

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

Doutorado em Ensino de Física

O Lado Oculto do Fóton

A estabilização de um actante mediada por diferentes gêneros do discurso

Nathan Willig Lima

Porto Alegre, julho de 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

Doutorado em Ensino de Física

O Lado Oculto do Fóton

A estabilização de um actante mediada por diferentes gêneros do discurso

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, sob a orientação da Prof^a. Dra. Fernanda Ostermann e coorientação do Prof. Cláudio José de Holanda Cavalcanti, em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ensino de Física.

Nathan Willig Lima

Porto Alegre, julho de 2018

(...)

Se ao que busco saber nenhum de vós responde
Por que me repetis: "vem por aqui!"?

Prefiro escorregar nos becos lamacentos,
Redemoinhar aos ventos,
Como farrapos, arrastar os pés sangrentos,
A ir por aí...
Se vim ao mundo, foi
Só para desflorar florestas virgens,
E desenhar meus próprios pés na areia inexplorada!
O mais que faço não vale nada.

Como, pois, sereis vós
Que me dareis impulsos, ferramentas e coragem
Para eu derrubar os meus obstáculos?...
Corre, nas vossas veias, sangue velho dos avós,
E vós amais o que é fácil!
Eu amo o Longe e a Miragem,
Amo os abismos, as torrentes, os desertos...
(...)

Cântico Negro, José Regio

RESUMO

Apresentamos, nesta tese, uma investigação sobre a estabilização ontológica do fóton, um actante inicialmente articulado no contexto da primeira revolução da Física Quântica. Partindo dos Estudos da Ciência de Bruno Latour, entendemos a ciência como uma rede que se estende por diferentes setores da sociedade e que, portanto, lida com diferentes gêneros do discurso. Além de identificar a importância do gênero científico (artigos seminais) no processo de autonomização dos fatos científicos, também reconhecemos que, na comunidade da Física, os livros didáticos, ou manuais de instrução, tem papel crucial no estabelecimento dos problemas exemplares bem como das teorias hegemônicas, tanto que, hoje, é possível um físico se formar sem estudar os artigos originais sobre Física Quântica. Ademais, os livros didáticos de ciências da Educação Básica são, atualmente, responsáveis pela extensão da rede científica para além dos laboratórios, autonomizando actantes como o fóton em esferas mais amplas da sociedade, papel que Latour poderia chamar de representação pública. O objetivo desta pesquisa é investigar a interação entres esses três gêneros do discurso (artigos seminais, livros didáticos de ensino superior e livros didáticos de ensino médio) e interpretar como que a estabilização ontológica do fóton é mediada por cada um deles. Ao fazer isso, estamos estendendo o programa de pesquisa de Latour em, pelo menos, três sentidos. Primeiramente, incluímos o papel do contexto didático na rede da ciência. Segundo, nossos objetos de investigação estão separados por um intervalo temporal maior do que o usual (aproximadamente cem anos). E, por fim, enquanto Latour dedica-se, principalmente, ao estudo de ciências empíricas, nosso trabalho volta-se para assim chamada Física Teórica, levantando questões ontológicas não discutidas originalmente por Latour. Para dar conta dessa extensão, o presente trabalho está dividido em duas partes. A parte I (Referencial Teórico) traz três artigos sobre as ideias de Bruno Latour e as possibilidades de sua aplicação na pesquisa em Educação em Ciências, o que temos chamado de Sociologia Simétrica da Educação em Ciências ou Estudos da Educação em Ciência. A parte II (Estudos Empíricos) traz quatro artigos (dois sobre as relações entre artigos seminais e livros de ensino superior e dois sobre as relações entre artigos seminais, livros de ensino superior e livros de ensino médio). O primeiro estudo empírico traz uma análise metalinguística do artigo original de Einstein de 1905 em que o quantum é articulado pela primeira vez sem que se precisasse recorrer a nenhum laboratório. No segundo artigo, apresentamos uma análise conceitual e matemática dos artigos de de Broglie e usamos as ideias de Latour para discutir o papel dos livros didáticos na autonomização de sua teoria. No terceiro artigo, analisamos visões epistemológicas em livros didáticos de Física aprovados no Plano Nacional do Livro Didático do Ensino Médio de 2015. E, no quarto artigo, discutimos a narrativa sobre o fóton nesses livros a partir de uma articulação teórica entre ideias de Latour e Bakhtin. Nossos principais resultados apontam o papel articulador da matemática na estabilização de actantes físicos e o papel ativo dos autores de livros didáticos na estabilização do fóton a partir da hibridização de diferentes visões e do uso de mecanismos de causalção reversa.

Palavras Chave: Estudos da Ciência, Física Quântica, Sociologia Simétrica, Ensino de Física, Educação em Ciências

ABSTRACT

We present an investigation about the ontological stabilization of photon, an actant articulated initially in the context of the first Quantum Revolution. Departing from Bruno Latour's Science Studies, we take Science as a network spread through different sectors of society and which deals with different speech genders. Besides of identifying the importance of the scientific gender (scientific papers) in the process of autonomation of scientific facts, we also recognize that, in the Physics community, textbooks play a crucial role in the establishment of traditional problems as well as hegemonic theories. Nowadays, someone can conclude an undergraduate course on Physics without having read any of the original papers about Quantum Physics. Furthermore, textbooks in Basic Education are responsible by the extension of the scientific network beyond laboratories, automizing actants like the photon in wider spheres of society, what Latour would call public representation. The goal of this research is to investigate the interaction among these three speech genders (original papers, undergraduate textbooks and high school textbooks) and to interpret how the ontological stabilization of photon is mediated by each of them. By doing so, we are extending Latour's research program in at least three ways. First, we include the didactic context in the science network. Second, our objects of investigation are separated in time by a greater gap (about a hundred years). And third, while Latour studied chiefly the empirical sciences, our work is directed towards the Theoretical Physics, raising ontological questions that were not discussed by Latour. To allow this extension, the work is divided in two parts. Part I (Theoretical Framework) presents three papers about Bruno Latour's ideas and the possibilities of their application in the research on Science Education, what we have called The Symmetric Sociology of Science Education. Part II (Empirical Studies) presents four papers (two about the relation between original papers and undergraduate textbooks and two about the relation between original papers and high school textbooks). The first empirical study presents a metalinguistic analysis of 1905 Einstein's paper in which the quantum is articulated by the first time without requiring any laboratory trial. In the second paper, we present a conceptual and mathematical analysis of de Broglie's papers and we use Latour's ideas to discuss the role of textbooks in the atomization of his theory. In the third paper, we analyze the epistemological visions present in the Physics textbooks approved by the 2015 National Plan of Textbook. In the fourth paper, we discuss the narrative about the photon present in these books departing from a theoretical articulation between Latour's and Bakhtin's ideas. Our chief results point to the articulating role of mathematics in the stabilization of physical actants and the active role of textbooks authors in the stabilization of photon through the hybridization of different visions and the use of the mechanisms of reverse causation.

