). D. Reidel Publishing Company.
- Bohm, D. (1951). *Quantum Theory* (1st ed.). Prentice Hall, Inc.
- Bohr, N. (1995). *Física atômica e conhecimento humano: ensaios 1932 -1957*. Contraponto.
- Born, M. (1926). Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge. *Zeit Physik*, 37, 863–867.
- Caruso, F., & Oguri, V. (2006). *Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos* (1st ed.). Elsevier Editora LTDA.
- Castro, E. V. de. (1996). Os pronomes cosmológicos e o perspectivismo ameríndio. *Mana*, 2(2), 115–144. <https://doi.org/10.1590/s0104-93131996000200005>
- Cohen-Tannoudji, C., Diu, B., & Laloë, F. (1991). *Quantum Mechanics* (1st ed.). Wiley.
- Collins, H. (2002). The third wave of science studies: studies of expertise and experience? *Social Studies of Science*, 32, 235–296.
- de Broglie, L. (1924). A tentative theory of light quanta. *Philosophical Magazine*, 47(278), 446–458.
- Dushman, S. (1938). *The Elements of Quantum Mechanics* (1st ed). John Wiley & Sons.
- Einstein, A. (1987). *The Collected Papers of Albert Einstein* (V. 2). Princeton University Press.
- Eisberg, R., & Resnick, R. (1985). *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles*. John Wiley and Sons.
- Freire Jr, O., Pessoa Jr., O., & Bromberg, J. L. (2011). *Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais* (1º ed). EDUEPB; Livraria da Física.
- Gasiorowicz, S. (2003). *Quantum Physics* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Goswami, A. (1997). *Quantum Mechanics* (2º). Waveland Press, Inc.
- Goswami, A. (2017). *The Everything Answer Book: How Quantum Science Explains Love, Death, and the Meaning of Life* (1st ed.). Hampton Roads Publishing Company.
- Gottfried, K., & Yan, T.-M. (2003). *Quantum Mechanics: Fundamentals* (2nd ed.). Springer.
- Greiner, W. (2001). *Quantum Mechanics An Introduction* (4th ed.). Springer.
- Griffiths, D. J. (2005). *Introduction to Quantum Mechanics* (2nd ed). Pearson Prentice Hall.
- Hodson, D. (2003). Time for action: Science education for an alternative future.

- International Journal of Science Education*, 25(6), 645–670.
<https://doi.org/10.1080/09500690305021>
- Jammer, M. (1966). *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*. McGraw-Hill Book Company.
- Jammer, M. (1974). *The philosophy of quantum mechanics: the interpretations of quantum mechanics in historical perspective*. John Wiley & Sons.
- Kuhn, T. (1996). *The structure of Scientific Revolutions* (3^o ed). The University of Chicago Press.
- Landau, L. D., & Lifshitz, E. M. (1977). *Quantum Mechanics Non-Relativistic Theory* (3rd ed.). Pergamon Press.
- Latour, B. (1993). *We have never been modern*. Harvard University Press.
- Latour, B. (2017a). *A Esperança de Pandora: ensaios sobre a realidade dos estudos científicos* (1^o). Editora UNESP.
- Latour, B. (2017b). Anthropology at the Time of the Anthropocene: A Personal View of What Is to Be Studied. In M. Brightman & J. Lewis (Eds.), *The Anthropology of Sustainability* (1st ed., pp. 35–49). Palgrave MacMillan.
<https://doi.org/10.1057/978-1-137-56636-2>
- Latour, B. (2018). Qual cosmos, quais cosmopolíticas? Comentário sobre as propostas de paz de Ulrich Beck. *Revista Do Instituto de Estudos Brasileiros*, 68, 428–441. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-901X.v0i69p427-421>
- Latour, B. (2019). *Políticas da Natureza: como associar as ciências à democracia* (3 ed). Unesp.
- Latour, B. (2020). *Onde aterrar?* (1 ed). Bazar do tempo.
- Latour, B., & Woolgar, S. (1997). *A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos* (3^o). Relume Dumará. <https://doi.org/10.4324/9781843926818>
- Lemke, J. L. (2001). Articulating communities: Sociocultural perspectives on science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), 296–316.
- Liboff, R. L. (2003). *Introductory Quantum Mechanics* (4th ed.). Addison Wesley.
- Lima, N., Cavalcanti, C., & Ostermann, F. (2020). Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43, 1–16.
- Lima, N. W., & Nascimento, M. M. (2022). Not Only Why but Also How to Trust Science: Reshaping Science Education Based on Science Studies for a Better Post-pandemic World. *Science and Education*, 0123456789.

<https://doi.org/10.1007/s11191-021-00303-1>

- Lima, N. W., Souza, B. B. De, Cavalcanti, C. J. de H., & Ostermann, F. (2018). Um Estudo Metalinguístico sobre as Interpretações do Fóton nos Livros Didáticos de Física Aprovados no PNLDEM 2015: Elementos para uma Sociologia Simétrica da Educação em Ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 18(1), 331–364. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2018181331>
- Martins, R. de A., & Rosa, P. S. (2014). *História da teoria quântica – a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie*. Livraria da Física.
- McKissack, P., McKissack, F., & Connelly, G. (1987). *The King's New Clothes*. Childrens Pr.
- Merzbacher, E. (1998). *Quantum Mechanics* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Messiah, A. (1961). *Quantum Mechanics* (1st ed.). North-Holland Publishing Company.
- Montenegro, R. L., & Pessoa Jr., O. (2002). Interpretações da teoria Quântica e as concepções dos alunos do curso de Física. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 7(2), 107–126.
- Pereira, P. do N., Guerini, S. C., & Sá-Silva, J. R. (2019). Os conteúdos de Física Moderna em livros didáticos de Física do Ensino Médio. *Debates Em Educação*, 11, 106–124. <https://doi.org/10.28998/2175-6600.2019v11n24p106-124>
- Pessoa Jr., O. (2003). *Conceitos de Física Quântica* (1º). Livraria da Física.
- Pessoa Jr, O. (2009). A Classificação das Diferentes Posições em Filosofia da Ciência. *Cognitivo-Estudos: Revista Eletrônica de Filosofia*, 6(January 2009).
- Planck, M. (2000). Sobre a lei de distribuição de energia no espectro normal. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22, 538–542.
- Richtmyer, F. K., & Kennard, E. H. (1947). *Introduction To Modern Physics* (4th ed.). McGraw-Hill Book Company.
- Sakurai, J. J. (1994). *Modern Quantum Mechanics* (1st ed.). Addison Wesley.
- Santos, W. L. P. dos, & Mortimer, E. F. (2002). Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ensaio - Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 2002, 110–132. <http://www.scielo.br/pdf/epec/v2n2/1983-2117-epec-2-02-00110.pdf>
- Schiff, L. I. (1949). *Quantum Mechanics* (1st ed.). McGraw-Hill Book Company.
- Schrodinger, E. (1933). *The fundamental idea of wave mechanics - Nobel Lectures*. <https://www.nobelprize.org/uploads/2017/07/schrodinger-lecture.pdf>

- Shankar, R. (1994). *Principles of Quantum Mechanics* (2nd ed.). Plenum Press.
- Shiva, V. (2003). *Monoculturas da mente: perspectivas da biodiversidade e da biotecnologia* (2° ed). Editora Gaia.
- Sokal, A., & Bricmont, J. (1998). *Fashionable Nonsense: Postmodern Intellectuals' Abuse of Science*. Picador.
- Stengers, I. (1996). *Cosmopolitiques. Tome 1: La guerre des sciences*. La Découverte-Les Empêcheurs de Penser en Rond.
- Stengers, I. (2002). *A invenção das ciências modernas*. Editora 34.
- Stengers, I. (2018). A proposição cosmopolítica. *Revista Do Instituto de Estudos Brasileiros*, 69, 442–464. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-901X.v0i69p442-464>
- Trein, P. M., Vazata, P. A. V., & Lima, N. W. (2020). Dualidade onda-partícula em livros didáticos do Ensino Superior e sua relação com artigos originais: uma análise de sociologia simétrica de Educação em ciências. *XVIII EPEF*, 1–8.
- Vazata, P. A. V., Lima, N. W., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. J. de H. (2018). Proposta de um dispositivo analítico para avaliação da estabilização ontológica de um actante em livros didáticos à luz dos estudos da ciência de Bruno Latour. *Snef XXIII*.
- Vazata, P. A. V., Lima, N. W., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. J. de H. (2019). A Natureza da Luz no Contexto Clássico e Moderno: Uma análise de enunciados de um Livro de Física aprovado no PNLDEM 2018 a partir dos Estudos da Ciência de Bruno Latour. *XII ENPEC*.
- Vazata, P. A. V., Lima, N. W., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. J. de H. (2020). Onda ou Partícula? Um Estudo das Trajetórias Ontológicas da Radiação Eletromagnética em Livros Didáticos de Física da Educação Básica. *Revista Brasileira de Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 20, 855–885. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u855885>
- Whitehead, A. N. (1925). *Science and the Modern World*. Pelican Mentor Book.
- Yacoubian, H. A., & Hansson, L. (Eds.). (2020). *Nature of Science for Social Justice* (1st ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-47260-3>

3 ONDA OU PARTÍCULA? UM ESTUDO DAS TRAJETÓRIAS ONTOLÓGICAS DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA DA EDUCAÇÃO BÁSICA

Resumo: Neste artigo, partimos de elementos da Sociologia da Ciência de Bruno Latour para analisar atores da Educação em Ciências. De acordo com Latour, a Educação em Ciências participa da rede da Ciência no elo da representação pública. Deste modo, professores, livros didáticos, dentre outros membros desta rede (humanos e não-humanos), podem ser compreendidos como parte da própria Ciência, sendo que a Educação em Ciências e as Ciências participam da rede uma da outra. A partir desta perspectiva, catalogamos enunciados retirados de três livros didáticos aprovados no edital do PNLDEM 2018 de acordo com a tipologia proposta por Latour para analisar enunciados de cientistas. Em uma primeira análise qualitativa, buscamos compreender a trajetória ontológica de diferentes interpretações para a radiação eletromagnética no contexto da Física clássica e moderna. Ademais, valemos de uma segunda arguição qualitativa do *dictum* e do *modus* destes enunciados, para elucidar os recursos estilísticos utilizados pelos autores de livros didáticos na construção das trajetórias ontológicas de actantes. Nossos resultados demonstraram que, nos três livros analisados, somente a luz tida como onda no contexto clássico atinge a autonomização. Apesar disso, enunciados com alto grau de realidade foram encontrados para interpretações ontológicas antagônicas.

Palavras-chave: livro didático; Estudos das Ciências; CTS; Latour; Física Moderna; Física Quântica.

Abstract: In this paper, we start from elements of the Sociology of Science by Bruno Latour to analyse actors in Science Education. According to Latour, Science Education participates in the Science network in the public representation link. In this way, teachers, textbooks, among others members of this network (human and non-human), can be understood as part of Science itself, with Science Education and the Sciences participating in each other's network. From this perspective, we catalog statements taken from three textbooks approved in the PNLDEM 2018 edict according to the

typology proposed by Latour to analyse statements by scientists. In a first qualitative analysis, we seek to understand the ontological trajectory of different interpretations for electromagnetic radiation in the context of classical and modern physics. In addition, we make use of a second qualitative argument of the *dictum* and the *modus* of these statements, to elucidate the stylistic resources used by the authors of textbooks in the construction of the ontological trajectories of actants. Our results showed that, in the three analysed books, only the light seen as a wave in the classical context reaches autonomy. Despite this, statements with a high degree of reality were found for antagonistic ontological interpretations.

Keywords: Textbook; Science Studies; STS; Latour, Modern Physics; Quantum Physics.

3.1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho, partimos da concepção de Ciência como cultura, ou seja, partimos do pressuposto de que essa não pode ser entendida apartada de suas bases materiais, dos instrumentos e dos símbolos que são compartilhados e negociados em seu contexto de realização (Geertz, 1973), e, de uma forma geral, de toda a rede sociocotécnica (composta por humanos e não-humanos) que mobilizam tal atividade (Latour, 1994). Em especial, neste trabalho, reconhecemos que um elemento constitutivo essencial da rede científica é a linguagem praticada pelos cientistas e materializada em cartas, artigos, e livros (Lightman, 2016). Nesse sentido, entender a Ciência passa, também, por entender suas manifestações linguísticas e discursivas.

Ressaltamos que o privilégio da linguagem como objeto de pesquisa entrou nos Estudos das Ciências⁶ por diferentes caminhos. Em especial, na segunda onda CTS, conhecida como a Antropologia do Laboratório (Collins & Evans, 2002), Latour e Woolgar (1986) conectam a estrutura fraseológica utilizada para se falar de determinado fato com o “grau de realidade” atribuído a ele, e os teóricos da Teoria Ator-Rede valem-se da terminologia da linguística de Greimmas e Courtés (1982) para analisar as Ciências (Callon, 1984; Latour, 1993, 2005; Law, 1984). De acordo com esta perspectiva, ademais, a ciência não pode ser pensada como uma entidade isolada, autoexistente, que se autoalimenta e regula a si mesma. Pelo contrário, Bruno

⁶ Estudos das Ciências é um termo genérico utilizado para designar as pesquisas sobre as Ciências, usualmente sob um viés sociológico (Latour, 1999).

Latour (1999) defende e sustenta que a Ciência funciona como um sistema circulatório, estendendo-se pelos diferentes espaços da sociedade.

A partir dessa perspectiva, alguns autores defendem a possibilidade de ressignificação da área de Educação em Ciências não como um campo isolado ou até mesmo subserviente à rede da Ciência, mas como um elemento constitutivo da própria rede científica (Weinstein, 2008) ou, para ser mais preciso, a Ciência e a Educação em Ciências podem ser entendidas como sistemas complexos que se encontram e se conectam de forma interdependente (Lima et al., 2019). Não faz sentido falar de Educação em Ciências sem pensar na rede das Ciências, mas tampouco faz sentido analisar a Ciência sem pensar, também, na rede da Educação em Ciências.

O caso mais exemplar de tal conexão se dá no processo de formação de cientistas. Em geral, atualmente, não há cientistas que não tenham passado por uma educação formal — o que tem sido objeto de análise sob o nome de pedagogia científica (Kaiser, 2005, 2006). Ademais, um elemento material emblemático da cultura da pedagogia científica, no âmbito da formação dos cientistas, é o que conhecemos, hoje, como “livro didático” (Lightman, 2016).

A importância do livro didático não somente para a educação, mas para a própria prática científica foi claramente destacada por Thomas Kuhn (1996) em sua discussão sobre manuais de instrução e, desde então, muitos estudos têm tratado do papel dos livros didáticos para a história da Ciência (Badino & Navarro, 2013; Kaiser, 2005). No caso da Educação Básica, a relação entre a rede da Ciência e da Educação em Ciências também não pode ser subestimada. Conforme discutimos na seção 2, a Educação em Ciências desempenha um papel crucial para a rede da Ciência, ao atuar diretamente na construção da opinião pública sobre a prática científica e sobre o papel da Ciência na sociedade. Nesse contexto, novamente, o livro didático aparece como um elemento material e cultural essencial, desempenhando um papel importante no processo pedagógico (Lima et al., 2018).

Assim, neste trabalho, partimos de três reconhecimentos: 1) a Ciência é uma prática cultural; 2) a Educação em Ciências e as Ciências são redes que se relacionam e; 3) o livro didático é um elemento material importante nessas redes. Partindo dessa concepção, podemos afirmar que livros didáticos usados na Educação em Ciências participam do processo descrito por Bruno Latour (Latour, 1999) como “estabilização

ontológica”, isto é, a trajetória pela qual passa um determinado *actante*⁷ para deixar de ser considerado uma hipótese para ser considerado um elemento da realidade. Esse processo foi descrito por Latour e Woolgar (1986) e, posteriormente, por Latour (1999) no âmbito dos laboratórios. Usando a concepção de sistema circulatório da Ciência, entretanto, podemos estender sua ocorrência em todo o sistema científico, incluindo a rede da Educação em Ciências.

Conforme apontam Latour e Woolgar (1986), o processo de translação de um actante do mundo das ideias para o mundo real é mediado pela linguagem, através de diferentes combinações de “*dictum*” e “*modus*” e, de fato, pode ser mensurado por meio de uma análise linguística. A partir de tal concepção, nosso objetivo é estender a proposta de Latour (1999), analisando a trajetória ontológica de actantes não no contexto do Laboratório, mas no contexto da rede da Educação em Ciências, evidenciando que há um processo dinâmico e “quente” quando os livros didáticos tratam de alguns actantes. Mais especificamente, nosso objetivo é avaliar a trajetória ontológica da natureza da radiação eletromagnética em livros didáticos de Física aprovados no Plano Nacional do Livro Didático de 2018. Esse actante é de especial interesse, pois é apresentado e discutido em dois contextos diferentes nos livros didáticos: na Física Clássica, no qual é concebido como uma onda eletromagnética, e na Física Moderna, na qual é descrito através do fóton, um ente quântico que, apesar de indivisível, sofre interferência — manifestando, portanto, uma natureza dual (cujas características não podem ser satisfatoriamente tratadas por teorias clássicas).

Através de uma combinação de dois processos de análise qualitativa de enunciados, pretendemos responder às seguintes perguntas: quais os diferentes níveis ontológicos assumidos pela onda eletromagnética no contexto clássico e qual trajetória ontológica é apresentada para esse actante? A luz como onda eletromagnética é totalmente estabilizada ontologicamente? Quais os diferentes níveis ontológicos assumidos pelo fóton no contexto moderno e qual trajetória ontológica é apresentada para esse actante? A luz como fóton é totalmente estabilizada ontologicamente? A trajetória ontológica apresentada em ambos contextos é capaz de formar uma narrativa ontologicamente consistente na obra como um todo? Quais as consequências pedagógicas das trajetórias ontológicas apresentadas pelos livros?

⁷ O termo *actante* é definido na seção 2.

Ressaltamos, ademais, que esse trabalho, por abordar um tema de Física Quântica em livros didáticos de ensino médio, dialoga com diferentes pesquisas que se preocupam, de uma forma mais ampla, com o tema do livro didático (Cassab & Martins, 2008; Justi & Gilbert, 2000; I. Martins, 2006), com a presença da Física Moderna nos livros didáticos da Educação Básica (Contents et al., 2019; Marques et al., 2019; Zang et al., 2019), e, mais especificamente, com o papel da linguagem e do discurso nos enunciados de Física Moderna nos livros da Educação Básica (Kopp & Almeida, 2019; Lima et al., 2017; Lima et al., 2018b).

3.2 REFERENCIAL TEÓRICO

3.2.1 Estudos sociológicos das ciências

Bruno Latour é um dos precursores de estudos sobre a prática científica sob a ótica da Antropologia do Laboratório (Latour, 1994; Latour & Woolgar, 1986). No entanto, iniciou sua vida acadêmica no campo da antropologia, se dedicando a realizar estudos etnográficos em tribos “não-modernas”. Posteriormente voltou seu olhar ao centro da sociedade para estudar a Ciência em ação, algo inovador não somente no campo da antropologia como no da epistemologia (Lima et al., 2018a). Seus primeiros estudos relacionados à prática científica foram descritos em sua obra *A vida de Laboratório* (Latour & Woolgar, 1986). Neste livro, os autores fazem um minucioso relato sobre o ofício dos cientistas em um laboratório de Neuroendocrinologia no instituto Salk, na Califórnia (EUA). Latour acompanhou, por dois anos, o dia a dia do laboratório e descreveu o funcionamento dessa “tribo” de cientistas. Após este primeiro trabalho no campo epistêmico, Latour publicou diversas obras em que busca retratar não somente o funcionamento da práxis científica como a produção do conhecimento científico, contribuindo para o aprofundamento do debate ontológico a partir de sua visão simétrica entre natureza e sociedade.

Estendendo a linha filosófica não-essencialista de Sartre (2007), para Latour a natureza não é composta por uma realidade pré-determinada, à espera do ser humano para ser descoberta (Latour, 1994; Lima et al., 2018a). Sob essa ótica, o que

define e caracteriza a existência de um actante⁸ são as articulações entre teorias, equipamentos, experimentos, equações, cientistas, políticos e os demais membros que compõe sua rede. As articulações entre os actantes da rede definem o quão “real” eles são; quanto mais actantes compõem essa rede e mais articulações são feitas entre eles, mais “real” é o actante. Caso, em um dado momento, as teorias percam sua validade, os políticos cortem investimentos, os equipamentos parem de funcionar, e demais articulações sejam desfeitas, a rede como um todo irá enfraquecer juntamente à existência desse actante (Lima et al., 2019). Sendo assim, a realidade de um actante não é uma propriedade binária e varia ao longo do tempo, podendo ser estabilizada (maior articulação da rede), ou desestabilizada (maior desarticulação da rede).

3.2.2 Estudos sociológicos na educação em ciências

Os estudos de Latour se direcionam, a princípio, a investigar a prática científica, não estando presentes em suas obras aspectos conectados diretamente à Educação em Ciências. No entanto, Latour evidencia a necessidade de a Ciência transpor os muros acadêmicos para que permaneça em pleno desenvolvimento. Nesse sentido faz-se necessário que diversos setores da sociedade façam parte da rede da Ciência.

Em sua obra *A esperança de Pandora* (Latour, 1999), o autor relata a história de Frédéric Joliot e sua tentativa de realizar a primeira reação nuclear artificial em 1939. Segundo Latour não se pode contar esta história por duas vertentes, uma interna (científica) e outra externa (político-social). Nesta formulação haveria dois tipos de historiadores, um para explicar a parte política e social, em que seria contada a história de políticos, empresários, economistas e industriais e outra para explicar as teorias científicas, contando a história dos cientistas. Os estudos científicos simétricos têm o objetivo de romper com essa divisão, contando uma única história. Joliot necessita desenvolver uma maneira de desacelerar os nêutrons das primeiras fissões para que aconteça a reação em cadeia, mas também necessita convencer políticos franceses de que esse é o caminho mais eficiente para alcançar a independência nacional. No sentido inverso da história, um político que estava compenetrado em

⁸ Latour faz uso do termo actante (retirado da semiótica), a fim de incluir em seu discurso os “atores não-humanos”, visto que a palavra ator se remete somente aos humanos. A teoria da relatividade, as Leis de Newton e Albert Einstein são exemplos de actantes (Latour, 1999).

arrumar soluções para vencer os nazistas, agora necessita compreender o processo de funcionamento da fissão nuclear e decidir se investirá tempo e dinheiro em um projeto audacioso que pode ser utilizado como artifício de guerra.

A fim de explicar as relações entre os aspectos naturais e sociais, Latour utiliza a comparação do processo de produção científica com o sistema circulatório sanguíneo (Latour, 1999). Segundo o autor existem cinco atividades em que os cientistas necessitam estar envolvidos para o pleno funcionamento da prática científica a fim de mobilizar instrumentos, colegas, aliados e o público. Cada uma dessas atividades representa um dos elos da Figura 1. O primeiro elo, a **mobilização do mundo**, remete à prática de laboratório e ao levantamento de dados. O segundo elo, a **autonomização**, se refere à busca por colegas e instituições a fim de expandir a rede de pesquisa. O terceiro elo, as **alianças**, retratam a necessidade de estabelecer contatos com instituições, políticos e outros setores da sociedade para o financiamento de pesquisas. O quarto elo, a **representação pública**, retrata a necessidade do conhecimento científico se fazer presente perante a sociedade. O quinto e último, os **nós**, são a conexão entre todos os elos. Se algum destes elos for suprimido ou enfraquecido, comprometerá o sistema circulatório da Ciência como um todo.

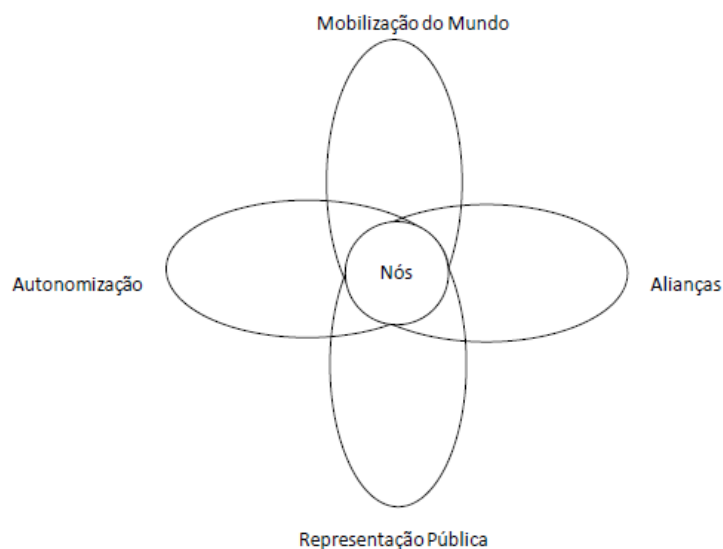


Figura 1: O sistema circulatório da Ciência (Adaptado de Latour, 1999)

Defendemos em trabalhos anteriores (Lima et al., 2019) que a Educação em Ciências participa do elo da representação pública — influenciando a concepção das

peças sobre as Ciências e sobre o papel das Ciências na sociedade. A opinião pública, por sua vez, afeta a capacidade de formação de alianças, e essa, por sua vez, viabiliza ou impede a mobilização do mundo e, por consequência, a autonomização. O papel da educação científica, portanto, é um processo fundamental para a existência da Ciência, é afetado por ela e a afeta. Neste contexto, o livro didático de Ciências, da educação básica, deve ser entendido como parte constitutiva da rede da Ciência, pois através dele os conhecimentos científicos e a própria noção do que é Ciência é difundida na sociedade. Desta maneira, os métodos desenvolvidos por Latour para analisar artigos científicos e falas do laboratório, podem ser estendidos para investigar os discursos no contexto científico-didático. Mais especificamente, nesse artigo, estamos interessados em entender como que a construção das trajetórias ontológicas de actantes científicos é mediada pelos livros didáticos.

3.2.3 Estabilização ontológica de actantes

Como discutido no início desta seção, Latour aponta que os cientistas constroem híbridos; tentando, no entanto, eliminar de sua produção a esfera social e discursiva. Tal movimento cria os fatos científicos, em que todo o processo de construção da Ciência é apagado. Segundo o autor, a eliminação destes aspectos não é feita de maneira abrupta pelos cientistas e sim de forma gradual, através da transformação de seu discurso ao longo da construção de suas teorias. Em sua obra *Jamais fomos modernos*, o autor discute como a essência do vácuo foi construída ao longo da história através de diferentes concepções. Ao mencionar quais dessas concepções de fato representam a essência do vácuo o autor indaga “O que é o vácuo então? Nenhuma dessas posições. A essência do vácuo é a trajetória que liga todas elas.” (Latour, 1994, p. 85). A construção discursiva dessa trajetória é exemplificada por Latour no trecho a seguir:

Considere esta frase: (1) “Cada nêutron libera 2,5 nêutrons”. Isto é o que se lê hoje em enciclopédias. Isso é o que é chamado de “fato científico”. Agora vamos analisar outra frase: (2) “Joliot afirma que cada nêutron libera de 3 a 4 nêutrons, mas isso é impossível; ele não tem provas; é otimista demais (...)” Diferentemente da sentença (1), a sentença (2) não está de acordo com as

regras estilísticas que governam o aparecimento dos fatos científicos: ela não pode ser lida em nenhuma enciclopédia. Seu caráter datado é facilmente discernível. Podemos notar que essas duas frases têm uma seção em comum, a declaração ou dictum*: “cada nêutron libera x nêutrons” e uma parte muito diferente, composta de um conjunto de situações, pessoas e julgamentos, chamado de modificador ou modus*. (Latour, 1999, p. 93, tradução nossa)

Segundo Latour e Woolgar (1986), enquanto a rede de um dado actante for pequena, os escritores necessitam transmitir credibilidade aos demais cientistas, portanto, em seu discurso serão feitas menções à rede que o articula, como por exemplo, o nome de cientistas envolvidos, o laboratório em que são feitos os testes, datas, dentre outras informações do gênero. Além disso, se adotarão recursos estilísticos de escrita que transmitam caráter conjectural e especulativo. No entanto, conforme a rede se expande, e a credibilidade do actante aumenta, o escritor começa a suprimir as menções a sua rede e tornará a escrita objetiva, transmitindo ao leitor a noção de descoberta do fato científico, como se esse sempre tivesse existido. Este processo é denominado por Latour de estabilização ontológica. Apesar de tentar apagar a construção do conhecimento científico, o processo de estabilização deixa rastros no discurso dos cientistas.

Em *A vida de Laboratório*, Latour e Woolgar (1986) caracterizam o discurso dos cientistas em cinco diferentes tipos de enunciados. A fim de promover a estabilização ontológica de um actante, os cientistas transformam enunciados do tipo 1 (conjecturas) em enunciados do tipo 5 (fato tido como adquirido); os tipos de enunciados estão resumidos na Figura 2. Latour e Woolgar (1986) indicam que nos manuais (livros didáticos), estão presentes, em sua maioria, enunciados do tipo 4 (saber aceito).

Tipos de Enunciados		Exemplos
Tipo 1	Conjecturas	Vamos supor que a radiação seja composta por um conjunto de elementos discretos.
Tipo 2	Modalidades que insistem na generalidade dos dados	Podem-se interpretar alguns dados com a quantização da radiação.
Tipo 3	Modalidades: Enunciados sobre Enunciados	Einstein afirmou que a radiação é quantizada.
Tipo 4	Saber Aceito	A radiação é quantizada.

Tipo 5	Fato tido como adquirido (não precisam ser expressos, raramente aparecem)	Os fótons foram absorvidos pelo gás.
--------	---	--------------------------------------

Figura 2: Tipos de Enunciados encontrados em um laboratório (Lima et al., 2018a)

Como estamos interessados em discutir o processo de estabilização da natureza da radiação eletromagnética nos livros didáticos, apresentamos uma breve história do processo de articulação e estabilização desse actante pela comunidade científica. Ressaltamos que estamos sintetizando cem anos de história em uma página e, certamente, isso não pode ser feito sem grandes perdas. Tentamos, entretanto, apenas ressaltar alguns aspectos da história que são apontados pela literatura especializada como importantes e que terão papel central na análise dos livros didáticos. Para uma discussão aprofundada dessa história remetemos o leitor aos livros historiográficos e de fundamentos de Física Quântica (Greenstein & Zajone, 2006; Kuhn, 1978; Martins & Rosa, 2014).

3.2.4 Diferentes visões sobre a Natureza da Radiação Eletromagnética

No contexto da Física Clássica, todos os entes físicos poderiam ser divididos em um esquema ontológico com dois grandes grupos: corpos materiais (com localização bem definida no espaço, com massa, e tendo seu movimento descrito pelas Leis de Newton) e campos contínuos, como o campo eletromagnético (distribuídos de forma contínua pelo espaço, imponderáveis, e sendo responsáveis por mediar as interações entre os corpos materiais). Dentro desse esquema teórico, a natureza ondulatória da luz foi estabelecida, primeiramente, através da mobilização de uma rede sociotécnica, que viabilizou a interpretação de experimentos de interferência da luz — um fenômeno tipicamente ondulatório. Dentro do quadro teórico Latouriano, pode-se dizer que os experimentos de interferência e a teoria ondulatória foram mobilizados para articular a natureza ondulatória da luz. Tal articulação, ademais, foi intensamente reforçada com a entrada de um novo actante (as equações de Maxwell do Eletromagnetismo). Com o desenvolvimento da Teoria Eletromagnética, não só foi possível se conceber que a luz é uma onda; mas, também, que ela possui uma natureza eletromagnética, ou seja, a luz (dentro dessa construção teórica) é uma onda eletromagnética que se propaga pelo espaço sem a necessidade de nenhum meio material. É possível, nesse sentido, imaginar que, até o início do século XX, a natureza ondulatória da luz estava ontologicamente estabilizada.

Diferentes estudos, entretanto, no início do século XX passaram a sugerir que, talvez, a luz devesse ser tratada como uma partícula — desarticulando a proposição inicial. O primeiro a sugerir isso (nesse contexto) foi Albert Einstein em 1905 (Einstein, 1905) propondo que a radiação eletromagnética, dentro dos limites de validade do modelo de Wien, deveria ser entendida de forma semelhante a um gás diluído. Essa proposta foi elaborada por diversos outros cientistas que, então, propuseram a possibilidade de fótons (a partícula de radiação eletromagnética) colidirem como se fossem partículas (Compton, 1923) ou até mesmo que fótons poderiam ter massa (de Broglie, 1922).

Deve-se ressaltar, entretanto, que essas propostas para a natureza da luz são corpusculares no sentido clássico. Isto é, entendem que, no esquema ontológico da Física Clássica, a luz deveria ficar no grupo dos corpos (partículas). A partir de 1909, entretanto, não só a natureza ondulatória da luz passou a ser desarticulada, mas o próprio esquema ontológico da física clássica. Einstein (1909) propôs que os quanta (conjunto de quantum ou fóton) deveriam ser acompanhados por um campo vetorial contínuo, sugerindo a primeira noção dual para a luz (Martins & Rosa, 2014). Isso, entretanto, não foi muito aceito ou difundido pela comunidade científica.

Um ponto crucial, entretanto, na história da luz se deu 81 anos depois da proposta corpuscular clássica inicial de Einstein (1905), quando Aspect e colaboradores (Grangier et al., 1986) fazem o primeiro experimento monofotônico, indicando, ao mesmo tempo, a existência de fótons únicos e a possibilidade de um fóton interferir (Greenstein & Zajone, 2006). Ou seja, a partir de 1986 tem-se evidência de que, sim, a luz é quantizada (o que poderia ser associada com uma característica corpuscular); mas esse fóton “interfere consigo mesmo” (Dirac, 1958) (o que poderia ser associado com uma característica ondulatória). Nesse sentido, nem uma visão corpuscular clássica, nem uma visão ondulatória dão conta do comportamento do fóton. A Mecânica Quântica, assim, desarticula não só a natureza ondulatória da luz, mas desestabiliza a própria ontologia clássica.

Atualmente, podemos descrever a quantização do campo eletromagnético matematicamente no contexto da Teoria Quântica de Campos ou da Óptica Quântica, mas a interpretação dos resultados experimentais ou mesmo a interpretação do formalismo matemático não é consensual e depende da interpretação da teoria a ser adotada, da mesma forma que a interpretação da função de onda varia dentro da Física Quântica não-relativística (Jammer, 1974).

Nesse sentido, de forma sintética, podemos dizer que a luz (ou radiação eletromagnética de uma forma mais geral) é entendida na Física Clássica (Teoria Eletromagnética):

Interpretação Ondulatória Clássica: a luz é uma onda eletromagnética. Ela se distribui de forma contínua pelo espaço. Não há um limite inferior de energia para uma determinada onda eletromagnética.

Interpretação Corpuscular semi-clássica: no início do século XX, foi desenvolvida uma visão corpuscular da luz muito semelhante à uma visão corpuscular clássica (pois não reconhecia fenômenos ondulatórios para um fóton único), como no caso de Einstein (1905), de Broglie (de Broglie, 1922) e Compton (Compton, 1923). A luz é composta por fótons, porções indivisíveis de radiação eletromagnética. Efeitos ondulatórios só são possíveis em um conjunto de fótons. Nesse caso, algumas propriedades físicas dos fótons são caracterizadas por parâmetros ondulatórios (como na equação que relaciona energia e frequência).