Keywords: Science Studies, Quantum Physics, Symmetric Sociology, Physics Teaching, Science Education

Sumário

1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos.....	5
Parte I: Referencial Teórico.....	9
2. Primeiro Artigo Original: A Não-Modernidade de Bruno Latour e suas Implicações para a Educação em Ciências	11
3. Segundo Artigo Original: A Perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade à luz dos Estudos da Ciência de Bruno Latour: Quadro Teórico e Revisão de Literatura em Educação em Ciências	38
4. Terceiro Artigo Original: Dos Estudos da Ciência de Bruno Latour para a Pesquisa em Educação em Ciências: Reflexões Ontológicas, Epistemológicas e Metodológicas.....	80
Parte II: Estudos Empíricos Sobre a Estabilização Ontológica do Fóton Mediada por Diferentes Gêneros do Discurso.....	105
5. Quarto Artigo Original: The Einstein’s Quantum: Testing Latour’s Chain of reference in Theoretical Physics.....	108
6. Quinto Artigo Original: O Silenciamento da Articulação Teórica e Matemática no Processo de “Transposição Didática”: Uma Análise Sociológica das Narrativas sobre a Física Quântica de Louis De Broglie em Livros de Ensino Superior.....	142
7. Sexto Artigo Original: Física Quântica no Ensino Médio: Uma Análise Bakhtiniana de Enunciados em Livros Didáticos de Física Aprovados no PNLDEM2015.....	187
8. Sétimo Artigo Original: 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.....	218
9. Considerações Finais e Proposição de um Programa de Pesquisa.....	261
10. Anexo 1: Oitavo Artigo Original.....	274
11. Anexo 2. Nono Artigo Original.....	282

1. Introdução

Atualmente, Física Quântica (FQ) é um dos assuntos mais populares da Física. A sociedade contemporânea lhe deve desde a existência dos microprocessadores até a propagação das armas nucleares. Ela proporcionou, ainda, o desenvolvimento da Eletrodinâmica Quântica, considerada pelos físicos a teoria mais completa disponível para explicar a estrutura da matéria e sua interação com a radiação, atingindo alta precisão nas previsões de resultados experimentais. Ao longo do século XX, seu desenvolvimento também levou à gênese de novas áreas da física como teoria quântica de campos (Landau & Lifchitz, 1966; Sakurai, 2013), ótica quântica (Glauber, 1963a, 1963b), teoria da informação quântica (Benatti, 2009), termodinâmica quântica (Vinjanampathy & Anders, 2016), gravitação quântica (Woodard, 2009), assim como o desenvolvimento de muitas aplicações tecnológicas em áreas como engenharia nuclear (Joachain, 1975), física de semicondutores (Kittel, 2005), medicina (Young, 1984) e nanociências (Hornyak, Dutta, & Tibbals, 2008). Ademais, a FQ atinge diferentes grupos sociais através das variadas formas de misticismo quântico, o uso difuso da terminologia da teoria em descrições subjetivistas da realidade (Marin, 2009).

Filósofos da física e físicos, ao falar de FQ, fazem distinção entre o seu formalismo matemático e a sua interpretação (Bunge, 2013; Jammer, 1974). Se, por um lado, seu formalismo pode ser enunciado como o cálculo de operadores hermitianos em um Espaço de Hilbert¹ (Jammer, 1974), por outro lado, encontramos diferentes interpretações da FQ, as quais, apesar de serem internamente consistentes, discordam uma das outras com relação a como explicar os resultados do formalismo e os dados empíricos. Podemos mencionar a interpretação estatística (Ballentine, 1970), a interpretação ondulatória (Madelung, 1927; Schrodinger, 1928), a interpretação dualista (Bohm, 1952; Louis De Broglie, 1922; L. De Broglie, 1923), a interpretação de Copenhagen (Bohr, 1928), a interpretação dos muitos mundos (S. Saunders, 2010) e a interpretação subjetivista (London & Edmond, 1939)

¹ Tal formalismo pode ser representado em diferentes formulações, como a mecânica ondulatória de Schrödinger e a mecânica matricial de Heisenberg, as quais são fisicamente equivalentes.

Ao longo do desenvolvimento da teoria, o fóton tem desempenhado um papel de destaque. Primeiramente, sua proposição (Einstein, 1905) é considerada o marco da primeira revolução da Física Quântica. Além disso, o embate sobre a natureza do fóton ou mesmo sobre sua existência acompanha toda história da FQ e culmina, na década de 80, já no contexto da segunda revolução quântica, no primeiro “experimento crucial” a detectar fótons únicos e a corroborar que, quando isolados, fótons interferem (Grangier, Roger, & Aspect, 1986). Ao longo desse período, muitas das controvérsias sobre a FQ recaíram sobre a própria natureza do fóton, tornando sua trajetória ontológica nem um pouco linear.

Além da complexidade teórica e filosófica que encontramos sobre a natureza deste actante ao estudar comunicações em conferências e artigos científicos, a ciência não pode ser pensada como uma atividade intelectual apartada da sociedade. Trabalhos em Estudos da Ciência representam-na como uma rede aberta, interagindo com diferentes agentes sociais, modificando-os e sendo modificada por eles (Latour, 1999). Nesse sentido, é possível observar o papel de outros gêneros do discurso (Bakhtin, 2016) (além do científico) na estabilização² de fatos científicos. Especialmente, o gênero didático é reconhecido, desde publicação de *A Estrutura das Revoluções Científicas* (Kuhn, 1996), como uma ferramenta importante na estruturação e no desenvolvimento da ciência, corroborando a ideia de que ciência não é só o que é discutido entre os especialistas.