Com a consolidação da Física Quântica (FQ), diferentes interpretações foram desenvolvidas para dar conta do comportamento dual da luz. A discussão detalhada das diferentes interpretações da FQ e, também, da natureza da luz foge ao escopo deste trabalho, de forma que utilizaremos a classificação proposta por (Pessoa Jr., 2003) para o fóton em termos de quatro grupos de interpretação:

(i) Interpretações Corpusculares: o fóton é uma partícula. Os fenômenos de interferência em experimentos monofotônicos podem indicar a necessidade de redefinir conceitos lógicos em nível quântico, o que é conhecido como Lógica Quântica, ou mesmo formar a noção de propensidade como uma propriedade física (Popper, 2002) e desenvolver uma interpretação estatística (Ballentine, 1970)

(ii) Interpretações Ondulatórias: a luz é, de fato, uma onda. O aspecto quantizado da luz, entretanto, pode ser explicado através de noção de colapso da função da onda. Ou seja, diante de uma medida, a onda seria colapsada em apenas um possível autoestado (um possível resultado da medida). Essa visão era defendida por Schrödinger (1928) e muitas interpretações hidrodinâmicas (Jammer, 1974)

(iii) Interpretações dualistas realistas: a luz é composta por um elemento corpuscular e por uma onda que guia essa partícula. Essa onda (indetectável) é responsável por “guiar” a partícula. Visão desenvolvida, por exemplo, por de Broglie (1924)

(iv) Interpretações dualistas positivistas: o que determina a natureza ondulatória ou corpuscular é o tipo de experimento realizado. Um experimento corpuscular (que envolve a determinação de trajetória, por exemplo) revela um aspecto corpuscular, e um experimento ondulatório (que provoca interferência) revela um aspecto ondulatório. Nesse sentido, não faz sentido perguntar o que a luz “é”, mas o que cada experimento pode revelar. Essa visão foi defendida com o desenvolvimento da Complementaridade por Niels Bohr (1928)

Ressaltamos que existe uma grande variedade de interpretações da Física Quântica. A presente classificação reúne diferentes interpretações por uma de suas características mais marcantes, a dizer, o posicionamento ontológico sobre a natureza ondulatória ou corpuscular da luz (ou da função de onda, no caso não-relativístico). Poderia se agrupar as interpretações usando outros critérios, como o conceito de probabilidade a que aderem, por exemplo. Para presente pesquisa, entretanto, consideramos que o presente esquema de classificação é suficiente para avaliar o problema proposto.

Por fim, explicitamos que se pode fazer um paralelo entre o que estamos realizando e o que Latour faz ao analisar a estabilização dos micróbios de Pasteur, em detrimento da fermentação química (Latour, 1999). Em ambos casos, há dois actantes tentando ser articulados e tentando desarticular o outro actante. A diferença é que nós estamos avaliando como essa “competição” ontológica se transfere para o contexto científico-pedagógico — contexto não analisado por Latour.

3.3 METODOLOGIA

A estrutura metodológica deste trabalho foi baseada em trabalhos anteriores, nos quais analisamos a trajetória ontológica de actantes em livros didáticos de Ciência (Vazata et al., 2018, 2019). Elaboramos este dispositivo analítico a partir da categorização proposta por Latour em seu livro *A vida de Laboratório*, descrita na seção anterior. Com base neste dispositivo, sistematizamos nossa pesquisa conforme a sequência de passos descrita abaixo.

Primeira etapa

1. Escolha do actante a ser analisado

Dentre os tópicos de Física discutidos na educação básica, escolhemos analisar o actante Radiação Eletromagnética, tendo em vista que não há consenso na comunidade científica em relação a sua natureza ontológica. Segundo Montenegro e Pessoa Jr. (2002) existem ao menos quatro grupos de interpretações acerca da natureza da luz: ondulatória (realista), corpuscular (realista), dualista (realista) e dualista positivista.

2. Escolha dos livros aprovados no edital do PNLDEM 2018 a serem analisados

Em relação a escolha dos livros a serem analisados, baseamo-nos no trabalho de Lima et al. (2018b). Segundo os autores, os 14 livros didáticos de Física aprovados no edital do PNLDEM 2015 se dividem em três categorias em relação à maneira como apresentam as interpretações da radiação eletromagnética. A **primeira categoria** representa 11 livros, que não reconhecem explicitamente as diferentes interpretações e não aderem especificamente a nenhuma delas. Na **segunda categoria** estão 2 livros que reconhecem explicitamente a diferença entre as interpretações. A **terceira categoria** representa o único livro que adere a somente uma interpretação, defendendo-a como a única possibilidade. Escolhemos para análise, portanto, um livro de cada uma destas categorias, descritos abaixo:

Primeira categoria: volume 3 do livro didático de Bonjorno et al. (2016) intitulado *Física: eletromagnetismo, física moderna*. O livro de Bonjorno, segundo dados do FNDE (2017), foi o livro com maior distribuição nas escolas da rede pública brasileira referente ao edital PNLDEM 2015 (os dados do último edital não foram divulgados até então). Analisamos a unidade 3, da página 184 até 195 e a unidade 4 página 225 até 237.

Segunda categoria: volume 3 do livro didático de Pietrocola, Pogibin, Andrade, e Romero (2016) intitulado *Física em contextos*. Analisamos as unidades 3 e 4, da página 124 até 207.

Terceira categoria: volume 3 do livro didático de Gaspar (2016) intitulado *Compreendendo a Física: eletromagnetismo e física moderna*. Analisamos o capítulo 11, da página 187 até 203.

3. Escolha dos termos para seleção dos enunciados

A seleção dos enunciados, foi realizada a partir da escolha de termos previamente identificados que faziam menção de alguma forma à natureza ontológica da radiação eletromagnética, são eles: onda, ondulatória, corpúsculo, corpuscular, partícula, quanta, quantum, “pacote de energia” e fóton.

Segunda etapa (primeira análise qualitativa)

1. Seleção dos enunciados que fazem referência ao actante escolhido

A partir da escolha dos termos, realizamos uma leitura minuciosa dos capítulos do livro que remetiam à explicação da natureza ontológica da luz a partir do contexto clássico (eletromagnetismo) e moderno (Física Quântica). Todos os enunciados que continham os termos identificados foram tabelados na ordem em que apareciam no texto. Para cada livro elaboramos duas tabelas, uma para luz como onda e outra para luz como partícula, nos contextos clássico e moderno.

2. Classificação dos enunciados de acordo com a tipologia de Latour

A cada enunciado foi atribuído um número correspondente a um dos 5 tipos de enunciados proposto por Latour e Woolgar (1986)⁹.

3. Análise tipológica da trajetória ontológica do actante

Elaboramos dois gráficos (contexto clássico e moderno) e a partir deles analisamos a trajetória ontológica da luz em cada um dos contextos, constatando sua possível estabilização.

Terceira etapa (segunda análise qualitativa)

1. Separação do *dictum* e do *modus*

Selecionamos alguns enunciados de cada livro e separamos o *dictum* (aquilo que permanece inalterado na frase) do *modus* (a parte da frase que é suprimida ou alterada).

⁹ Ver figura 2.

2. Análise qualitativa do *dictum* e do *modus*

Fizemos uma análise fraseológica, identificando quatro aspectos dos enunciados:

- a) Existência, ou não, de detalhes da rede: nome do cientista, localização e data.
- b) Natureza dos verbos utilizados. Exemplo: “Einstein **descobriu** o fóton.” ou “Einstein **supôs** que a luz fosse composta por partículas, denominadas fóton.”.
- c) Estrutura do enunciado. Exemplo: “**A luz possui** um caráter dual, às vezes se comporta como onda às vezes como partícula.” ou “**Pode-se entender que a luz possui** um caráter dual, às vezes se comporta como onda às vezes como partícula.”.
- d) Identificação de agente humano “**Maxwell** comprovou a existência de ondas eletromagnéticas...” ou não-humano “A **teoria** desenvolvida por Maxwell comprovou a existência de ondas eletromagnéticas...”.

3.4 ANÁLISE DE DADOS

Assim como a metodologia foi dividida em duas etapas qualitativas, os resultados, também, serão apresentados em duas seções, correspondendo aos momentos da pesquisa. Na primeira análise qualitativa, discutimos a trajetória ontológica da natureza ondulatória e corpuscular da luz tanto no contexto clássico quanto moderno/quântico. Após essa análise, alguns enunciados foram selecionados para serem minuciosamente explorados em relação à sua estrutura fraseológica, segundo os passos 7 e 8 do nosso método de análise, o que é mostrado na seção da segunda análise qualitativa.

3.4.1 Análise tipológica dos enunciados na trajetória ontológica da natureza ondulatória e corpuscular da luz

A partir dos resultados obtidos, elaboramos dois gráficos para cada um dos livros; um gráfico traduz a trajetória ontológica para a natureza ondulatória da luz, e outro traduz a trajetória ontológica para a natureza corpuscular da luz. Ambos os

gráficos possuem os enunciados nos contextos clássico, ou seja, no âmbito do eletromagnetismo (em azul) e no âmbito do desenvolvimento da FQ, a qual foi subdividida em um período “moderno” (vermelho) e “dual” (verde) para diferenciar quando, explicitamente, aparece a natureza dual da radiação, que é uma característica central da teoria quântica (Feynman et al., 2013).

Os gráficos mostram no eixo vertical as cinco categorias de estabilização ontológica (Figura 2) e ao longo do eixo x a ordem do enunciado analisado (ao longo do texto) — assim o número 1 é o primeiro enunciado extraído do livro, o número 2 é o segundo e assim por diante. Assim, o gráfico mostra a evolução da trajetória ontológica do actante em questão (luz ondulatória e luz corpuscular) ao longo do texto.

i) Física: eletromagnetismo, física moderna (Bonjorno et al., 2016)

Este livro foi analisado em um trabalho anterior de Vazata et al. (2019). A Figura 3 contém os enunciados referentes à natureza ondulatória da luz, tanto no contexto clássico como no moderno. Pode-se perceber que, no contexto clássico, a natureza ondulatória passou por um processo de estabilização ontológica. Nas primeiras páginas do livro, que remetem à explicação da luz sob a ótica ondulatória, os autores traçam uma linha histórica acerca da evolução da teoria, evidenciando datas, locais e cientistas que colaboraram para o seu desenvolvimento, além disso, os verbos utilizados transparecem um caráter conjectural. No entanto, finalizada a breve contextualização histórica, as menções à rede, presentes sob a forma de enunciados do tipo 3, não são mais encontradas, aparecendo somente enunciados dos tipos 4 (Saber aceito) e 5 (Fato tido como adquirido). Segundo a visão latouriana, os autores deste livro didático ao desenvolverem o conceito de luz no contexto clássico, seguem o mesmo estilo discursivo dos cientistas, apagando a rede sociotécnica. A radiação eletromagnética como onda no contexto clássico torna-se, portanto, algo natural como se sempre tivesse existido. Nesta formatação, o livro dá preferência para a apresentação do conceito físico ao invés de explicitar sua construção. Ao fazer isso, o *actante* luz ondulatória passa a ser um fato, um objeto do mundo real, e não do mundo das ideias. Não se pensa a luz como onda, a luz é uma onda.

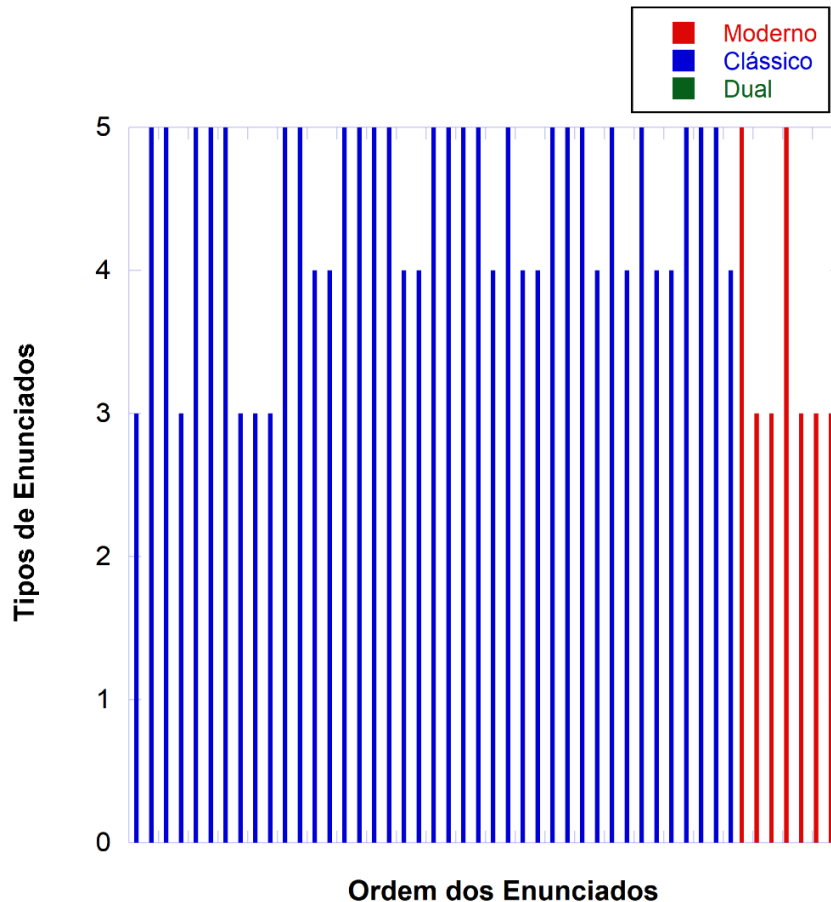


Figura 3. Trajetória ontológica da luz como onda nos contextos clássico e moderno no livro de Bonjorno et al., (2016). No eixo x estão os enunciados, na ordem que aparecem no livro. No eixo y os 5 tipos de enunciados segundo a tipologia de Latour. Adaptado de Vazata et al., (2019)

No contexto moderno a radiação eletromagnética ondulatória passa por uma desarticulação, seguindo um padrão diferente dos enunciados dos cientistas no laboratório. A abundância de enunciados tipo 4 e 5 é substituída pela alternância entre enunciados tipo 5 e 3, sendo que é finalizado com enunciados tipo 3. Comparando as Figuras 3 e 4, percebe-se que no contexto moderno há uma quantidade muito maior de enunciados corpusculares do que ondulatórios, ou seja, a visão ondulatória clássica é desestabilizada em detrimento da visão corpuscular. Chamamos atenção, também, que a visão ondulatória não aparece em nenhuma discussão dual, ou seja, a visão ondulatória fica circunscrita à visão clássica.

A Figura 4 apresenta os dados referentes à luz sob a perspectiva corpuscular. A primeira diferença evidente para visão ondulatória é o fato de o texto não possuir nenhum enunciado no contexto clássico, somente moderno, como seria esperado. As primeiras 9 frases, que apresentam o fóton, se fazem presentes num capítulo de física

clássica, num “*box*”, para explicar o funcionamento do *laser*. Então, embora a natureza corpuscular da luz apareça na discussão da física clássica, ela é feita em uma caixa apartada do texto principal, apenas apontando para o que será discutido posteriormente. Os enunciados subsequentes se fazem presentes somente nos capítulos de Física Moderna. Desta vez os autores trazem o debate para o nível conjectural e histórico, em que são encontrados diversos enunciados do tipo 3 até o final do livro. No meio da apresentação, inclusive, é colocado um enunciado tipo 2. Nesse sentido, podemos afirmar que a luz corpuscular não atinge a estabilização ontológica, entendendo-se, portanto, que as diferentes interpretações, no contexto moderno, são somente possíveis interpretações; mas não a realidade. Assim, se por um lado a luz ondulatória é estável no contexto clássico, nenhuma das duas é estável no contexto moderno/quântico. Ressaltamos, ademais, que a natureza corpuscular não aparece também em nenhum enunciado dual. Ou seja, o texto não chega a tratar propriamente de Física Quântica, como já havíamos apontado em trabalho anterior (Lima et al., 2018).

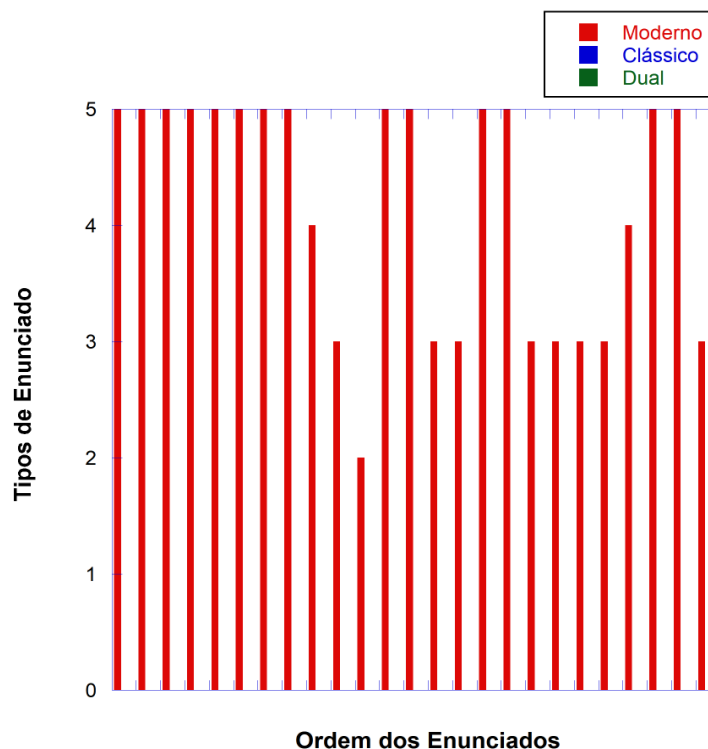


Figura 4. Trajetória ontológica da luz como partícula nos contextos clássico e moderno no livro de Bonjorno et al., (2016). No eixo x estão os enunciados, na ordem que aparecem no livro. No eixo y os 5 tipos de enunciados segundo a tipologia de Latour. Adaptado de Vazata et al., (2019)

Conclusões sobre o livro:

- 1) O livro aborda diferentes interpretações para a natureza ontológica da radiação eletromagnética.
- 2) O livro fomenta a estabilização ontológica da luz somente para a interpretação ondulatória no contexto clássico.
- 3) Apesar de somente uma das interpretações atingir a autonomização, estão presentes no livro enunciados do tipo 5 (alto grau de realidade) para a natureza corpuscular e ondulatória.

ii) Física em contextos 3 (Pietrocola et al., 2016)

O livro é dividido em 3 unidades, sendo que as duas últimas são dedicadas à explicação da radiação eletromagnética. A unidade 2 é intitulada *Ondas Eletromagnéticas* e a unidade 3 *Radiação e matéria*.

Os autores indicam no início da unidade 2 que esta será exclusivamente dedicada à natureza ondulatória da luz e que as demais interpretações (retomando também a visão ondulatória, no entanto ressaltando aspectos históricos) serão discutidas somente na próxima unidade. Os autores já partem de imediato à explicação conceitual do fenômeno físico, portanto identificamos somente um enunciado do tipo 2 e três enunciados do tipo 3 nesta unidade, sendo que enunciados do tipo 5 são os mais frequentes (as últimas 19 frases da unidade são do tipo 5). A luz ondulatória no contexto clássico torna-se um fato científico, no terço final da unidade 2, a partir da 32ª frase todas são dos tipos 4 ou 5. Uma das frases desta unidade retrata o alto grau de realidade atribuído pelos autores à natureza ondulatória da luz, “Este padrão de interferência construtiva (regiões claras) e destrutiva (regiões escuras) foi o que comprovou definitivamente a natureza ondulatória da luz.” (Pietrocola et al., 2016, p. 138). No entanto, como veremos a seguir, essa frase que denota realidade à visão ondulatória na unidade 2, é desarticulada na unidade 3.

O primeiro capítulo da unidade 3 é intitulado *A natureza da luz* e, logo na primeira seção deste capítulo, discutem-se as controvérsias a respeito da natureza da luz ao longo da história. O alto grau de realidade articulado pelos autores para radiação eletromagnética sob a ótica ondulatória na unidade 2 se perde e enunciados do tipo 1 são os mais encontrados ao longo desta unidade. Neste capítulo, dá-se

preferência à abordagem histórica¹⁰ acerca da natureza da luz, remontando ao debate entre Newton (defendendo a visão corpuscular) e Huygens (defendendo a visão ondulatória¹¹) no século XVII e posteriormente do debate entre Fresnel (ondulatória) e Poisson (corpuscular) no século XIX. Após duas seções sobre a relatividade geral e restrita, os autores retomam a discussão sobre as diferentes interpretações da radiação eletromagnética abordando concepções modernas acerca de sua ontologia. Nota-se que nesta unidade a postura epistemológica dos autores muda drasticamente, como é evidenciado em uma frase do capítulo 1 desta unidade “Em Ciência, nada é definitivo. Sua história mostra como certezas categóricas se tornam insuficientes com o desenvolvimento contínuo de pesquisas.” (Pietrocola et al., 2016, p. 181). Esta postura é refletida na abordagem discursiva utilizada para elucidar o desenvolvimento das teorias. Portanto, nesta unidade, a visão ondulatória é desarticulada.

¹⁰ Segundo Latour, esta abordagem histórica se encaixaria na história interna da Ciência, ou seja, a história dos cientistas, pois questões sociais e políticas não são abordadas no texto.

¹¹ Os autores do livro deixam subentendido ao longo do texto que a visão de Huygens era ondulatória, mas não a associam diretamente, conforme fica evidente neste trecho do texto ao mencionar o conceito do cientista “O segundo, por sua vez, acreditava que se tratava de uma perturbação que ocorria em uma suposta matéria sutil, que ele, assim como vários filósofos gregos da Antiguidade, chamava de éter.” (Pietrocola et al., 2016).

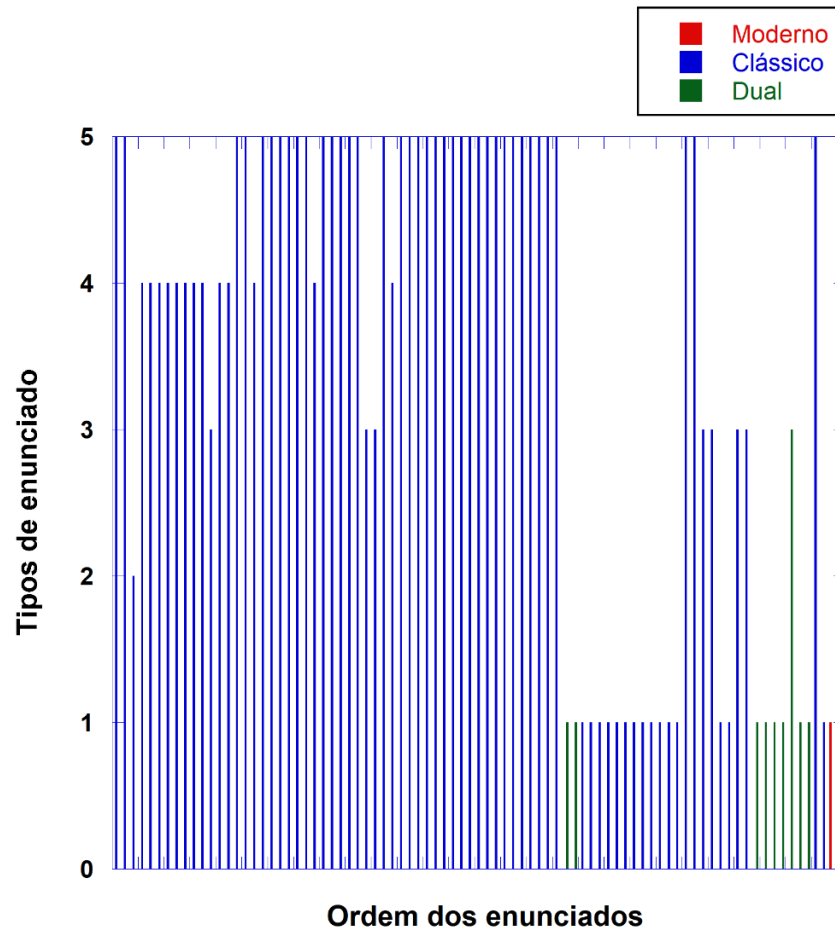


Figura 5. Trajetória ontológica da luz como onda nos contextos clássico e moderno no livro de Pietrocola et al., (2016). No eixo x estão os enunciados, na ordem que aparecem no livro. No eixo y os 5 tipos de enunciados segundo a tipologia de Latour

A unidade 3 é dedicada à discussão de diferentes interpretações sobre a natureza da luz. Além disso, nesta unidade outras teorias da Física Moderna são abordadas além da radiação eletromagnética. Os autores, como mencionado anteriormente, iniciam a unidade trazendo uma ampla contextualização histórica sobre a natureza ontológica da luz. A última seção do capítulo 8 é intitulada *O que é a luz, afinal?*. Nesta seção os autores fazem um resumo de toda a discussão, desde os tempos de Newton até a atualidade, sintetizando em quatro interpretações possíveis para a natureza da radiação eletromagnética: ondulatória, corpuscular, dualista realista e complementariedade (dualista positivista).

A Figura 6 evidencia que a radiação eletromagnética sob a ótica corpuscular não atinge em nenhum contexto (clássico ou moderno) estabilização ontológica. As seções do capítulo 8 que discutem explicitamente a natureza da luz são em geral dedicadas à abordagem histórica e de caráter conjectural. Os autores só utilizam

enunciados do tipo 5 quando necessitam explicar fenômenos físicos, como o efeito fotoelétrico, que são melhores compreendidos sob a ótica corpuscular, explicitado no seguinte trecho do texto, “Quanto maior a intensidade da luz incidente, mais fótons atingem a superfície do metal, fazendo um número maior de elétrons ser emitido.” (Pietrocola et al., 2016, p. 204).

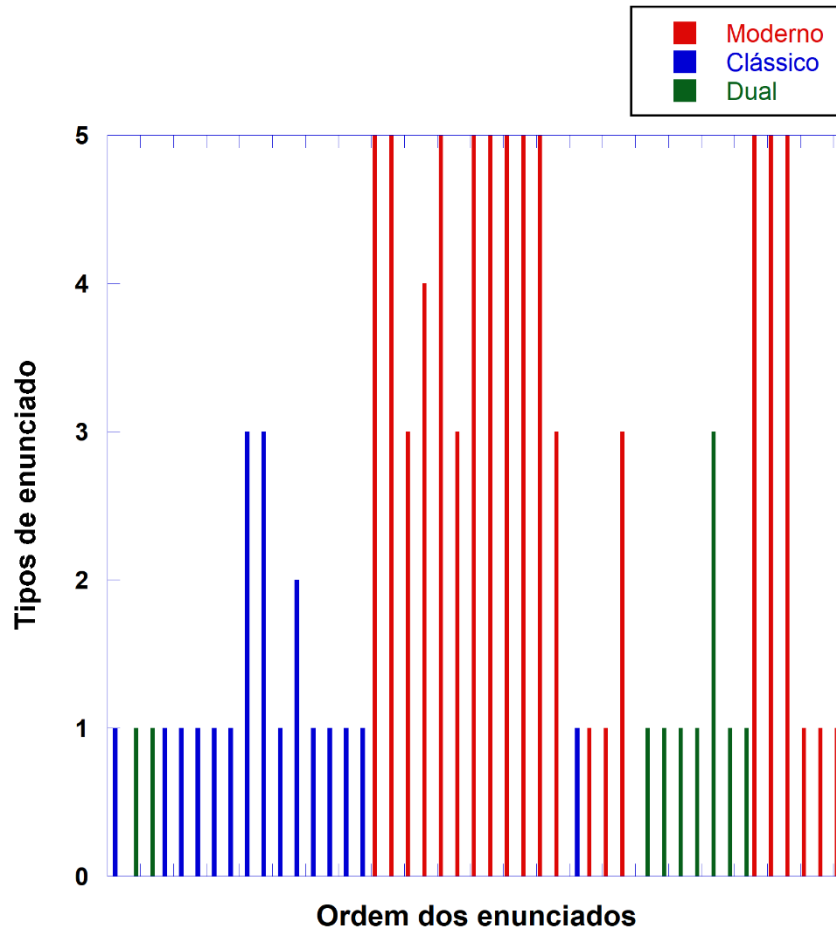


Figura 6. Trajetória ontológica da luz como partícula nos contextos clássico e moderno no livro de Pietrocola et al., (2016). No eixo x estão os enunciados, na ordem que aparecem no livro. No eixo y os 5 tipos de enunciados segundo a tipologia de Latour

Conclusões sobre o livro:

- 1) O livro aborda diferentes interpretações a respeito da natureza ontológica da radiação eletromagnética.
- 2) A interpretação ondulatória no contexto clássico na unidade 2 passa pelo processo de estabilização ontológica. Na unidade 3 esta visão é desarticulada.
- 3) Mesmo que os autores indiquem que existem ao menos quatro interpretações acerca da natureza da luz, sua abordagem discursiva e a estrutura das

unidades e capítulos (dedicando uma unidade inteira à interpretação ondulatória, enquanto que a interpretação corpuscular não possui sequer um capítulo exclusivo) podem transparecer ao leitor que a interpretação ondulatória possui um grau de realidade maior que as demais interpretações.

4) Apesar de somente uma das interpretações atingir a autonomização, estão presentes no livro enunciados do tipo 5 (alto grau de realidade) para a natureza corpuscular e ondulatória.

5) As unidades 2 e 3 devem ser analisadas independentemente, pois a visão ondulatória dentro do contexto clássico possui alto grau de realidade na unidade 2 e baixo grau de realidade na unidade 3. Além disso, as posturas epistemológicas das duas unidades são antagônicas, na unidade 2 a Ciência é tida como fonte da verdade, na unidade 3 os autores abordam a Ciência como uma construção humana.

iii) Compreendendo a Física: eletromagnetismo e física moderna (Gaspar, 2016)

A discussão sobre a natureza ontológica da luz se dá somente no capítulo 11 (*Das ondas eletromagnéticas aos fótons*) da unidade 3 do livro. O autor defende explicitamente a visão corpuscular como sendo a única possível e atribuindo a interpretação ondulatória caráter meramente instrumental, como observado neste trecho do livro “Embora haja evidências incontestáveis da natureza corpuscular da luz, há também fenômenos luminosos que só se explicam adequadamente com a teoria ondulatória.” (Gaspar, 2016, p. 197). Sua abordagem discursiva como um todo não reflete a posição defendida nesta frase, pois ao longo do texto a radiação eletromagnética sob a ótica ondulatória, no contexto clássico, passa pelo processo de estabilização ontológica, como é possível observar na Figura 7. Já no contexto moderno a visão da luz ondulatória não é estabilizada.

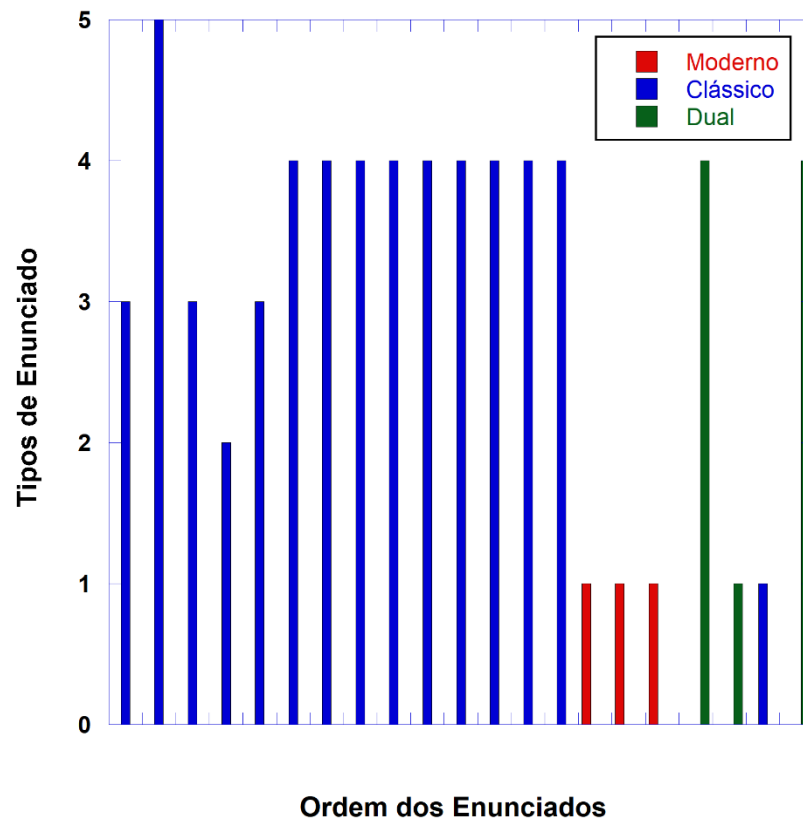


Figura 7. Trajetória ontológica da luz como onda nos contextos clássico e moderno no livro de Gaspar, (2016). No eixo x estão os enunciados, na ordem que aparecem no livro. No eixo y os 5 tipos de enunciados segundo a tipologia de Latour

A defesa explícita da natureza corpuscular da luz não se reflete na estabilização ontológica dessa. Ao longo do texto em nenhum contexto a visão corpuscular é autonomizada, como vemos no gráfico da Figura 8. Ao longo de todo o texto se encontram enunciados do tipo 2 e 3, mesmo que em dado momento os enunciados do tipo 4 e 5 sejam os mais encontrados.

Apesar de apresentar diferentes interpretações para a natureza ontológica da radiação eletromagnética, esse é o único livro presente no edital do PNLDEM 2018 que confere a somente uma interpretação o status de verdadeira, ou seja, segundo os autores somente a visão corpuscular corresponde a uma realidade no mundo, sendo adotada, portanto, uma postura epistemológica realista. As demais interpretações seriam, segundo o autor, capazes de resolverem problemas, sem corresponderem a uma realidade no mundo, adotando uma postura epistemológica instrumentalista. Entretanto, como destacamos anteriormente, o autor não sustenta sua proposição denotando baixo grau de facticidade à luz sob a ótica corpuscular.

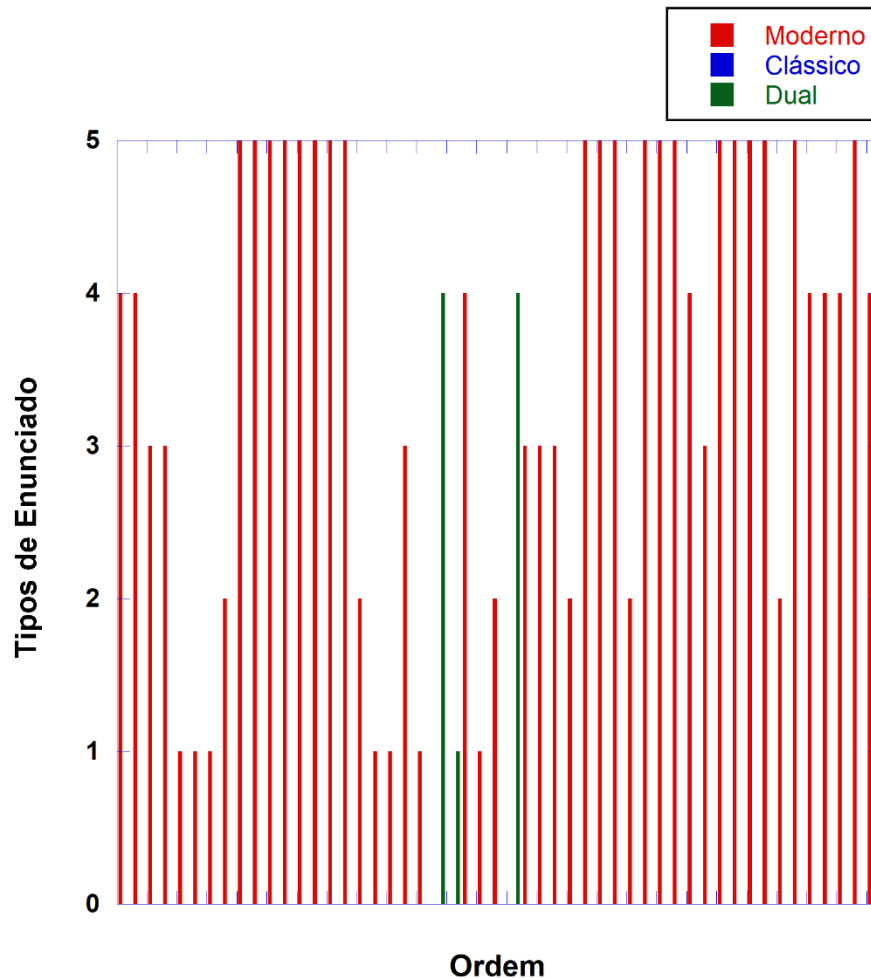


Figura 8. Trajetória ontológica da luz como partícula nos contextos clássico e moderno no livro de Gaspar, (2016). No eixo x estão os enunciados, na ordem que aparecem no livro. No eixo y os 5 tipos de enunciados segundo a tipologia de Latour

Conclusões sobre o livro:

1) O livro aborda diferentes interpretações a respeito da natureza ontológica da radiação eletromagnética.

2) Somente uma das interpretações (corpúscular) é considerada possível explicitamente, as demais são apresentadas de modo instrumentalista.