De acordo com Kuhn (1963), livros didáticos são responsáveis por estruturar as disciplinas científicas e por determinar os métodos e os problemas a que os futuros cientistas devem manter-se circunscritos. Isso implica, na descrição kuhniana, que livros didáticos perpetuam o conhecimento científico como uma coleção de verdades evidentes (Kuhn, 1977). Usando a descrição latouriana, podemos dizer que as narrativas dos livros didáticos contribuem para estabilização dos fatos científicos³(Latour & Woolgar, 1988). Por outro lado,

² De acordo com a descrição de Latour, um fato científico é instável ontologicamente no momento em que é articulado, pois não há certeza se esse é real ou um artefato (Latour & Woolgar, 1988). Apenas após algum tempo, pela corroboração contínua de dados científicos e pela introdução contínua dos fatos no discurso, sua realidade aumenta até se tornar um fato “real” (Latour, 1999). Esse processo pode ser chamado de estabilização de um fato científico.

³ Essa estabilização não pode ser considerada como um processo monótono ou meramente pautado em reprodução. Toda vez que um autor escreve sobre um fato científico, ele sustenta parte do conhecimento prévio e, também, adiciona seus próprios estudos e interpretações, o que

Kuhn também apontou que os livros didáticos tendem a apagar a controvérsia, a crise, a contingência histórica, o que desmotivou a pesquisa sobre livros didáticos sob uma abordagem historiográfica (Badino & Navarro, 2013)

De acordo com Badino e Navarro (2013), entretanto, o interesse sobre o papel de livros didáticos na história da ciência tem aumentado desde o final da década de noventa. Os autores mencionam, por exemplo, o tópico especial da *Science Education* sobre livro didático na periferia científica (Bensaude-Vincent, 1990) e o trabalho de David Kaiser sobre pedagogia científica (Kaiser, 2006). Ademais, os autores argumentam que a análise de livros escritos no período de crise científica, como a revolução quântica, revela que eles não podem ser vistos como mausoléus de verdades científicas (como Kuhn os descreveria), mas que esses contribuem ativamente para o desenvolvimento científico. Outros trabalhos também têm apontado a contribuição de livros didáticos para o desenvolvimento da ciência (Hall, 2006; Warwick, 2003).

No presente trabalho, temos o objetivo de avaliar como a estabilização ontológica do fóton é traduzida em diferentes gêneros do discurso, a dizer, o gênero científico (artigos seminais de FQ) e o gênero didático (livros contemporâneos de FQ de Ensino Superior e Médio). Para tanto, partimos dos Estudos da Ciência de Bruno Latour como referencial teórico, o qual é discutido em três capítulos. Cada capítulo corresponde a um artigo submetido ou aceito para publicação em diferentes revistas da área de Ensino. A partir de tal referencial teórico, desenvolvemos, quatro estudos empíricos sobre a realidade do fóton. Cada estudo empírico, também, corresponde a um artigo submetido ou aceito para publicação.

No capítulo 2, apresentamos uma discussão sobre a visão não-moderna de Latour e suas implicações para a Educação em Ciências. No capítulo 3, avançamos na discussão ontológica e apresentamos uma revisão de literatura sobre o uso das obras de Latour na Educação em Ciências. No capítulo 4, discutimos como é possível transladar os conceitos, métodos e premissas teóricas de Latour, desenvolvidos no âmbito das ciências empíricas, para avaliar contextos externos ao laboratório, como o contexto didático.

pode ser encarado como um processo de tradução (Latour, 1999). Entretanto, se as inovações forem mais intensas que o trabalho de preservação, o fato pode não ser estabilizado, mas desarticulado (Latour, 1999).

O primeiro estudo empírico, apresentado no capítulo 5, trata de uma análise sociológica do artigo de Einstein (1905) em que o conceito de *quantum* é apresentado. Neste capítulo, extrapolamos o conceito de referência circular de Latour, aplicado no contexto de ciências empíricas, para discutir como é possível articular um novo actante (o *quantum*) sem a necessidade de um laboratório. Isto é, discutimos qual o papel ontológico da matemática na articulação de um actante e como que ela nos permite saber mais sobre o mundo sem termos que “olhar para o mundo”. Ainda, no mesmo capítulo, discutimos a narrativa de livros de ensino superior contemporâneos, e como esses criam uma falsa ruptura epistemológica, a qual não pode ser encontrada no artigo original. No capítulo 6, apresentamos uma síntese das premissas teóricas utilizadas por Louis de Broglie de 1922 a 1924 para articular uma visão dualista realista para o fóton. Na sequência, avaliamos a narrativa de livros didáticos contemporâneos, evidenciando os processos linguísticos que estão envolvidos na estabilização da relação entre momento e comprimento de onda de Broglie. Explicitamos, nessa análise, que os livros didáticos apagam toda forma de contraindução (Feyerabend, 2011) existente na produção científica. Por fim, no capítulo 7 e 8, apresentamos dois estudos em que avaliamos a estabilização do fóton fora do contexto pedagógico-científico, isto é, sua difusão na sociedade através de textos usados na Educação Básica. No capítulo 7, apresentamos uma análise metalinguística dos livros de Física aprovados no Plano Nacional do Livro Didático do Ensino Médio (PNLDEM) de 2015, avaliando os posicionamentos epistemológicos dos autores. No capítulo 8, propomos uma articulação teórica entre Latour e Bakhtin e avaliamos a tradução das diferentes Interpretações de FQ nos mesmos livros.

Consideramos que esse trabalho apresenta quatro contribuições. Primeiramente, apresentamos uma reflexão sobre a obra de Latour e suas implicações para Educação em Ciências e para pesquisa em Educação em Ciências. Em segundo lugar, estendemos a proposta de pesquisa de Latour, delimitada pelo contexto das ciências empíricas, para o contexto de ciências teóricas, avaliando a validade de seus conceitos nessa extensão e discutindo a própria delimitação entre ciências teóricas e empíricas. Em terceiro lugar, estendemos novamente o contexto de pesquisa de Latour, normalmente circunscrito aos laboratórios e textos científicos, para o gênero do discurso

didático. Em quarto lugar, propomos uma articulação teórica entre Latour e Bakhtin (capítulo 8), elaborando uma proposta de pesquisa de sociologia simétrica pautada metodologicamente na análise metalinguística bakhtiniana.