3) Apesar de apresentar diferentes interpretações e destacar que somente a corpúscular é real, o livro fomenta a estabilização ontológica da luz somente para a interpretação ondulatória no contexto clássico.

4) Dos três livros analisados, este é o que dedica menos páginas para a discussão sobre a natureza da luz, além disso, é o único que possui mais frases para explicar a natureza corpúscular que a ondulatória. Estes dados podem ter correlação

com a crença do autor de que existe somente uma interpretação possível para explicar a radiação eletromagnética e que ela é corpuscular.

A Figura 9 apresenta um resumo da análise apresentada. No quadro é possível identificar a presença, ou não, de três elementos nos livros: presença da interpretação, se possui enunciados do tipo 4 ou 5 no texto e por fim se a interpretação foi estabilizada.

Livros		Física: eletromagnetismo e física moderna	Física em contextos	Compreendendo a física: eletromagnetismo e física moderna	
Interpretações	Ondulatória (clássico ou moderno)	Presente	x	x	x
		Autonomização ¹²	x	x	x
		Tipo 4 ou 5	x	x	X
	Corpuscular (clássico ou moderno)	Presente	x	x	x
		Autonomização			
		Tipo 4 ou 5	x	x	x
	Dualista (realista)	Presente		x	
		Autonomização			
		Tipo 4 ou 5			
	Dualista (positivista)	Presente	x ¹³	x	x ¹⁴
		Autonomização			
		Tipo 4 ou 5			

Figura 9. Resumo das interpretações para a radiação eletromagnética apresentadas nos livros

¹² A autonomização ocorre somente no contexto clássico nos três casos.

¹³ Não apresenta enunciados para dualidade em nossos gráficos, ao apresentar esta interpretação os autores não utilizam nenhuma das palavras escolhidas como parâmetro de seleção das frases.

¹⁴ A visão dualista presente no livro não corresponde nem a visão dualista realista nem a dualista positivista. A interpretação apresentada pelo autor fica evidente no seguinte trecho “Para a Física atual, não há dúvida de que um feixe de luz é um feixe de partículas, isto é, um feixe de fótons. A dualidade surge em relação ao comportamento coletivo desse feixe, que é ondulatório.” (Gaspar, 2016, p. 197). Esta abordagem reforça a crença do autor na natureza corpuscular da luz.

3.4.2 Análise das formas de modalização de enunciados usados nos processos de construção das trajetórias ontológicas da luz como onda ou como partícula

Como discutido anteriormente, segundo Latour os enunciados possuem o *dictum* (o que permanece) e o *modus* (o que é modificado/subtraído). De acordo com a tipologia do autor, frases do tipo 1 ao 3 possuem os dois, já nos enunciados do tipo 4 e 5 encontra-se apenas o *dictum*, devido ao seu alto grau de realidade. Ainda, segundo o autor, nos manuais didáticos predominariam enunciados do tipo 4 (saber aceito), o que não corresponde com os livros analisados, em que foram encontradas diversas frases dos cinco tipos de enunciados. Percebe-se, portanto, que os manuais analisados não se valem de recursos discursivos semelhantes aos utilizados em laboratórios para descrever a trajetória ontológica da radiação eletromagnética. A fim de elucidar a trajetória ontológica de actantes, será demonstrado a seguir a análise do *modus* de dois enunciados dos tipos 1, 2 e 3.

Enunciado tipo 1: “O processo mais simples que pode ser imaginado é aquele em que um quantum de luz transfere toda a sua energia a um único elétron.” (Gaspar, 2016, p. 193).

Dictum: Um quanta de luz transfere toda sua energia a um único elétron.

Análise do modus: Neste enunciado o autor se refere a uma possível interpretação do fenômeno. Ao utilizar o verbo imaginar, pode-se entender que esta interpretação não reflete algo do mundo físico. Todo o *modus* diminui a realidade do actante.

Enunciado tipo 1: “Finalmente, o efeito fotoelétrico voltava a sugerir que a luz e todas as ondas eletromagnéticas se comportavam como pacotes de energia, ou seja, como partículas bem delimitadas se propagando no espaço.” (Pietrocola et al., 2016, p. 206)

Dictum: A luz é composta por pacotes de energia.

Análise do modus: O trecho “voltava a sugerir” indica que esta é apenas uma possibilidade de explicação. Faz menção à rede que articula o actante ao mencionar o efeito fotoelétrico para sustentar a teoria corpuscular. Nesse caso, percebe-se que, apesar de ser um enunciado tipo 1, existe um elemento que tenta fortalecer a existência do fóton: quem “sugere” é o efeito fotoelétrico (não-humano) e não Albert Einstein (humano). Todos sabemos que o efeito fotoelétrico não executa a ação de

sugerir, ao subtrair Einstein do processo de sugestão, entretanto, resguarda-se alguma objetividade ao actante.

Enunciado tipo 2: “Hertz também comprovou para essas ondas as propriedades de reflexão, refração, interferência, difração, polarização e a velocidade de propagação.” (Bonjorno et al., 2016, p. 186)

Dictum: As ondas têm a propriedade de reflexão, refração, interferência, difração, polarização e a velocidade de propagação.

Análise do modus: O autor insiste na generalização, ao evidenciar diversos fenômenos que são explicados a partir da teoria ondulatória. O verbo comprovar aumenta o grau de facticidade da teoria.

Enunciado tipo 2: “As expressões $E = hf$ e $E_{C_{\text{máx}}} = hf - W$ foram suficientes para explicar o efeito fotoelétrico e reacender a discussão sobre o caráter corpuscular da luz.” (Gaspar, 2016, p. 195)

Dictum: A luz é composta por corpúsculos.

Análise do modus: Faz menções à rede da teoria, mostrando equações e fenômenos que a sustentam. O trecho “reacender a discussão” enfraquece a realidade da teoria corpuscular ao denotar tom conjectural. O agente da frase, nesse caso, é não-humano. Ou seja, novamente, apaga-se o papel do agente humano no processo, o que resguarda a objetividade do que está sendo proposto.

Enunciado tipo 3: “Apesar de a natureza ondulatória da luz ser discutida desde o século XVII, somente no início do século XIX o médico e linguista britânico Thomas Young (Figura 6.30) conseguiu demonstrar a interferência das ondas luminosas.” (Pietrocola et al., 2016, p. 137)

Dictum: As ondas luminosas interferem.

Análise do modus: O início do *modus* enfraquece a proposição, ao indicar que durante séculos a teoria não possuía bons argumentos que a sustentassem. No entanto, ao fazer menções à rede da teoria (data aproximada e o nome de um cientista), o *modus* passa a fortalecer a teoria ondulatória. O agente da frase é humano, Thomas Young.

Enunciado tipo 3: “A teoria desenvolvida por Maxwell levou à conclusão da existência das ondas eletromagnéticas, que seriam constituídas pela combinação de

campos elétricos e magnéticos induzidos variáveis que se sustentariam mutuamente.” (Bonjorno et al., 2016, p. 185)

Dictum: As ondas eletromagnéticas são constituídas por campos elétricos e magnéticos que se sustentam mutuamente.

Análise do modus: O autor da teoria é citado (Maxwell). Os tempos verbais dos verbos “ser” e “sustentar” indicam suposição, ou seja, a teoria (agente não-humano) leva a crer que as ondas eletromagnéticas se comportam desta maneira. A estrutura da frase diminui a facticidade do actante. Este enunciado poderia ser catalogado como tipo 2, por generalizar a partir de uma teoria.

Na Figura 10 estão dispostos exemplos de frases referentes a cada tipo de enunciado dos três livros analisados.

Tipo de Enunciado	Frases retiradas dos livros analisados
Tipo 1 ¹⁵	ii) “Finalmente, o efeito fotoelétrico voltava a sugerir que a luz e todas as ondas eletromagnéticas se comportavam como pacotes de energia, ou seja, como partículas bem delimitadas se propagando no espaço.” (Pietrocola et al., 2016, p. 206)
	iii) “O processo mais simples que pode ser imaginado é aquele em que um quantum de luz transfere toda a sua energia a um único elétron.” (Gaspar, 2016, p. 193)
Tipo 2	i) “Hertz também comprovou para essas ondas as propriedades de reflexão, refração, interferência, difração, polarização e a velocidade de propagação.” (Bonjorno et al., 2016, p. 186)
	ii) “Ao longo da história da Ciência descobriu-se que alguns fenômenos só podem ser compreendidos quando se considera a luz uma onda eletromagnética...” (Pietrocola et al., 2016, p. 126)
	iii) “As expressões $E = hf$ e $Ec_{máx} = hf - W$ foram suficientes para explicar o efeito fotoelétrico e reacender a discussão sobre o caráter corpuscular da luz.” (Gaspar, 2016, p. 195)
Tipo 3	i) “A teoria desenvolvida por Maxwell levou à conclusão da existência das ondas eletromagnéticas, que seriam constituídas pela combinação de campos elétricos e magnéticos induzidos variáveis que se sustentariam mutuamente.” (Bonjorno et al., 2016, p. 185)
	ii) “Apesar de a natureza ondulatória da luz ser discutida desde o século XVII, somente no início do século XIX o médico e linguista

¹⁵ Não há enunciados do tipo no livro (Bonjorno et al., 2016).

	britânico Thomas Young (Figura 6.30) conseguiu demonstrar a interferência das ondas luminosas.” (Pietrocola et al., 2016, p. 137)
	iii) “A primeira observação do comportamento individual dos fótons foi feita pelo físico britânico Geoffrey I. Taylor (1886-1975) por volta de 1910.” (Gaspar, 2016, p. 200)
Tipo 4	i) “Os diversos tipos de ondas eletromagnéticas recebem diferentes nomes, que variam de acordo com seus respectivos intervalos de frequência, comprimento de onda ou a forma como são produzidas.” (Bonjorno et al., 2016, p. 186)
	ii) “Ao conjunto de sete tipos de onda eletromagnética dá-se o nome de espectro eletromagnético... ” (Pietrocola et al., 2016, p. 128)
	iii) “Sabe-se também que as ondas eletromagnéticas não tem meio de suporte para se propagarem...” (Gaspar, 2016, p. 189)
Tipo 5	i) “Essas ondas necessitam de estações retransmissoras para serem captadas a longa distância.” (Bonjorno et al., 2016, p. 187)
	ii) “Quanto maior a intensidade da luz incidente, mais fótons atingem a superfície do metal, fazendo um número maior de elétrons ser emitido.” (Pietrocola et al., 2016, p. 204)
	iii) “Cada fóton passa apenas por uma das fendas de cada vez.” (Gaspar, 2016, p. 201)

Segundo Latour e Woolgar, os tipos mais frequentes de enunciados encontrados em manuais (livros didáticos) seriam os do tipo 4. No entanto, nossa análise não corrobora sua proposição no caso específico da radiação eletromagnética. Além de possuir todos os tipos de enunciados, destaca-se a dificuldade em encaixar alguns deles em apenas uma das cinco categorias latourianas. Comumente frases possuem elementos que se enquadram em ao menos dois tipos de enunciados. Não podemos afirmar nada sobre a trajetória ontológica de outros actantes — o que demandaria outros estudos.

Nossa análise identificou recursos discursivos usados pelos autores de livros didáticos na construção das trajetórias ontológicas da luz como onda ou partícula, que não se assemelham aos recursos utilizados no laboratório. Os três primeiros tipos de enunciados estão recheados de agentes não-humanos e de variadas menções à rede. A estrutura das frases e os verbos utilizados nestes enunciados são voltados para transmitir a ideia de uma Ciência em construção. O tom conjectural, por exemplo, deve ser catalogado como enunciado tipo 1 e a menção ao autor da teoria, como tipo 3, no entanto, são encontradas diversas frases com as duas características. Frases com

modus que insistem na generalização dos dados (tipo 2) frequentemente estão mescladas com conjecturas (tipo 1) ou menção ao autor (tipo 3). Tal complexidade, reforça a necessidade da arguição fraseológica apresentada na segunda etapa de análise qualitativa, que não somente complementa, como elucida todo o processo de análise.

3.5 CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

O presente artigo teve como objetivo analisar a trajetória ontológica de diferentes interpretações da radiação eletromagnética, em livros didáticos aprovados no edital do PNLDEM 2018, de acordo com a tipologia proposta por Bruno Latour em seu livro *A vida de laboratório*, fazendo parte de uma sequência de trabalhos em que propusemos um dispositivo analítico de textos didáticos de Ciência.

Diversos artigos destinados à análise de livros didáticos concordam em relação à importância destes livros para a Educação em Ciências, por serem uma das únicas fontes de saberes voltados para a escola dos professores da educação básica. A literatura aponta para a necessidade de debates em torno do que seria importante estar presente nestes livros, principalmente em relação a qual visão de Ciência deveria ser abordada ao longo dos textos, a necessidade de explorar a potencialidade de temas ligados ao movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e à linguagem utilizada para apresentar tópicos de Física Moderna. Neste sentido, nosso trabalho dialoga com os resultados apresentados nestas pesquisas da área de Educação em Ciências, que apontam para a necessidade da análise do discurso apresentado em livros didáticos e para a revisão da abordagem epistemológica utilizada pelos autores destes livros. Além disso, nosso artigo avança no debate ao propor um novo dispositivo analítico de textos didáticos que pode ser utilizado para o estudo dos demais livros didáticos de Ciências presentes no edital do PNLDEM, assim como manuais de graduação e livros afins. Destacamos que este método pode ser utilizado para avaliar outros temas relacionados à Educação em Ciências, podendo ser hibridizado com outros métodos de análise de livros didáticos.

Não só propomos uma ferramenta de análise como a utilizamos e obtivemos resultados interessantes em relação à maneira como os autores apresentam a natureza da luz. Nossa arguição apresentou que há diferenças nas abordagens dos autores, no entanto, pontos relevantes convergiram para o mesmo resultado. Dentre

vários pontos de interseção, três deles devem ser destacados. O primeiro aspecto em comum se refere ao fato de que somente a luz ondulatória é estabilizada e somente no contexto clássico. O segundo fator comum é a presença de enunciados do tipo 4 e/ou 5 (alto grau de realidade) para interpretações ontológicas antagônicas, ou seja, atribui-se realidade à interpretação ondulatória e, ao mesmo tempo, à interpretação corpuscular. Portanto há uma incoerência ontológica, pois se afirmamos que a luz é onda, ela não pode ser partícula e vice-versa. O terceiro é a forma independente como são apresentadas as interpretações nos diferentes capítulos/unidades ou seções do livro. Uma interpretação que é autonomizada num capítulo, ou não é mencionada ou é desestabilizada no outro. Considerando os contextos clássico e moderno, ao final do processo, nenhuma versão é estabilizada, mesmo que haja uma grande quantidade de enunciados tipo 4 e 5 para diferentes versões. Concluímos que a trajetória ontológica da luz nos livros analisados não se assemelha à trajetória ontológica de actantes em laboratórios, ou seja, não há um processo de estabilização ontológica para uma única interpretação.

De acordo com Latour a educação em Ciências faz parte de um dos elos da Ciência, a representação pública. Caso este elo, ou qualquer um dos outros seja enfraquecido, o ciclo da Ciência é interrompido. Desta forma a educação básica e a Ciência são interdependentes. Por isso estendemos os estudos científicos de Latour para analisar a Educação em Ciências.

Entendemos que o ensino de Física Quântica deve ser estruturado de forma a explorar suas diversas potencialidades. Para tanto, faz-se necessário renunciar a discussões meramente instrumentais da FQ e aprofundar o debate em torno de questões filosóficas e epistemológicas.

Nesse trabalho, apresentamos diferentes tipos de interpretações possíveis para a natureza ontológica da radiação eletromagnética. Um possível caminho para ensinar tal tema seria a produção de material didático condizente com um contexto plural de interpretações e com uma abordagem pedagógica que fomentasse a discussão sobre tal pluralidade. Nessa abordagem, não seria desejável atribuir alto grau de realidade para diferentes interpretações sem uma discussão mais profunda sobre o problema ontológico, explicitando as potencialidades e as limitações de cada uma das possibilidades. A Educação em Ciências, de acordo com os Estudos das Ciências, pode evidenciar aos estudantes outras questões relacionadas à natureza da Ciência que historicamente não são trabalhadas na educação básica, abrindo a caixa

preta da Ciência. Tal modificação na abordagem de ensino vai ao encontro de recomendações existentes na literatura da área, que aponta para a necessidade da introdução de visões sobre a natureza da Ciência com base em teorias epistemológicas contemporâneas.

Por fim destacamos que a dificuldade em classificar os enunciados de acordo com a tipologia de Latour reforça a necessidade de avanços teóricos na aproximação entre os Estudos sociológicos das Ciências e a análise do discurso. No entanto, mesmo com as limitações relatadas, nossa ferramenta demonstrou grande potencial de análise para a Educação em Ciências. O livro didático faz parte da cultura escolar e se mostra fundamental não somente para a compreensão dos conhecimentos científicos, mas também para o desenvolvimento da visão dos estudantes sobre a natureza da Ciência.

3.6 REFERÊNCIAS

- Badino, M., & Navarro, J. (2013). *A History of Quantum Physics through Textbooks*. Berlin: Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge.
- Ballentine, L. E. (1970). The Statistical Interpretation of Quantum Mechanics. *Rev. Mod. Phys.*, 42(4), 358–381. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.42.358>
- Bohr, N. (1928). The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory. *Nature*, 121, 580–590.
- Bonjorno, J., Ramos, C., Prado, E., Bonjorno, V., Bonjorno, M., Casemiro, R., & Bonjorno, R. (2016). *Física: eletromagnetismo, física moderna*. (FTD, Ed.) (3a ed.). São Paulo.
- Callon, M. (1984). Some elements of a sociology of translation: domestication of the scallops and the fishermen of St Brieuc Bay. *The Sociological Review*, 32, 196–233. <https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.1984.tb00113.x>
- Cassab, M., & Martins, I. (2008). Significações de professores de Ciências a respeito do livro didático. *Ensaio Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 10(1), 1–24.
- Collins, H. M., & Evans, R. (2002). The third wave of science studies: Studies of expertise and experience. *Social Studies of Science*, 32(2), 235–296. <https://doi.org/10.1177/0306312702032002003>
- Compton, A. H. (1923). A Quantum Theory of the Scattering of X-rays by Light Elements. *Physical Review*, 21(5), 483–502. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.21.483>

- Contents, T. H. E., Modern, O. F., In, P., Books, E., Physics, O. F., & High, O. F. (2019). Os conteúdos de física moderna em livros didáticos de física do Educational books of physics of high. *Debates em Educação*, 11, 106–124. <https://doi.org/10.28998/2175-6600.2019v11n24p106-124>
- De Broglie, L. (1922). Rayonnement noir et quanta de lumière. *Journal Physical Radium*, 3(11), 422–428.
- De Broglie, L. (1924). A tentative theory of light quanta. *Philosophical Magazine*, 47(278), 446–458.
- Dirac, P. A. M. (1958). *The Principles of quantum mechanics*. Claredon Press.
- Einstein, Alber. (1905). Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen de Phisik*, 17(132).
- Einstein, Albert. (1909). On the Development of Our Views Concerning the nature and constitutio of radiation. In *Albert Einsteins - The Swiss Years: Writings, 1900–1909 (English translation supplement)*.
- Feynman, R., Leighton, R., & Sands, M. (2013). *Feynman's Lectures on Physics*. California Institute of Technology.
- Law, J. (1984). On the methods of long-distance control: Vessels, navigation and the Portuguese route to India. *Sociological Review*, 32(S1), 234–263. <https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.1984.tb00114.x>
- Lightman, B. (2016). *A Companion to the History of Science*. John Willey and Sons.
- Lima, N. W., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. J. de H. (2017). 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*, 435–459.
- Lima, N. W., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. J. de H. (2018a). A não-modernidade de Bruno Latour e suas implicações para a Educação em Ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(2), 367–388. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n2p367>
- Lima, N. W., Souza, B. B. De, Cavalcanti, C. J. de H., & Ostermann, F. (2018b). Um Estudo Metalinguístico sobre as Interpretações do Fóton nos Livros Didáticos de Física Aprovados no PNLDEM 2015: Elementos para uma Sociologia Simétrica da Educação em Ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 18(1), 331–364. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2018181331>
- Lima, N. W., Vazata, P. A. V., Ostermann, F., Cavalcanti, C. J. de H., & Moraes, A. G. (2019). Educação em Ciências nos Tempos de Pós-Verdade: Reflexões Metafísicas

- a partir dos Estudos das Ciências de Bruno Latour. *Revista Brasileira de Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 19, 155–189. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2019u155189>
- Marques, T. C. de F., Martins, T. C., Novais, A. D. L. F., Gomes, L. M., Paschoal, C. M. M., Fernandes, C. S., & Ferreira, F. C. L. (2019). Ensino de física moderna e contemporânea na última década: Revisão sistemática de literatura. *Scientia Plena*, 15(7), 1–8. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.074809>
- Martins, I. (2006). Analisando livros didáticos na perspectiva dos Estudos do Discurso: compartilhando reflexões e sugerindo uma agenda para a pesquisa. *Pro-Posições*, 1(49), 117–136.
- Martins, R. de A., & Rosa, P. S. (2014). *História da teoria quântica - a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie*. Livraria da Física.
- Montenegro, R. L., & Pessoa Jr., O. (2002). Interpretações da teoria quântica e as concepções dos alunos do curso de física. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 7(2), 107–126.
- Pessoa Jr., O. (2003). *Conceitos de Física Quântica*. Livraria da Física.
- Pietrocola, M., Pogibin, A., Andrade, R., & Romero, T. R. (2016). *Física em contextos*, 3. (1a ed.). E. do Brasil.
- Popper, K. (2002). *The Logic of Scientific Discovery*. Routledge.
- Sartre, J.-P. (2007). *Existentialism is a Humanism*. Yale University Press.
- Schrodinger, I. (1928). *Collected Papers on Wave Mechanics*. Backie & Son Limited.
- Vazata, P. A. V., Lima, N. W., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. J. de H. (2018). Proposta de um dispositivo analítico para avaliação da estabilização ontológica de um actante em livros didáticos à luz dos estudos da ciência de Bruno Latour. In *Snef XXIII*.
- Vazata, P. A. V., Lima, N. W., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. J. de H. (2019). A Natureza da Luz no Contexto Clássico e Moderno: Uma análise de enunciados de um Livro de Física aprovado no PNLDEM 2018 a partir dos Estudos da Ciência de Bruno Latour. *XII O Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – ENPEC*. ABRAPEC.
- Weinstein, M. (2008). Finding Science in the school body: Reflections on transgressing the boundaries of science education and the social studies of science. *Science Education*, 92(3), 389–403.

Zang, C., Giacosa, N., & Chrobak, R. (2019). El contenido científico en libros de textos: una revisión en revistas de acceso libre. *Latin-American Journal of Physics Education*, 13, 1–23.

4 CONCLUSÃO

Na presente dissertação, investigamos como as diferentes concepções sobre a natureza da radiação eletromagnética são apresentadas em livros didáticos de ensino básico e superior. Dividimos a investigação em dois estudos, um para cada uma das etapas de ensino.

A fim de analisarmos o problema da dualidade onda-partícula nessas obras, propomos dois dispositivos analíticos: um para análise da estabilização ontológica de actantes, com base na tipologia de Latour e Woolgar (utilizada no estudo do capítulo 3); e um para a análise das diferentes formas de composição de um possível “mundo comum”, com base na proposta cosmopolítica de Latour e Stengers, e na interpolação das análises discursivas de Latour, Woolgar e Bakhtin (utilizado no estudo do capítulo 2). Ambos dispositivos demonstraram grande potência analítica, e podem ser utilizados para arguição, em livros didáticos de ensino básico e superior, de diferentes actantes que ainda não tenham sido estabilizados ontologicamente.

Nossa análise demonstrou que os livros de ensino básico e superior divergem em alguns pontos; no entanto, em linhas gerais, possuem estrutura similar na apresentação do problema da dualidade onda-partícula. Essa dissertação reforça, portanto, o que aponta a literatura de pesquisa de livros didáticos de Física: os livros de ensino básico refletem as teorias e visões de ciência apresentadas nos livros de ensino superior.

A partir das análises propostas nos dois estudos e da comparação entre os trabalhos, chegamos a algumas conclusões. Diferentemente do que supunham Latour e Woolgar, levando em consideração todas as obras, esse gênero do discurso não apresenta um discurso estabilizado, seja os livros de graduação ou de educação básica. Outro ponto que merece destaque é que a hibridização (mistura de duas ou mais ontologias em uma nova proposição do próprio autor do livro) parece ser algo usual, ao menos nos livros de graduação. Destacamos, também, que a incoerência ontológica é observada em quase todas as obras, por serem encontrados enunciados de diferentes proposições com alto nível ontológico em um mesmo livro. Em nossas análises observamos uma vasta variedade de trajetórias ontológicas, em relação as proposições da radiação eletromagnética; e diferentes formas de construção de um possível “mundo comum”. No entanto, há um ponto em comum em relação aos livros didáticos analisados: todos eles escondem as controvérsias em torno da ontologia do

fóton. São encontrados, nos livros, diferentes proposições da radiação eletromagnética, no entanto, como aponta a literatura, questões filosóficas e conceituais são suprimidas em detrimento de uma abordagem instrumental e/ou positivista da ciência, forçando uma linearidade, racionalidade e estabilização de um “mundo comum”, que no caso da Física Quântica, inexistente.

Como defende Latour, as ciências estão direcionadas para a composição de um “mundo comum”, porém, forçar essa composição e não abrir as caixas pretas da ciência, faz com que a sociedade não esteja a par da complexa rede de articulações cujos actantes científicos precisam construir para se estabelecerem como uma realidade. Quando o árduo trabalho de estabilização dos actantes não é apresentado, visões negacionistas e científicas podem parecer possuir o mesmo nível de realidade, mesmo que suas redes sejam incomensuráveis. Quando as multinaturezas e o processo cosmopolítico não são considerados, apresentamos a futuros professores e pesquisadores, estudantes da educação básica e a sociedade como um todo, uma visão de ciência absolutista, autoritária e tecnocrata, que não respeita a diversidade ontológica e epistemológica do mundo. Precisamos partir, portanto, para uma educação científica cosmopolítica, que busque a composição de um “mundo comum”, mas que exponha as disputas e controvérsias científicas.

Desse modo, podemos construir uma ciência confiável e antiautoritária; que combata o negacionismo, mas que não recaia nos ideais modernistas. Uma ciência que esteja associada a resolução dos problemas sociais e ambientais de nossa era.

APÊNDICE A - O POSITIVISMO COMTIANO, A NÃO MODERNIDADE DE LATOUR E A CRISE DO PARADIGMA VIGENTE DE BOAVENTURA: O QUE A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA DEVE PRESERVAR DA MODERNIDADE E O QUE DEVE CRITICAR

Resumo: A descrença da humanidade na modernidade devido as guerras do século XX e o advento do aquecimento global antropogênico, gerou como consequência o surgimento da pós modernidade. Autores sugerem que este fenômeno possivelmente tenha sido usado como base para o desenvolvimento do relativismo e da pós verdade. Analisando este cenário, Bruno Latour estabeleceu algumas características da modernidade que deveriam ser salvas. Neste trabalho, buscamos caracterizar a visão de modernidade de outros dois autores, Augusto Comte e Boaventura, a fim de ampliarmos a resposta encontrada por Latour. Sintetizamos a visão de modernidade destes autores e analisamos criticamente quais elementos da modernidade deveriam ser mantidos na Educação em Ciências e quais deveriam ser rejeitados. Concluímos que devemos manter: a mediação do laboratório dos modernos para obtenção de dados; o conhecimento científico especializado. Em contrapartida concluímos que devemos rejeitar: uma visão de Ciência neutra, absoluta e linear; a negação da existência dos híbridos; a visão de mundo-máquina.

Palavras-chave: educação científica; positivismo; Latour; Boaventura; modernidade.

Abstract: Humanity's disbelief in modernity due to the wars of the 20th century and the advent of anthropogenic global warming has led to the emergence of postmodernity. Authors suggest that this phenomenon may have been used as a basis for the development of relativism and the post-truth. Analyzing this scenario, Bruno Latour established some characteristics of modernity that should be saved. In this work, we seek to characterize the vision of modernity of two others authors, Augusto Comte and Boaventura, in order to expand the answer found by Latour. We synthesize these authors' vision of modernity and critically analyse which elements of modernity should be maintained in Science Education and which should be rejected. We conclude that we must maintain: the mediation of the modern laboratory to obtain data; specialized scientific knowledge. In contrast, we conclude that we must reject: a

neutral, absolute and linear vision science; the denial of the existence of hybrids; the machine-world vision.

Keywords: scientific education; positivism; Latour; Boaventura; modernity.

Introdução

A visão de Ciência absoluta e salvacionista reinou durante o final do século XIX e o início do século XX. O advento do positivismo de Augusto Comte (COMTE, 1978) alavancou a soberania científica, que passou a ser referência para a sociedade. Sendo a fonte do conhecimento verdadeiro, livre de credices, ideologias políticas e elementos sobrenaturais, portanto neutra. Os métodos de Bacon e Descartes garantiam a superioridade do conhecimento científico, fruto da observação e da experimentação, tendo o ser humano o papel de mero espectador e descobridor dos mistérios ainda não desvendados e devidamente explicados da natureza. Tal soberania do conhecimento científico começou a ser questionada, no entanto, com a deflagração das guerras mundiais na primeira metade do século XX e suas respectivas consequências geopolíticas: a Guerra fria e a corrida armamentista, na segunda metade do século (VIDEIRA, 2007).

No período pós guerra, a pesquisa em Educação em Ciências intensificou debates em torno da neutralidade científica e do salvacionismo tecnológico, com o advento do movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) (AIKENHEAD, 1985; AULER & DELIZOICOV, 2001; DOS SANTOS & MORTIMER, 2002). No campo da epistemologia (BACHELARD, 1996; FEYERABEND, 2011; KUHN, 1996; LATOUR; WOOLGAR, 1997), da filosofia (CHALMERS, 1993; RUSSEL, 1959) e da história da Ciência (MATTHEWS, 1995), diversos autores colocaram em suspeição o método científico e o processo de indução, buscando identificar os limites do conhecimento científico e a natureza da Ciência, questionando seus pressupostos basilares, como a racionalidade e a linearidade. Ademais, os horrores causados pelas bombas atômicas, os problemas ambientais surgidos no período do antropoceno devido a expansão capitalista e seu extrativismo extremo, assim como a ineficiência do socialismo soviético em expurgar a desigualdade, desencadearam uma profunda descrença na modernidade (LATOUR, 2019). Este vácuo intelectual abriu espaço para o surgimento da pós-modernidade. Alguns autores sugerem que os fundamentos do pensamento

pós-moderno foram utilizados como base do relativismo e da pós-verdade (LIMA et al., 2019; MCINTYRE, 2018) e seus consequentes movimentos anti-vacina, terraplana e negacionismo climático. Esse novo cenário levanta a questão se não há algo da modernidade que devemos preservar.

Segundo Bakhtin (2017), um trabalho filosófico se difere de um trabalho científico por ser interpretativo e expor o excedente de visão dos autores, este processo é denominado pelo autor como heterocientífico. Neste sentido, nosso objetivo é propor uma reflexão filosófica a partir das proposições sobre a modernidade de três autores, na busca de identificar quais elementos da modernidade devem ser criticados e quais devem ser mantidos, no intuito de desenvolver uma educação científica mais potente no sentido de viabilizar transformações sociais positivas e sustentáveis. Este questionamento já foi levantado por Bruno Latour (LATOURE, 2019), desejamos, portanto, traçar um paralelo com sua proposta e explorar outras visões sobre a modernidade, a fim de complementar sua resposta.

As diferentes modernidades

Nesta seção caracterizamos a modernidade segundo a perspectiva de três quadros teóricos: o positivismo Comtiano, a não modernidade de Bruno Latour e a crise do paradigma vigente de Boaventura.

Positivismo Comtiano

Auguste Comte (1798-1857) foi um filósofo francês responsável por formular a doutrina Positivista (filosofia positiva) e considerado por muitos o pai fundador da Sociologia. Comte viveu no período pós Revolução Francesa, que segundo ele, foi de suma importância, pois as antigas instituições tanto sociais como políticas, eram fundamentadas pela teologia. A revolução, no entanto, não havia se dado por completo devido a suas bases metafísicas. A fim de reorganizar a sociedade francesa pós guerra, Comte acreditava que as novas instituições deveriam estar sob o controle de uma nova elite científico-industrial positiva (CIVITA, 1978). Autor de diversos textos, o *Curso de Filosofia Positiva* (COMTE, 1978) é considerado sua principal obra, expondo as primeiras lições de sua filosofia e suas origens.

Segundo Comte (1978), os humanos e a própria humanidade passam por um desenvolvimento progressivo de sua inteligência, que se dão em três estados históricos: o estado teológico (fictício) como ponto de partida que avança para o processo de transição, o estado metafísico (abstrato), culminando por fim no estado científico (positivo). Sendo o estado positivo o “verdadeiro estado definitivo da inteligência humana” (COMTE, 1978, p. 6).

De acordo com o autor a revolução científica (positiva) ocorreu de forma lenta, gradual e progressiva, podendo ser remontada desde Aristóteles e da introdução das Ciências naturais na Europa ocidental pelos árabes. A fim de localizar historicamente quando esta revolução de fato se concebeu, Comte (1978) considera que as ideias do pensamento positivo se desprenderam de forma concisa de pensamentos teológicos e metafísicos pela “[...] ação combinada dos preceitos de Bacon, das concepções de Descartes e das descobertas de Galileu [...]” (COMTE, 1978, p. 8). Segundo o autor, este período histórico marca a ascendência da filosofia positiva e a decadência das filosofias teológica e metafísica.

Segundo Comte, os métodos teológicos e metafísicos já não eram mais utilizados para compreender fenômenos astronômicos, físicos, químicos e fisiológicos, mas ainda eram necessários para o estudo dos fenômenos sociais¹⁶. A incorporação dos fenômenos sociais na filosofia positiva caracterizaria a completude do sistema filosófico dos modernos. Todos os fenômenos observáveis estariam dentro de uma das cinco categorias. A física social somada as outras quatro Ciências compõem o sistema das Ciências naturais. Para Comte (1978), quando homogeneizadas todas as concepções fundamentais, a filosofia entraria em definitivo no estado positivo. Jamais mudaria sua fundamentação e somente se desenvolveria através de observações e meditações, tornando-se universal. Comte destaca, no entanto, que a junção das Ciências é complexa e possivelmente inatingível. Logo, a unidade da filosofia positiva era o método, a unidade dos fenômenos naturais seria uma espécie de utopia da modernidade.

A obra de Augusto Comte influenciou profundamente o mundo ocidental, devendo ser reconhecido por sua vasta produção cultural. No entanto, sua visão de mundo imputa à Ciência poder absoluto, ao colocá-la não somente acima de qualquer outra forma de conhecimento, mas também por caracterizá-lo como estágio final do

¹⁶ Comte entendia os fenômenos sociais como uma subdivisão dos fisiológicos, mas devido a sua complexidade e importância, mereciam uma categoria distinta.

conhecimento humano. O positivismo comtiano entende a Ciência como neutra, absoluta e linear. Nenhuma destas descrições sobre a Ciência moderna deve ser mantida no ensino de Ciências.

A não modernidade de Bruno Latour

Bruno Latour (1947 -) é um epistemólogo, antropólogo e filósofo da Ciência que se dedicou a estudar a Ciência em ação a partir de estudos antropológicos em laboratórios (LATOURE; WOOLGAR, 1997), desenvolvendo o chamado Estudos das Ciências. Em uma de suas obras mais famosas *Jamais fomos Modernos* (LATOURE, 2019), o autor busca caracterizar a modernidade através de momentos históricos e fundamentos filosóficos que foram base deste movimento.