1.1. Objetivos

Podemos sintetizar os objetivos desta pesquisa em um objetivo geral e quatro específicos.

a) Objetivo Geral:

Avaliar como a estabilização ontológica do fóton é mediada por diferentes gêneros do discurso, a dizer, o gênero científico (artigos seminais de FQ), o gênero científico-didático (livros contemporâneos de FQ de Ensino Superior) e o gênero didático (livros de Física aprovados no Plano Nacional do Livro Didático do Ensino Médio de 2015).

b) Objetivos Específicos

- i) Avaliar as possibilidades e condições de aplicação do quadro teórico latouriano em uma pesquisa em Educação em Ciências
- ii) Mapear o processo de estabilização ontológica do fóton em artigos seminais de Física Quântica escritos por Albert Einstein e Louis de Broglie.
- iii) Mapear o processo de estabilização ontológica do fóton em livros de Física Quântica usados no Ensino Superior
- iv) Mapear o processo de estabilização ontológica do fóton em livros de Física Quântica usados no Ensino Médio

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.
- Bakhtin, M. (2016). *Os Gêneros do Discurso*. São Paulo: Editora 34.
- Ballentine, L. E. (1970). The Statistical Interpretation of Quantum Mechanics. *Reviews of Modern Physics*, 42(4), 358-381. doi:10.1103/RevModPhys.42.358
- Benatti, F. (2009). Quantum Information Theory. 255-315. doi:10.1007/978-1-4020-9306-7_6
- Bensaude-Vincent, B. (1990). A View of the Chemical Revolution through Contemporary Textbooks: Lavoisier, Fourcroy and Chaptal. *The British Journal for the History of Science*, 23(4), 435-460.
- Bohm, D. (1952). A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables. I. *Physical Review*, 85(2), 166-179. doi:10.1103/PhysRev.85.166
- Bohr, N. (1928). The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory. *Nature*, 121, 580-590.
- Bunge, M. (2013). *Física e Filosofia*. São Paulo: Perspectiva.
- De Broglie, L. (1922). Rayonnement noir et quanta de lumière. *Le Journal de Physique et le Radium*, 3(6), 422-428.
- De Broglie, L. (1923). Ondes et quanta. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 117, 507-510.
- Einstein, A. (1905). Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik*, 17(132).
- Feyerabend, P. (2011). *Contra o Método* (2 ed.). São Paulo: Unesp.
- Glauber, R. J. (1963a). Photon Correlations. *Physical Review Letters*, 10(3), 84-86. doi:10.1103/PhysRevLett.10.84
- Glauber, R. J. (1963b). The Quantum Theory of Optical Coherence. *Physical Review*, 130(6), 2529-2539. doi:10.1103/PhysRev.130.2529
- Grangier, P., Roger, G., & Aspect, A. (1986). Experimental Evidence for a Photon Anticorrelation Effect on a Beam Splitter: A New Light on Single Photon Interference. *Europhysics Letters*, 1(4), 173-179.

- Hall, K. (2006). Think Less about Foundations': A Short Course on the Course of Theoretical Physics of Landau and Lifshitz. In D. Kaiser (Ed.), *Pedagogy and the Practice of Science: Historical and Contemporary Perspectives*. Chicago: Chicago University Press.
- Hornyak, G. L., Dutta, J., & Tibbals, H. F. (2008). *Introduction to Nanoscience*. New York: CRC Press.
- Jammer, M. (1974). *The Philosophy of Quantum Mechanics*. New York: John Wiley and Sons.
- Joachain, C. J. (1975). *Quantum Collision Theory*. Amsterdam: North-Holland.
- Kaiser, D. (2006). *Pedagogy and the Practice of Science: Historical and Contemporary Perspectives*. Cambridge: MIT Press.
- Kittel, C. (2005). *Introduction to Solid State Physics* (8 ed.). Hoboken: John Wiley and Sons.
- Kuhn, T. (1963). The Function of Dogma in Scientific Research *Scientific Change*. New York: Basic Books and Heineman.
- Kuhn, T. (1977). *The Essential Tension: Tradition and Innovation in Scientific Research*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Kuhn, T. (1996). *The Structure of Scientific Revolution*. Chicago: Chicago University Press.
- Landau, L. L., & Lifchitz, E. (1966). *Théorie du Champ*. Moscou: Mir.
- Latour, B. (1999). *Pandoras Hope - Essays on the Reality of Science Studies*. Cambridge: Harvard University Press.
- Latour, B., & Woolgar, S. (1988). *La vie de laboratoire: la Production des faits scientifiques*. Paris: La Découverte.
- London, F., & Edmond, B. (1939). *La Théorie de l'observation en mécanique quantique*. Paris: Hermann&Cie.
- Madelung, E. (1927). Quantumtheorie in hydrodynamischer form. *Zeitschrift fur Physik*, 44, 839-899.
- Marin, J. M. (2009). 'Mysticism' in quantum mechanics: the forgotten controversy. *European Journal of Physics*, 30(4), 807-822. doi:10.1088/0143-0807/30/4/014
- S. Saunders, J. B., A. Kent, and D. Wallace (2010). *Many Worlds? Everett, Quantum Theory, and Reality*, . Oxford: Oxford.
- Sakurai, J. J. (2013). *Advanced Quantum Mechanics*. Park Ridge: Albert Whitman & Company.

- Schrodinger, E. (1928). *Collected Papers on Wave Mechanics* London and Glasgow: Backie & Son Limited.
- Vinjanampathy, S., & Anders, J. (2016). Quantum thermodynamics. *Contemporary Physics*, 57(4), 545-579. doi:10.1080/00107514.2016.1201896
- Warwick, A. (2003). *Masters of Theory: Cambridge and the Rise of Mathematical Physics*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Woodard, R. P. (2009). How far are we from the quantum theory of gravity? *Reports on Progress in Physics*, 72(12), 126002.
- Young, S. W. (1984). *Nuclear Magnetic Resonance: Basic Principles*. New York: Raven Press.

Parte I – Referencial Teórico

Na primeira parte da presente tese, apresentamos uma discussão sobre o quadro teórico desenvolvido por Bruno Latour no contexto dos Estudos da Ciências. Os capítulos estão organizados de forma a progressivamente direcionar-se para uma proposta de linha de pesquisa em Educação em Ciências, o que temos chamados de “Estudos da Educação em Ciências” ou “Sociologia Simétrica da Educação em Ciências”.

A ideia destes artigos é discutir como que um referencial desenvolvido, principalmente, ao analisar o trabalho de cientistas em seus laboratórios e campos de pesquisa pode ser usado para estudar a Educação em Ciências. Enfatizando, principalmente, as bases ontológico-epistemológicas da obra de Latour e sua ruptura com o primado da Ontologia na filosofia ocidental, apresentamos os principais conceitos do quadro latouriano e discutimos as possibilidades e dificuldades de sua implementação na Educação em Ciências.

O capítulo 2, intitulado *A Não Modernidade de Bruno Latour e suas Implicações para a Educação em Ciências*, apresenta um artigo aceito pelo Caderno Brasileiro de Ensino de Física (a versão apresentada já comporta as revisões solicitadas pela revista). Nesse trabalho discutimos, principalmente, os conceitos apresentados na obra *Jamais Fomos Modernos*, usando-os para refletir sobre outras obras de Latour, como a *Vida de Laboratório*, e para pensar sobre a Educação em Ciências.

O Capítulo 3, intitulado *A Perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade à luz dos Estudos da Ciência de Bruno Latour: Quadro Teórico e Revisão de Literatura em Educação em Ciências*, foi submetido para publicação com colaboração do aluno de licenciatura em Física da UFRGS Pedro Vazata. Nesse trabalho, expandimos o quadro teórico de Latour e aprofundamos seu debate ontológico, além de avaliar como que as publicações na área de Educação em Ciências usam seus conceitos e a consistência dessas abordagens.

O Capítulo 4, intitulado *Dos Estudos da Ciência de Bruno Latour para a Pesquisa em Educação em Ciências: Reflexões Ontológicas, Epistemológicas e Metodológicas* foi submetido para publicação com colaboração do aluno de licenciatura em Física da UFRGS Pedro Vazata. Nesse trabalho, discutimos as

premissas que devem ser atendidas para se elaborar uma “pesquisa latouriana” e ressaltamos as simetrias que existem entre a Educação em Ciências e a própria Ciência, proporcionando a criação de uma linha de pesquisa de “Estudos da Educação em Ciências”.

Embora haja diferentes artigos na área de Educação em Ciências que se valem de conceitos de Latour, entendemos que existe, ainda, a necessidade de se avançar na discussão ontológica subjacente à sua obra, a qual, segundo Latour, é crucial para que saibamos reconhecer a verdadeira contribuição dos Estudos da Ciências. Assim, esperamos com os três artigos subsequentes estar formando uma base sólida para o estabelecimento de um programa de pesquisa em “Sociologia Simétrica em Educação em Ciências”.

2. Primeiro Artigo Original

A Não-Modernidade de Bruno Latour e suas Implicações para a Educação em Ciências

Resumo

Neste trabalho propomos a visão não-moderna de Bruno Latour como referencial teórico para fundamentar a Educação em Ciências. Apresentamos os conceitos basilares de sua teoria, partindo da Antropologia Simétrica e suas implicações ontológicas. À luz de conceitos como híbridos, redes, mediação e purificação, explicamos o seu posicionamento “não-moderno” e interpretamos conclusões polêmicas de *A Vida de Laboratório*. Trazemos, por fim, uma discussão sobre implicações da visão de Latour para a área da Educação em Ciências, sugerindo quatro pontos principais: a abordagem da ciência em ação, a preocupação com o processo de formação das teorias científicas e não somente a apresentação das teorias “prontas”, a problematização das redes sociotécnicas e a formação de uma comunidade de leitores escritores.

Palavras Chave: Latour, Antropologia Simétrica, Sociocultural.

Abstract

In this work, we propose Bruno Latour’s non-modern view as theoretical framework for Science Education. We present fundamental concepts of his theory, departing from the Symmetrical Anthropology and its ontological implications. In the light of concepts such as hybrid, networks, mediation and purification, we explain his “non-modern” point of view and we interpret the controversial conclusions of “Laboratory Life”. Finally, we introduce a debate on Latour’s vision implications to Science Education by pointing out four major ideas: the approach of science in action, the concern about the process of building up theories instead of only presenting their final description, the problematization of sociotechnical networks and the formation of a reader-writer community.

Key-words: Latour, Symmetrical Anthropology, Sociocultural

1. Introdução

Bruno Latour (1947-) é um filósofo e antropólogo francês que, após anos de estudos de campo na África, especializou-se em analisar cientistas e engenheiros em seu local de trabalho (LATOURE, 2017). Embora seu trabalho não abarque diretamente questões de Educação em Ciências, mantendo-se circunscrito principalmente à análise de ciências empíricas, na literatura em Educação em Ciências, suas ideias são introduzidas em diversos artigos. Stetsenko (2008), por exemplo, alinhado com a proposta latouriana, discute a necessidade de a Perspectiva Sociocultural romper com a ontologia kantiana, que separa os objetos-em-si dos sujeitos cognoscentes, passando para uma ontologia da relação. Ainda dentro da Perspectiva Sociocultural, o rompimento de Latour com a ontologia moderna e a superação da epistemologia moderna por Vygotski⁴ podem indicar a possibilidade de proximidades teóricas entre os dois autores. O conceito de mediação, por exemplo, é detalhadamente explorado por ambos e tal intersecção já foi discutida na literatura em Educação (MELO, 2010).

A literatura também lança mão da obra de Bruno Latour para discutir diferentes questões da Educação (BARNACLE e MEWBURN, 2010; ELLIOTT e YOUNG, 2015; KIRCH e MA, 2016), uso da linguagem (DODICK *et al.*, 2008; GIL-SALOM e SOLER-MONREAL, 2009; TAKAO e KELLY, 2003), problemas ambientais e de sustentabilidade (COLUCCI-GRAY, 2014; IORIO *et al.*, 2017; PALHARINI, 2012), e questões pós-colonialistas e feministas (ALSOP e FAWCETT, 2010; SOLBRÆKKE *et al.*, 2013). Apesar de essas publicações tratarem de temas extremamente importantes em que a obra de Latour pode apresentar uma profícua contribuição, muitas delas não atingem aquilo que Latour julga ser o coração de sua contribuição para a área, sua perspectiva ontológica, a possibilidade de se olhar para a natureza simetricamente à sociedade.

Em particular, pode-se notar que, quanto mais específicos e técnicos os temas das revistas da área de Educação ou Ensino, menor a probabilidade de se encontrar artigos que tragam a obra de Latour. Em particular, em Ensino de Física, não existe nenhum artigo que o mencione na *Revista Brasileira de Ensino*

⁴ Do ponto de vista puramente epistemológico, a obra de Vygotski pode ser entendida como uma síntese dialética das propostas absolutistas (racionalismo e empirismo)(WERTSCH, 1992).

de Física ou no *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* (pesquisa feita no dia 28 de abril de 2017). Isso mostra, claramente, que, a área de Educação em Ciências ainda não chegou no cerne do trabalho de Latour, seu debate ontológico, uma vez que é justamente sobre os temas técnicos que Latour se propõe a analisar.