Segundo Latour, a característica fundamental da modernidade é a separação ontológica entre natureza e sociedade. Os modernos dedicaram-se a separá-las por meio de dois processos: a mediação (tradução) e a purificação. A mediação é o processo responsável pela criação dos híbridos, o cientista (sociedade) faz a tradução dos dados (natureza) obtidos através dos aparatos experimentais, ou seja, o cientista fala em nome do experimento que não tem capacidade de se comunicar com a sociedade. Finalizada a mediação, inicia-se o processo de purificação, na qual os modernos eliminam a dimensão social criada durante a tradução, permanecendo portanto, somente o que há de natural nos dados (LATOURE 2019; LIMA; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2018). Latour demonstra que o processo de purificação, no entanto, não ocorre, não há como eliminar a dimensão social do laboratório, os dados não podem ser obtidos e interpretados sem o intermédio do cientista. O advento da modernidade proliferou a quantidade de híbridos no mundo. Um híbrido é um quase-objeto, como os buracos na camada de ozônio: são resultado de interações entre moléculas de ozônio e gases antropogênicos, ao mesmo tempo foram traduzidos por intermédio dos cientistas, assim como é resultado da interação entre diversos humanos: cientistas, políticos, jornalistas, professores; e não humanos: livros, jornais e artigos científicos (LATOURE 2019; LIMA; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2018). Os buracos na camada de ozônio são, portanto, híbridos: são naturais, sociais e produto do discurso.

Latour ilustra o desenvolvimento dos modernos a partir do debate entre Hobbes e Boyle sobre a bomba de vácuo. Hobbes tem seu nome associado comumente a pensadores do mundo político/social, enquanto Boyle figura entre os cientistas. Shapin & Schaffer (1985) trazem à luz teorias políticas de Boyle e trabalhos científicos de Hobbes, ilustrando que ao mesmo tempo em que debatiam sobre a existência do vácuo, discutiam sobre a melhor forma de organização social/política na época. Boyle recorre ao empirismo e a criação artificial do vácuo no laboratório, à mostra para interpretação; Hobbes deseja expurgar as entidades transcendentais (como o vácuo) e não deseja que pessoas independentes possam obter suas próprias conclusões. Boyle fez uso de um preceito jurídico que garantia veracidade a um acontecimento observado por duas testemunhas confiáveis. Hobbes desejava que todo conhecimento científico fosse provido da argumentação matemática unificada, sendo que o próprio Leviatã havia sido construído com base nesta lógica. Latour (1994) demonstra como o embate entre os dois deu início a assimetria moderna: Boyle e os cientistas passaram a representar os não humanos; Hobbes e os políticos, os humanos. A sociedade é representada por Hobbes, os demais políticos e o Leviatã, enquanto a natureza é representada por Boyle, os cientistas e o laboratório. Ambos venceram a disputa, em diferentes campos, dando início ao distanciamento sujeito/objeto.

Segundo Latour, Hobbes e Boyle causaram apenas a distinção entre natureza e sociedade, foi Kant que propiciou sua ruptura. Kant afirmava que as coisas-em-si são inacessíveis e independentes do sujeito transcendental. Os sujeitos só têm acesso às coisas por meio dos fenômenos, ponto intermediário entre os polos (LIMA et al., 2019). A dialética Hegeliana pensou ter superado os problemas da filosofia kantiana, assim como a fenomenologia, no entanto ambas só aumentaram o distanciamento entre os polos. De acordo com Latour, todos estes pensadores, mesmo equivocados por distanciarem progressivamente os polos, o faziam no campo teórico; na prática faziam o movimento contrário, ao passo que aumentavam o número de híbridos, mas aumentavam também o número de mediadores, anulando os efeitos da separação ontológica. Os pós-modernos, contudo, abandonaram a prática da hibridização e focaram todos seus esforços na purificação, rompendo de vez o elo entre os sujeitos e os objetos. Na lógica pós-moderna, não há mais mediadores, os sujeitos interpretam-se a si mesmos. Para Latour (1994), a pós-modernidade é na

verdade o fim da era dos modernos, pois o distanciamento entre natureza e sociedade chegou em seu limite, visto que a ligação foi rompida.

Segundo Latour, como jamais conseguimos purificar os dados obtidos em laboratórios jamais fomos modernos, porém acreditamos que fomos. A modernidade se constitui na invisibilização do processo de mediação e conseqüentemente na negação da existência dos híbridos. Segundo o autor, a ideia de revolução científica é somente um artifício dos modernos para explicar o surgimento dos quase-objetos sem ter a necessidade de revelar o processo de tradução, alterando a real história da Ciência por trás dos avanços científicos (LATOUR, 2019). Latour não se enquadra, portanto, nem no grupo dos modernos, nem dos pós-modernos. Autointitula-se um não-moderno, pois não deseja renunciar aos avanços dos modernos, entretanto não nega a existência dos híbridos.

A visão de Ciência latouriana reforça as potencialidades da Ciência, ao mesmo tempo em que aponta suas inconsistências ontológicas. A partir dos escritos de Latour, apontamos que o ensino de Ciências deve explicitar a mediação do laboratório dos modernos. Em contrapartida, entendemos que o ensino científico rejeite a negação da existência dos híbridos e a separação ontológica entre natureza e sociedade.

A crise do paradigma vigente de Boaventura

Boaventura de Souza Santos (1940 -) iniciou sua trajetória acadêmica no Direito, mas ao longo de sua carreira produziu trabalhos sociológicos e epistemológicos. Boaventura se dedicou ao longo de sua vida a explorar conhecimentos fora do espectro da Ciência moderna. Em uma de suas obras *Um discurso sobre as ciências* (DE SOUZA SANTOS, 2008) o autor busca sintetizar sua visão sobre a Ciência moderna e a crise em que esta se encontra.

Segundo De Souza Santos (2008), a Ciência praticada na contemporaneidade nasceu na revolução científica do século XVI, tendo como base as Ciências naturais. Sua racionalidade foi somente estendida às Ciências sociais nos séculos XVIII e XIX. De acordo com o autor, os preâmbulos da Ciência moderna se iniciaram com o Heliocentrismo de Copérnico, as leis de Kepler sobre os planetas, as leis de Galileu sobre a queda dos corpos e o grande conjunto de leis elaborados por Newton, que

sintetizou todas as leis anteriores. Todos estes conhecimentos foram cancelados pelas filosofias de Bacon e Descartes.

Boaventura elenca uma série de características do conhecimento científico, assim como algumas incoerências internas. O autor afirma que o primeiro ponto de ruptura entre a Ciência e as formas anteriores de obtenção de conhecimento é seu modelo totalitário, pois nega racionalidade a qualquer conhecimento que não passe pelo crivo do método científico. Além disso, Boaventura ressalta a impossibilidade da observação¹⁷ ser a primeira etapa do método científico, devido a necessidade de uma teoria prévia. Segundo o autor, esta lacuna seria preenchida com as ideias matemáticas, tornando-a, portanto, o pilar da Ciência moderna. Em decorrência do papel preponderante da matemática na Ciência, a quantificação, a medição e a simplificação acabam por apresentar papel central em todo o processo. Ademais, o autor menciona diversas outras características do pensamento científico, como: a capacidade de prever o futuro sabendo-se as condições iniciais; pressupostos filosóficos estabelecidos por Newton como tempo e espaço absolutos; sua preocupação com o funcionamento dos fenômenos e sua omissão frente a causa e as consequências destes fenômenos. De Souza Santos (2008) denomina este último item mencionado como *expulsão da intenção*. Segundo o autor, seria este o fator que causou a ruptura entre o conhecimento científico e o conhecimento de senso comum. Este processo causou também a ruptura entre natureza e ser humano. O conhecimento científico é o conhecimento da natureza, o conhecimento de senso comum do ser humano.

Além disso, segundo Boaventura, o poder de previsibilidade da mecânica Newtoniana inferiu a Ciência o poder de transformação do real. O mundo passa a ser, portanto, uma espécie de máquina, na qual sabendo-se as leis que regem seu funcionamento posso manipulá-la. Como indica o autor “Esta ideia do mundo-máquina é de tal modo poderosa que se vai transformar na grande hipótese universal da época moderna, o mecanicismo.” (DE SOUZA SANTOS, 2008, p. 31). De acordo com o autor, esta visão de mundo mesclou-se com a ascensão da burguesia, moldando a ideia do que é *progresso* no mundo moderno. O modelo mecanicista seria transplantando nos séculos posteriores para o estudo da evolução da sociedade nos

¹⁷ Boaventura faz esta ressalva em relação ao método científico de Bacon, segundo o qual o conhecimento científico passa por três etapas: observação, indução e dedução. O problema da observação foi demonstrado por (RUSSEL, 1959) e (CHALMERS, 1993).

trabalhos de Augusto Comte (positivismo), Spencer (sociedade industrial) e Durkheim (solidariedade orgânica). Se os cientistas naturais descobriam as leis que regem a natureza, os cientistas sociais deveriam descobrir as leis que regem a humanidade. O autor evidencia que a ineficiência do modelo mecanicista para explicar a humanidade foi logo exposta e modificações nas Ciências sociais foram executadas sem, no entanto, modificar o caráter racionalista herdado das Ciências naturais. A distinção que outrora se fazia presente entre natureza e ser humano foi, portanto, expandida com o advento das Ciências sociais, tomando outras formas: como a distinção natureza/cultura e humano/animal. Tais distinções culminaram no entendimento de que os seres humanos detêm um caráter único não compartilhado com a natureza.

Para Boaventura, o paradigma¹⁸ vigente entrou em uma crise profunda e irreversível no começo do século XX: primeiramente pela subjetividade do ser humano, que ficou evidenciada nos primeiros trabalhos sociológicos, expondo as limitações da universalização do pensamento mecanicista; em segundo lugar pelos trabalhos de Einstein e pelo desenvolvimento da Mecânica Quântica (MQ), colocando em suspeição as bases da Ciência moderna. Einstein rompeu com a ideia de espaço/tempo absoluto e o caráter local da medição; enquanto a MQ, com Heisenberg e Bohr, introduziu o problema do observador não neutro, que interfere nos resultados ao realizar medições e/ou observações. Tais concepções, segundo o autor, romperam não somente com o absolutismo científico (relatividade de Einstein), como com a distinção entre sujeito e objeto (MQ). De acordo com Boaventura, tanto a relatividade quanto a MQ deram início a uma nova revolução científica, que fará emergir um novo paradigma.

Destaca-se na obra de Boaventura a inviabilidade do reducionismo mecanicista para explicar a totalidade do mundo, ou seja, a impossibilidade de solucionar todos os problemas a partir de critérios tecno-científicos. A partir desta visão, compreendemos a necessidade de desenvolver uma Educação em Ciências crítica em relação a visão de mundo-máquina sem, no entanto, renunciarmos ao papel fundamental do conhecimento científico especializado, fruto da modernidade, para a sociedade.

¹⁸ O autor utiliza o termo paradigma vigente, baseado nos trabalhos de (KUHN, 1996), ao mencionar a posição privilegiada ocupada pela racionalidade da Ciência moderna frente a outras formas de conhecimento.

Conclusão

Neste trabalho sintetizamos a visão de três pensadores a respeito da modernidade e da Ciência moderna. Comte vê na modernidade o estágio final da inteligência humana, enquanto Latour afirma que a modernidade sequer existiu, por sua vez Boaventura acredita que a modernidade está em crise e estamos em meio a uma nova revolução científica, na véspera de novos tempos para humanidade.

A partir da visão de modernidade dos autores analisados, concluímos que devem ser mantidos na Educação em Ciências: a mediação do laboratório dos modernos para obtenção de dados; o reconhecimento da importância do conhecimento científico especializado para a sociedade. Em contrapartida concluímos que devem ser criticados na educação científica: uma visão de Ciência neutra, absoluta e linear; a negação da existência dos híbridos; a visão de mundo-máquina. Nosso trabalho conversa com a literatura da área que aponta para a necessidade de inserção de elementos de epistemologia, filosofia e história da Ciência na educação científica básica e superior, no intuito de contemplar a totalidade, a complexidade e as limitações da Ciência. Em estudos posteriores pretendemos expandir o estudo sobre as diferentes modernidades e seu papel na Educação em Ciências.

Referências

AIKENHEAD, G. S. Collective decision making in the social context of science. **Science Education**, v. 64, 1985.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. Alfabetização Científico-Tecnológica Para Quê? **ENSAIO – Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 03, n. 1, p. 1–17, 2001.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BAKHTIN, M. **Notas sobre literatura, cultura e ciências humanas**. São Paulo: Editora 34, 2017.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** : Editora Brasiliense, 1993.

CIVITA, V. (Ed. . **Os pensadores: Augusto Comte**. 1º ed. São Paulo: Abril Cultural, 1978.

COMTE, A. Curso de filosofia Positiva. In: **Coleção Os Pensadores**. 1 ed. São Paulo: Abril Cultural, 1978. p. 1–39.

DE SOUZA SANTOS, B. **Um discurso sobre as ciências**. 5 ed. São Paulo: Editora Cortez, 2008.

FEYERABEND, P. **Contra o método**. 2° ed: Unesp, 2011.

KUHN, T. **The structure of Scientific Revolutions**. 3 ed. Chicago: The University of Chicago Press, 1996.

LATOUR, B. **Jamais Fomos Modernos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora 34, 1994.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

LIMA, N. W. et al. Educação em Ciências nos Tempos de Pós-Verdade: Reflexões Metafísicas a partir dos Estudos das Ciências de Bruno Latour. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, n. May, p. 155–189, 2019.

LIMA, N. W.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. de H. A não-modernidade de Bruno Latour e suas implicações para a Educação em Ciências. **Caderno brasileiro de ensino de Física**, v. 35, p. 367–388, 2018.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164–214, 1995.

MCINTYRE, L. **Post-truth**. Cambridge: MIT Press, 2018.

RUSSEL, B. **Os problemas da filosofia**. : Oxford University Press, 1959.

SANTOS, W. L. P. Dos; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2002, p. 110–132, 2002.

SHAPIN, S.; SCHAFFER, S. **Leviathan and the air-pump**. Princeton: Princeton University Press, 1985.

VIDEIRA, A. A. P. Historiografia e história da ciência. **Escritos**, v. 1, p. 111–158, 2007.

APÊNDICE B - DIFERENTES CONCEPÇÕES ONTOLÓGICAS DA MECÂNICA QUÂNTICA NO LIVRO DIDÁTICO DO ATIVISTA QUÂNTICO AMIT GOSWAMI: UMA INTERPRETAÇÃO À LUZ DA TEORIA DO ENUNCIADO CONCRETO DE BAKHTIN

Resumo: Neste trabalho propomos uma análise metalinguística, através do dispositivo analítico apresentado no trabalho de Lima et al., que tem como base a Teoria do Enunciado Concreto de Bakhtin. Analisamos um enunciado (um capítulo) no livro didático do ativista quântico Amit Goswami. Nosso objetivo é mapear as concepções ontológicas sobre a Física Quântica apresentadas e sustentadas pelo autor, bem como explicitar a responsividade do enunciado, o gênero de discurso adotado e a estrutura composicional do texto. Através da análise, buscamos encontrar possíveis conexões com o ensino de quântica. Concluimos que o autor busca desarticular concepções ontológicas realistas e materialistas em prol de concepções idealistas e não-materialistas. Ademais, destacamos que o gênero de discurso adotado e a estrutura composicional do texto são respostas a comunidade científica, assim como as concepções filosóficas defendidas pelo autor são um preâmbulo do rumo espiritualista que sua carreira iria tomar nos anos subsequentes.

Palavras-chave: livro didático; Bakhtin; Física Quântica; Goswami; Misticismo Quântico.

Abstract: In this work we propose a metalinguistic analysis, through the analytical device presented in the work of Lima et al., which is based on Bakhtin's Theory of Concrete Utterance. We analyzed a statement (a chapter) in the textbook of the quantum activist Amit Goswami. Our goal is to map ontological conceptions about Quantum Physics presents and supported by the author, as well as explain the responsiveness of the statement, the discourse genre adopted and the compositional structure of the text. Through analysis, we seek to find possible options with teaching quantum. We conclude that the author seeks to disconnect from realistic and materialistic ontological conceptions in favor of idealistic and non-materialist conceptions. Furthermore, we highlight that the adopted discourse genre and a compositional structure of the text are restored to the scientific community, as well as the philosophical conceptions defended by the author are a preamble of the spiritual path that his career would take in the following years.

Key words: textbook; Bakhtin; Quantum Physics; Goswami; Quantum Mysticism.

Introdução

Tanto na educação básica como no ensino superior, o livro didático (LD) tem desempenhado um papel central na formulação de currículos de Ciências da Natureza. Epistemólogos como Thomas Kuhn colocam estes manuais como essenciais para o desenvolvimento da própria ciência (KUHN, 1996). Vazata et al. (2020), por exemplo, com base no trabalho de Latour (2017), que propõem que o LD faz parte do sistema circulatório da ciência e da educação em ciências. Ademais, a linguagem científica tem sido, mais recentemente, objeto de estudo de diversas pesquisas em educação em ciências (CASSAB; MARTINS, 2008; LIGHTMAN, 2016; LIMA et al., 2018) dada a sua relevância na apropriação do conhecimento. Em especial, o ensino de Física Quântica (FQ) que tem sido cada vez mais explorado devido não só as suas potencialidades pedagógicas, mas também por ser fortemente moldado pela linguagem e pelas propostas didáticas apresentadas nos livros adotados pelos professores (MONTENEGRO; PESSOA JR, 2002).

Neste trabalho propomos uma análise metalinguística de um enunciado do LD de Amit Goswami (1997), intitulado, *Quantum Mechanics*. Goswami é um físico teórico indiano (1936 -), aposentado, que durante sua carreira acadêmica trabalhou na Universidade de Oregon (EUA), de 1968 a 1997, como pesquisador e docente. No final de sua carreira escreveu um LD de FQ e, posteriormente, mudou seu foco de pesquisa, dedicando-se a encontrar interrelações entre o universo Quântico e a Espiritualidade (GOSWAMI, 2008; GOSWAMI; REED; GOSWAMI, 1993), sendo que o aspecto místico de sua obra já foi objeto de estudo de uma dissertação de mestrado no Brasil (NOGUEIRA, 2010). Desde então, se autointitula um Ativista Quântico, participando do movimento conhecido como fenômeno cultural do Misticismo Quântico (PESSOA JR., 2011).¹⁹

Nosso objetivo é explorar as concepções ontológicas apresentadas no LD de Amit Goswami e analisar sua estrutura metalinguística, para compreender suas bases

¹⁹ O trabalho de Goswami tomou proporções ainda maiores com sua participação no filme *What the Bleep Do We Know!* (Arntz et al., 2004).

filosóficas e metafísicas, identificando possíveis conexões com o ensino de FQ. Pretendemos responder as seguintes questões de pesquisa: a) quais as posições filosóficas são apresentadas no enunciado analisado, b) qual a posição filosófica (realista/idealista) adotada pelo autor e c) identificar a quem o autor responde, qual o gênero de discurso utilizado e qual a estrutura composicional do texto.