Diferentemente de epistemólogos que prescrevem o que deve ser a ciência (BUNGE, 2013; LAKATOS, 1984; POPPER, 2008), ou daqueles que analisam acontecimentos científicos em um passado remoto (KUHN, 1978), Latour se debruça sobre a ciência viva, dos nossos dias, em construção, em ação (LATOURE, 2011). Em suas obras, não existe a preocupação em estabelecer argumentos apriorísticos sobre o que é a ciência, tão pouco as próprias afirmações dos cientistas são levadas como se fossem verdades incontestáveis (LATOURE e WOOLGAR, 1988).

Sua contribuição revolucionária para o estudo da natureza da ciência está em tê-la tornado objeto de estudo da Antropologia e, portanto, passível de ser avaliada em campo. Nesse sentido, parece que Latour encarna em seu método de trabalho o próprio espírito científico bachelariano (BACHELARD, 1978; 1996): tomando a ciência como objeto de estudo, não confia cegamente no que os outros dizem, é crítico a tudo que ouve e lê e confronta suas próprias visões com observações empíricas.

No legado latouriano, o estudo da ciência é feito pela mão do antropólogo que, dentro do laboratório, avalia minuciosamente o comportamento dessa estranha tribo chamada de neuroendocrinologistas (LATOURE e WOOLGAR, 1988; 1997). O ponto de partida de Latour, entretanto, é mais complexo e ousado do que pode parecer para o leitor incauto e alheio ao debate sociológico da última metade do século XX. Uma leitura apressada ou superficial do livro *A Vida de Laboratório* tem conduzido a uma série de ataques despropositados (CREF, 2014; SLEZAK, 1984; SOKAN e BRICMONT, 2010). Primeiramente, classificam Latour como um pós-moderno, o que, como discutiremos na seção 4, não está de acordo com sua obra. Além disso, sua controversa afirmação de que os fatos científicos são socialmente construídos, por exemplo, tem sido interpretada como se as afirmações científicas não diferissem das afirmações presentes na literatura de ficção. Certamente, não é isso que Latour quis dizer (LATOURE, 1988, p. 29) conforme discutiremos na seção 5.

Antes de adentrarmos em questões da natureza da ciência, devemos ter em mente que o seu pensamento traz pressupostos de caráter ontológico, os quais não podem ser subestimados. A sua visão não-moderna (LATOURE, 2013) está diretamente ligada à natureza da realidade: Latour propõe uma ruptura com as construções ontológicas da sociedade moderna (a dizer, ele contradiz a separação entre natureza e sociedade), inviabilizando o pretense ideal de corte epistemológico de Bachellard. Devemos levar em consideração, por outro lado, que ele também confronta o programa forte de Bloor (1982), cujo objetivo é reduzir conhecimento científico a uma construção social.

Neste trabalho, temos o objetivo de apresentar os fundamentos ontológicos da visão de Bruno Latour, partindo da Antropologia Simétrica (seção 2). Apresentamos o conceito de híbridos e redes (seção 3), e problematizamos os conceitos de modernidade, pós-modernidade e não modernidade (seção 4) indicando o que Latour aceita e rejeita de cada visão. Ainda nessa seção, apresentamos o conceito de mediação e purificação. Na seção 5, interpretamos o livro *A Vida de Laboratório* (seção 5) à luz das seções anteriores. Finalmente, fazemos uma proposta do uso das ideias de Latour como referencial para a Educação em Ciências (seção 6).

2. A Antropológica Simétrica

A Antropologia (STRAUSS, 1962; 1987) tem se dedicado extensivamente a estudar tribos remotas, costumes exóticos, relações familiares e cultos extremamente complexos e distantes. Ao fazê-lo, o etnólogo não escreve três livros diferentes (um sobre a cultura, um sobre os conhecimentos e um sobre o poder)(LATOURE, 2013, p. 20) - ele escreve um só relato, um único texto sobre o coletivo natureza-cultura.

Ao voltarem-se para a sociedade moderna, esses mesmos etnólogos optaram por analisar os seus costumes populares, as representações simbólicas, os marginais – tudo aquilo que não pertence ao “mundo moderno”. Antes de Bruno Latour, a Antropologia não havia dito uma só palavra sobre a ciência, a indústria, a técnica (LATOURE e WOOLGAR, 1988). Dessa forma, mesmo a Antropologia do mundo ocidental, antes de Latour, havia decidido olhar apenas para a parte “não-moderna” de nossa cultura. Essa escolha não é arbitrária; mas

reflete a premissa teórica de que o mundo moderno não poderia ser objeto da Antropologia visto que ele rompeu os laços entre cultura e natureza.

Nos anos 60 e 70 do século XX, surgiu, entretanto, uma série de estudos sobre a ciência em seu contexto social. Os dois polos ontológicos (“natureza” e “sociedade”), entretanto, seguiram misturados como “água e óleo em repouso” (LATOURE e WOOLGAR, 1988), indicando a perpetuação da premissa teórica supracitada: a Antropologia pode estudar as outras civilizações; mas não a nossa. E, quando estuda a nossa, pode investigar o que é místico, popular, simbólico, mas não o que é científico e técnico. A assimetria antropológica entre “outros” e “nós” é apenas uma consequência da assimetria da ontológica acerca da “sociedade” e da “natureza” na civilização moderna. É essa assimetria ontológica que Latour reconhece e desmonta em sua obra.

Nesse contexto, os primeiros estudos sociológicos da ciência usavam a “sociedade” para explicar as intenções do cientista, suas crenças, sua ação política e social, mas não o produto final que ele articulava (LATOURE e WOOLGAR, 1988). Aliás, a sociologia poderia explicar os erros do cientista, como suas visões subjetivas, o afastaram da realidade. Os acertos (o conteúdo científico), por outro lado, escapariam da análise sociológica visto que seriam frutos da natureza e, portanto, independentes do social, reificando o tão almejado sonho de Gaston Bachelard em sua *Filosofia do Não* (BACHELARD, 1978).

O Primeiro Princípio de Simetria foi proposto na década de 80 do século passado, por Bloor (BLOOR, 1982) em seu Programa Forte da Sociologia, cujo objetivo seria explicar não só os erros, mas também os acertos da ciência através da sociologia. Ou seja, para essa concepção, todo o conhecimento científico poderia ter uma explicação social. O princípio é considerado simétrico, pois posiciona a sociedade de forma equidistante aos erros e aos acertos científicos. Deve-se notar que essa visão é diametralmente oposta à proposta de Bachelard. Muitos dos críticos de Latour o associam ao programa forte de Bloor; mas estão equivocados na medida em que Latour afasta-se do Primeiro Princípio de Simetria propondo a necessidade de redefinir o conceito de Sociedade (LATOURE, 1999; 2005).

O afastamento de Latour com relação ao Programa Forte da Sociologia se deve ao reconhecimento da persistência de um pensamento assimétrico na visão blooriana. Embora Bloor seja construtivista para a natureza (os achados

científicos são sociologicamente construídos) ele é realista para a sociedade. Isto é, ao dizer que podemos explicar a ciência pela Sociedade, estamos reificando essa “entidade”, considerando que a conhecemos *a priori* como ela de fato é. Entretanto, se a natureza é construída socialmente, o que se dirá da própria sociedade?

Latour, opondo-se ao Programa Forte, adere ao Princípio de Simetria Generalizado, propondo-se a explicar a natureza e a sociedade sem tomá-las como polos ontológicos distintos. De acordo com o filósofo francês, precisamos nos posicionar de tal forma que nem a natureza nem a sociedade sejam entendidas como inerentemente existentes *a priori*.

Tomemos como exemplo a proposta da natureza quântica da radiação de Einstein (1905). Pela visão epistemológica de Bachellard, os erros de Einstein podem ser entendidos socialmente, no entanto, a previsão correta para a equação do efeito fotoelétrico (o conteúdo do artigo) não pode ser explicado sociologicamente; mas sim pela natureza. Nessa assimetria explicativa repousa a própria assimetria ontológica atribuída à natureza e à sociedade (Figura 1a). À luz do primeiro Princípio de Simetria, por outro lado, poderíamos estudar a sociedade alemã do início do século XX, e, a partir dela, explicar a equação de Einstein usando conceitos como classes, grupos, poder (LATOURE, 1988). Poderíamos mostrar como o próprio conteúdo da equação se funde com elementos intrinsecamente sociais (figura 1b). Esse foi o caminho seguido, por exemplo, no estudo sobre o embate intelectual entre Boyle e Hobbes sobre a bomba de vácuo (SHAPIN e SCHAFFER, 1985). Nessa obra, os autores mostram como que o grupo de pesquisadores do qual Boyle faz parte funda a nova *práxis* científica (empirista) viabilizando a construção do conceito de vácuo e, ao mesmo tempo, interferindo na ordem social britânica.

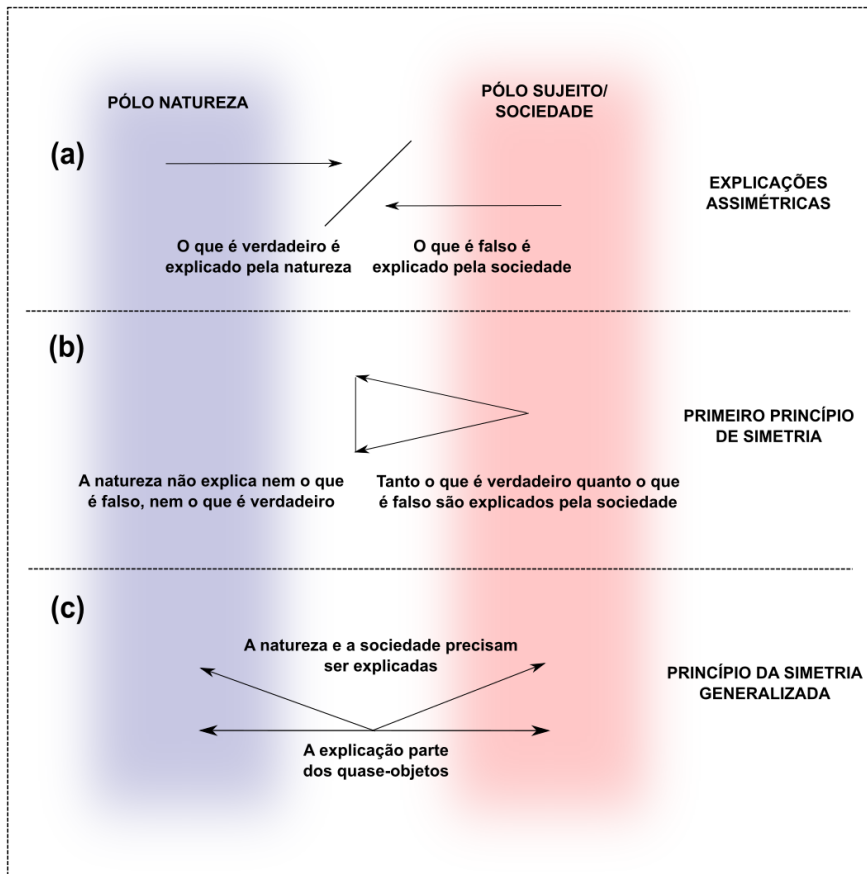


Figura 1. (a) A visão epistemológica (Bachelard) explica os erros da ciência pelo contexto social, enquanto que a natureza explica os acertos. (b) A visão de Bloor usa a sociedade para explicar os erros e os acertos da ciência. (c) A visão simétrica generalizada usa a produção científica para explicar a natureza e a sociedade. Figura adaptada da obra *Jamais Fomos Modernos* (LATOUR, 2013).

Latour aponta, entretanto, que, para explicar o “contexto” de Boyle (ou de Einstein, ou de qualquer outro exemplo), precisamos “ler” outros “textos”. Não temos acesso à realidade social direta de Boyle. Assim, não existe um contexto real, reificável, palpável e a acessível a nós. O que existem são “co-textos” (LATOUR, 1988), os quais, como quaisquer textos, possuem pontos de vista, reflexões e refrações da realidade (BAKHTIN, 2016).