Referencial teórico-metodológico

Nossa análise tem como base os estudos metalinguísticos da Teoria do Enunciado Concreto do Círculo de Bakhtin (BAKHTIN, 2006; BAKHTIN; VOLOSHINOV, 2016; SOUZA, 1999), os quais rompem com a dicotomia kantiana em que as coisas-em-si (natural e objetivo) são inacessíveis aos sujeitos (sociais e subjetivos). Para Bakhtin, o ato da fala é uma síntese dialética entre o individual e o social: todo enunciado é, portanto, uma dupla resposta a um evento único do Ser (subjetivo) e ao mundo cultural (objetivo), “cada ato é único na experiência do Ser, como cada Ser é único no Ser do mundo.” (LIMA et al., 2019, p. 262).

Para Bakhtin, a vida pode ser entendida como a soma de pequenos atos, resultando em um grande e complexo ato (LIMA et al., 2019). Esse ato pode ser mediado pela linguagem, sendo o enunciado a menor ação discursiva possível. O enunciado surge de uma tensão, pois, apesar de ser um evento único do Ser, ao mesmo tempo, é uma resposta ao meio cultural no qual o indivíduo está inserido. Ademais, o enunciado pode ser um mero “sim”, respondendo a um questionamento, ou um artigo científico completo. Logo, a delimitação do tamanho de um enunciado pode ser entendida como o momento em que o indivíduo inicia sua fala até o momento em que ele a finaliza.

O enunciado é caracterizado pela necessidade de resposta que provoca, ao mesmo tempo em que ele próprio é a resposta a enunciados do passado (LIMA et al., 2019). Outro fator importante é o grau de liberdade de um enunciado, que varia em função do campo cultural ao qual ele pertence. Ao escrever um romance literário, o autor deve seguir regras estilísticas, que são totalmente diferentes das normas de escrita de um LD, por exemplo. No romance o autor pode falar de uma tragédia entre um casal apaixonado, ao passo que este tipo de narrativa jamais será encontrado num LD de FQ. Esse tipo de enunciado, relativamente estável, que deve ser proferido num

determinado campo da linguagem, Bakhtin denomina de gênero de discurso (BAKHTIN, 2016). O locutor possui liberdade de escolha do gênero, no entanto, quando o escolhe, deverá elaborar o enunciado seguindo suas regras e delimitações.

A produção dos enunciados nunca é um mero ato de descrição, sendo sempre incorporado pelo excedente de visão do locutor (BAKHTIN, 2011), pois um enunciado é sempre (ao menos em parte) um evento único do Ser, já que “toda descrição do mundo é local e única.” (LIMA et al., 2019, p. 263), Bakhtin discorre sobre a Teoria do Enunciado Concreto (SOUZA, 1999) em sua obra *Os Gêneros do Discurso* (BAKHTIN, 2016), caracterizando-o não possuidor de uma essência intrínseca, diferentemente de uma oração, que possui, ou seja, é possível compreender todo o significado de uma oração somente lendo-a, enquanto para compreender a totalidade do significado de um enunciado, necessitamos compreender seu contexto extraverbal. Em um discurso político, por exemplo, o locutor está respondendo a um determinado grupo, em resposta a outros enunciados deste campo social. O enunciado também possui uma dimensão espaço-temporal, visto que seu significado muda de acordo com o leitor e o momento em que ele é lido, ou seja, o seu significado não é fixo, pois, assim como ele é proferido de um local único no mundo, a sua leitura recebe tratamento simétrico.

A fim de analisar enunciados concretos, Lima et al. (2019) propõem etapas metodológicas com seis passos, sendo que as cinco primeiras etapas devem servir como uma estruturação da análise, e somente o último passo deve ser explicitado, sendo este um novo enunciado carregado do excedente de visão do enunciador:

- a) **Identificar o enunciado e o contexto imediato**
- b) **Identificar o gênero do discurso**
- c) **Analisar o direcionamento e a orientação social do enunciado**
- d) **Analisar a responsividade**
- e) **Analisar o estilo**
- f) **Integrar os resultados em um novo enunciado**

Na próxima seção, apresentamos nossa análise, o que corresponde ao item “f” da metodologia, ao qual todas as etapas anteriores são integradas em uma discussão filosófica sobre o enunciado analisado.

Análise: concepções ontológicas no enunciado de Goswami

O enunciado analisado é o último capítulo do livro *Quantum Mechanics* do Físico Amit Goswami (GOSWAMI, 1997), intitulado *The Unfinished Chapter: The Meaning and Interpretation of Quantum Mechanics*. A primeira edição do livro foi publicada em 1991, data anterior ao primeiro trabalho em que Amit busca integrar FQ e Espiritualidade, em sua obra *The Self-Aware Universe: How Consciousness Creates the Material World* (GOSWAMI; REED; GOSWAMI, 1993).

O gênero de discurso adotado pelo autor neste enunciado é uma hibridização entre LD e artigos de pesquisa científica. Ao escolher tal gênero, o autor precisa elaborar o enunciado direcionando-o, em um primeiro nível, a professores de ensino superior e, em um segundo nível, a estudantes de graduação de cursos de Física. Podemos generalizar esta responsividade atribuindo-a ao fato de que o autor precisa responder à comunidade científica como um todo, baseando-se, portanto, em artigos e livros escritos por outros físicos.

Ao mesmo tempo, o autor utiliza o capítulo final para esboçar seu excedente de visão de maneira mais concreta. O autor demarca a divisão entre o gênero de discurso dos capítulos precedentes e o do capítulo final, como fica evidente no trecho a seguir “O resto do capítulo parecerá mais um artigo de pesquisa do que um capítulo de um livro.” (GOSWAMI, 1997, p.521, tradução nossa). Goswami entende que o que será discutido neste capítulo se distancia de um LD de quântica usual e se aproxima de um artigo de pesquisa científica. Percebe-se que a visão de Amit sobre livros didáticos se aproxima à visão kuhniana (KUHN, 1996), em que este tipo de manual se caracteriza por mostrar uma ciência pronta e não em construção, o que reforça que esse capítulo deve ser entendido como um enunciado à parte.

Na continuação do parágrafo, Goswami ressalta “Nesse espírito, darei referências numeradas de trabalhos originais sempre que for apropriado, e uma lista de referências no final do capítulo para sua conveniência. Além disso, não haverá problemas para resolver no final. Aproveite!” (GOSWAMI, 1997, p. 521, tradução nossa). Neste trecho o autor busca esboçar que mesmo a FQ sendo um campo da ciência bem estabelecido, ainda tem questões em aberto, ao menos em relação às concepções ontológicas. Sendo assim, o uso de referências aos trabalhos originais

de forma explícita é uma forma de lastrear o texto outras obras, protegendo-o de possíveis críticas. Ademais, como explicitado pelo autor, ao final do capítulo, na lista de referências, há menções a diversos autores que, ou participaram do desenvolvimento inicial da FQ ou buscaram interpretá-la ontologicamente.

Como será demonstrado a seguir, o autor elabora uma narrativa a fim de se opor à visão de mundo estabelecida pela interpretação da complementariedade de Bohr e às concepções realistas sobre a FQ:

“...agora parece a muitos autores que a interpretação de Copenhagen, conforme explicada por Bohr, não é apenas ontologicamente empobrecida (essa foi a grande reclamação de Einstein com Bohr – ver capítulo 10), mas nem mesmo é epistemologicamente satisfatória. Bohr tentou resolver todos os problemas filosóficos da mecânica quântica com uma ideia – complementariedade. Implícita na filosofia de Bohr está uma dicotomia clássica-quântica que se atola com paradoxos como o gato de Schrodinger; tentativas de lidar com esses paradoxos por meio de ginástica linguística como censurar o que você pode e não pode perguntar em mecânica quântica parece repressivo.” (GOSWAMI, 1997, p. 520 e 521, tradução nossa)

No trecho supracitado, Goswami desqualifica a interpretação de Bohr tanto sob uma perspectiva ontológica quanto epistemológica, fazendo referência à crítica de Einstein e de outros autores para reforçar seu argumento.

Na seção dedicada a explorar as visões ontológicas realistas²⁰, o autor utiliza estruturas fraseológicas que reforçam a impossibilidade de tais interpretações, utilizando palavras como “constrangimento” e expressões como “maneira não parcimoniosa de a natureza operar” como é mostrado no trecho a seguir:

“Em uma situação de medição em que há mais de um resultado possível, a função de onda (a onda piloto) se divide em vários pacotes separados. As partículas físicas entram em um desses pacotes e a distinção macroscópica é alcançada sem o “embaraço” do postulado da redução. No entanto, existe um tipo diferente de constrangimento – o de pacotes de onda vazios que continuam a existir como parte da realidade total. Esta parece ser uma maneira incomumente não parcimoniosa de a natureza operar.” (GOSWAMI, 1997, p. 533, tradução nossa)

²⁰ Nessa seção são abordadas visões ontológicas sustentadas numa realidade objetiva independente do ser humano.

Ao concluir o capítulo, aborda a interpretação dos muitos-mundos e aprofunda sua descrença na explicação do universo a partir do realismo “Obviamente, a falta de parcimônia também se multiplica.” (GOSWAMI, 1997, p 533, tradução nossa).

A quarta seção é a mais extensa e mostra concepções ontológicas idealistas, buscando responder à questão “A consciência colapsa a função de onda?” (GOSWAMI, 1997, p. 533, tradução nossa). Amit constrói a narrativa da seção a fim de solucionar (ou ao menos dar indicativos de solução) dos paradoxos que foram expostos ao longo do livro, utilizando a consciência como vetor de resolução, buscando estabilizar ontologicamente uma concepção idealista.

Goswami revisita a proposição de Heisenberg sobre a interpretação de Copenhagen, introduzindo o conceito de *potentia*²¹. O autor levanta a seguinte hipótese, “Agora, a questão importante: pode a ontologia idealista definida acima responder às críticas que geralmente são feitas contra a ideia de von Neumann da consciência colapsando a função de onda?” (GOSWAMI, 1997, p. 535, tradução nossa). Em sequência, indica que esta proposição possui potencial explicativo significativo, “O colapso da função de onda de um sistema, disse Heisenberg, é uma mudança em *nosso* conhecimento do sistema. Esse comentário agora começa a fazer sentido, não é?” (GOSWAMI, 1997, p. 536, tradução nossa).

Utilizando a consciência humana como vetor de solução, propõe meios de resolver os paradoxos *Wigner's friend* e *The Watched Pot Does Boil* concluindo sua lógica argumentativa com uma reinterpretação idealista da teoria dos muitos-mundos a partir do conceito de potencial de Heisenberg. Nesta reinterpretação, os mundos paralelos estão em estado de potencial, não sendo, portanto, materiais. Segundo o autor, “Esta forma de reinterpretar o formalismo de muitos-mundos elimina a proliferação feia (e cara) de universos materiais – universos em potencial são baratos!” (GOSWAMI, 1997, p. 538, tradução nossa).

Para resolver o problema da inserção da consciência humana de maneira individual (que segundo ele, tornaria o universo um “pandemônio”) nas medições quânticas, Goswami propõe a ideia de uma mente unitária colapsando a função de onda.

²¹ Heisenberg utiliza o conceito de potencial baseado em Platão. Segundo esta concepção, os objetos quânticos existiriam somente em forma de um potencial imaterial, somente apareceriam materialmente através do ato de medição do observador.

“Esta interpretação idealista da cosmologia, portanto, incorpora a ideia de Wheeler de um universo participativo – um jogo real do observador e do observado. Também é fácil ver que a visão atual apóia um forte princípio antrópico²³ - seres conscientes são um componente essencial do universo.” (GOSWAMI, 1997, p. 540, tradução nossa)

O trecho reportado acima seria utilizado para sustentar sua posição filosófica não-materialista e idealista em obras posteriores (GOSWAMI; REED; GOSWAMI, 1993). Tal proposta é embasada em uma citação direta de um artigo de Schrodinger intitulado *What Is Life? and Mind and Matter*, “A consciência é um singular para o qual não há um plural.” (GOSWAMI, 1997, p. 536, tradução nossa). Sendo essa uma interpretação não ortodoxa da FQ, uma citação direta a um autor de renome da área, transmite credibilidade para sua proposição.

O autor conclui o livro tornando evidente sua visão em relação às potencialidades da FQ, sob uma ótica idealista, para compreender o ser humano e o universo como um todo.

“Espero que você entenda a essência do capítulo. Com a mecânica quântica, temos não apenas um maquinário brilhante para cálculos em física com enormes aplicações tecnológicas, mas também a possibilidade de entender verdadeiramente do que se trata a realidade. Se pudermos discernir experimentalmente entre as ontologias realistas e idealistas (a maioria das ontologias tem consequências verificáveis),²⁶ então não só um debate filosófico milenar terminará, mas também talvez o caminho seja pavimentado para uma compreensão do próprio ser humano.” (GOSWAMI, 1997, p. 539, tradução nossa)

Tendo em vista a construção teórica do autor neste capítulo, esse seria realmente um capítulo inacabado? O autor levanta pontos importantes a respeito das diferentes concepções ontológicas da FQ, além disso, expõe diversas vertentes filosóficas, contrastando-as com as interpretações da FQ e abrindo espaço para explorar suas potencialidades. No entanto, analisando o texto de Goswami, há diversos indicativos de que ele próprio já possuía, à época, uma posição filosófica muito bem definida e pretendia transmiti-la ao meio acadêmico. Uma visão idealista, não-materialista e antropocêntrica, em que uma unidade de consciência cósmica

explica o mundo material. As concepções realistas são apresentadas apenas como um contraponto improvável. A segunda frase do título se assemelha mais à proposta do autor do que a primeira, ou seja, de que há um significado e uma interpretação da FQ, ambas no singular.

Considerações finais

Através da análise metalinguística, identificamos que Amit apresenta e critica interpretações da FQ que tenham como base vertentes filosóficas realistas e materialistas, consideradas por ele hegemônicas, colocando-as em suspeição. Por outro lado, o autor reinterpreta algumas destas concepções através de uma ótica idealista e imaterialista, tendo como base a consciência humana; com o objetivo de destituir as visões realistas em prol de sua visão idealista. Ademais, entendemos que o autor posicionou o capítulo estrategicamente no final do livro, de modo que possa ser ignorado em cursos tradicionais de FQ. Somado a isso, o gênero de discurso adotado pelo autor, em formato de artigo científico, parece ser pensado de maneira a possibilitar melhor aceitação da comunidade científica, devido ao seu caráter especulativo.

Por fim, destacamos que o trabalho de Goswami, apresentado neste livro, pode ser uma fonte de diálogo entre concepções acadêmicas e populares da FQ. Assim como aponta a literatura da área, entendemos que temas relacionados à filosofia, história e natureza da Ciência, devam ser inseridos em currículos escolares com maior profundidade. Visto que o Misticismo Quântico faz parte da cultura popular, preparar professores para discutir questões relacionadas a este assunto pode ser uma forma de aproximar a FQ dos estudantes e da sociedade como um todo. Ademais, compreender com clareza diferentes interpretações da FQ pode auxiliar professores a estruturar unidades didáticas sobre o tema, tanto em relação as suas bases teóricas quanto filosóficas.

Referências

What the Bleep do we Know!? Direção: ARNTZ, W.; CHASSE, B.; VICENTE, M. EUA

BAKHTIN, M. **A Estética da Criação Verbal**. São Paulo: Martins Fontes, 2011.

BAKHTIN, M. **Os Gêneros do Discurso**. São Paulo: Editora 34, 2016.

BAKHTIN, M.; VOLOSHINOV, V. N. **Marxismo e filosofia da linguagem: problemas fundamentais do método sociológico da linguagem**. São Paulo: Hucitec, 2006.

CASSAB, M.; MARTINS, I. Significações de professores de ciências a respeito do livro didático. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 10, p. 1–24, 2008.

GOSWAMI, A. **Quantum Mechanics**. 2º ed. Long Grove: Waveland Press, Inc., 1997.

GOSWAMI, A. **God Is Not Dead**. 1º ed. Charlottesville: Hampton Roads Publishing Company, 2008.

GOSWAMI, A.; REED, R.; GOSWAMI, M. **The Self-Aware Universe: How Consciousness Creates the Material World**. 1º ed. New York: G. P. Putnam's Song, 1993.

KUHN, T. **The structure of Scientific Revolutions**. 3º ed. Chicago: The University of Chicago Press, 1996.

LATOOUR, B. **A Esperança de Pandora**. São Paulo: Editora da UNESP, 2017.

LIGHTMAN, B. **A Companion to the History of Science**. Oxford: John W. and Sons, 2016.

LIMA, N. W. et al. Um Estudo Metalinguístico sobre as Interpretações do Fóton nos Livros Didáticos de Física Aprovados no PNLDEM 2015: Elementos para uma Sociologia Simétrica da Educação em Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, p. 331–364, 2018.

LIMA, N. W. et al. A teoria do enunciado concreto e a interpretação metalinguística: bases filosóficas, reflexões metodológicas e aplicações para os Estudos das Ciências e para a pesquisa em Educação em Ciências. **Investigacoes em Ensino de Ciencias**, v. 24, n. 3, p. 25–281, 2019.

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

NOGUEIRA, P. **Espiritualidade Quântica? Consciência, Religião E Ciência No Pensamento De Amit Goswami**, Dissertação (Mestrado em Ciências da Religião) - PUC (SP), 2010.

PESSOA JR., O. O fenômeno cultural do misticismo quântico. In: **Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais**. 1º ed. Campina Grande; São Paulo: EDUEPB; Livraria da Física, 2011. p. 281–302.

SOUZA, G. T. **Introdução à Teoria do Enunciado Concreto do círculo Bakhtin/Volochinov/Medvedev**. 2º ed. São Paulo: Humanitas/ FFLCH/USP, 1999.

VAZATA, P. A. V. et al. Onda ou Partícula? Um Estudo das Trajetórias Ontológicas da Radiação Eletromagnética em Livros Didáticos de Física da Educação Básica. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 20, p. 855–885, 2020.