Como, então, ser simétrico sem recair na objetivação de nenhum dos polos ontológicos? Isto é, sem atribuir à natureza e à sociedade uma essência objetiva? O ponto de partida deve ser invertido. Ao invés de partir da natureza e da sociedade para explicar acerto e erro (epistemologia bachelariana) ou partir da sociedade para explicar tudo (programa blooriano), devemos partir do efeito fotoelétrico para explicar a natureza e a sociedade. Devemos nos perguntar o

que aprendemos do artigo de Einstein sobre a sociedade, sobre a sociologia e SOBRE a natureza (LATOUR, 1988). Como o artigo de Einstein redefine a sociedade e natureza? A quantização da radiação eletromagnética não é mais aquilo que queremos explicar, ele é a fonte das explicações (figura 1c).

Assim, para Latour, não devemos mais pensar na existência de uma natureza e de uma sociedade independentes que podem ser usadas como fonte de explicação das coisas. Pelo contrário, devemos olhar para os quase-objetos ou os híbridos e, a partir deles, rastrear empiricamente a rede sociotécnica que os cercam e, a partir disso, entender a construção da sociedade e da natureza.

3. Híbridos, Redes e o Problema Ontológico

No livro *Jamais Fomos Modernos*, Latour traz o exemplo dos buracos na camada de ozônio (LATOUR, 2013). A pergunta que o antropólogo almeja responder é se esses objetos são reais e independentes da sociedade e do discurso, ou se estamos apenas falando de estruturas socialmente construídas e artificiais, ou, ainda, se estamos falando apenas de efeitos do discurso. Sua resposta é não para as três opções:

O buraco de ozônio é por demais social e por demais narrado para ser realmente natural; as estratégias das firmas e dos chefes de Estado, demasiado cheias de reações químicas para serem reduzidas ao poder e ao interesse; o discurso da ecoesfera, por demais real e social para ser reduzido a efeitos de sentido. Será nossa culpa se as redes são ao mesmo tempo reais como a natureza, narradas como o discurso, coletivas como a sociedade? (Latour,2013; p.12)

O cientista, no laboratório, articula híbridos. Ninguém subiu até a camada de ozônio e constatou com seus próprios olhos a existência de buracos e sua formação sendo causada por agentes antropogênicos. As conclusões obtidas pelos cientistas são frutos de interpretações de inscrições de equipamento à luz e de debates científicos e políticos. Existe uma rede de atores, humanos e não humanos, interagindo para produzir esses conhecimentos. Quando falamos de buracos na camada de Ozônio, estamos falando de um híbrido que surge da interação entre cientistas, equipamentos, políticos, sociedade, isto é, da interação de uma rede sociotécnica. Sua constituição é social, mas não é só

social, é fruto de efeitos do discurso, mas não só isso; é também resultado de reações químicas naturais, mas não pode ser reduzida a elas.

Caso semelhante pode ser identificado com relação ao TRF (Hormônio Liberador de Tireotrofina): os neuroendocrinologistas não olharam diretamente para a molécula com seus olhos. Eles interpretaram inscrites resultantes de experimentos à luz de uma série de outros discursos. A articulação do TRF, portanto, envolve elementos que são intrinsecamente discursivos e sociais. Não estão alheios a uma rede de disputas políticas e intelectuais; não podendo, entretanto, ser reduzido ao social e ao discursivo. O TRF é um híbrido construído pela rede de cientistas, teorias, equipamentos e técnicas que o cercam. Da mesma forma, o quantum de Einstein é um híbrido! A função de onda de Schrödinger é um híbrido. O espaço-tempo de Einstein é um híbrido.

O cientista, entretanto, nega a dimensão social e discursiva do objeto que ele articula e nega a formação de uma rede sociotécnica ao redor desse híbrido. Ele constrói o TRF, ele monta sua amostra, usa equipamentos, obtém inscrições, as interpreta à luz de teorias discursivas e, depois, diz que o TRF sempre esteve lá independentemente de seu trabalho. É como se a natureza, apesar de ser constantemente construída pelo cientista, funcionasse como se fosse independente dele. Deve-se ter o cuidado, entretanto, para não confundir a ideia de que, por serem construídos, os fatos são fictícios. Pelo contrário, é porque os construímos que garantimos sua existência. Quanto mais construímos um ente, mais real ele se torna (LATOUR, 1999). Essa existência, entretanto, não é independente da rede que o criou. Não existe, para Latour, uma separação objetiva entre natureza e sociedade. É através da rede e sua interação que sociedade e natureza são construídas em conjunto. Esse abismo ontológico, que hoje nos é tão comum, é fruto de uma construção artificial da modernidade.

4. A Modernidade, a Pós Modernidade e a não-Modernidade

Para entender por que a sociedade e a natureza nos parecem, hoje, tão distantes, precisamos analisar como tal visão de mundo foi criada na modernidade. Suas bases filosóficas poderiam ser recuperadas na proposta platônica de separar o mundo das Ideias da realidade material. No mundo moderno, entretanto, o corte entre natureza e sociedade é estabelecido na

filosofia cartesiana e intensificada na proposta de Kant, segundo a qual a coisa-em-si se mantém sempre inacessível a um sujeito cognoscente, que somente pode tangenciar pela mediação do fenômeno (LATOURE, 1999). Latour, por outro lado, se opõe à ruptura entre natureza e sociedade expressa seja por Platão, Descartes ou Kant. Em síntese, sua proposta pode ser entendida como uma extensão do princípio existencialista de Sartre, segundo o qual existência antecede essência⁵ (LATOURE, 2013). Ou, ainda que Latour critique a fenomenologia, sua proposta pode ser entendida como uma retomada da noção heideggeriana de que o Ser é um processo, uma atividade e não um ente (HARMAN, 2009). Para Latour, o buraco da camada de ozônio, o TRF, ou qualquer outro actante está em um constante processo de articulação. Sua existência nunca é dada e garantida; mas continuamente sustentada pelo esforço de articulação da sua rede (LATOURE, 2005).

Latour descreve a proposta modernizadora, descrevendo as quatro premissas sobre as quais ela se funda: 1) aceitamos uma natureza transcendente, 2) acreditamos em uma sociedade imanente, 3) negamos a existência dos híbridos e 4) expurgamos Deus da realidade. São essas quatro premissas que nos distinguem de todas outras civilizações e que nos separam de nossos antepassados pré-modernos. Fomos capazes de acreditar na separação entre natureza e sociedade e, assim, imaginar ser capazes de desenvolver um conhecimento natural e independente de tudo que é social, subjetivo e religioso (LATOURE, 2013).

Tais premissas fundam o que Latour chama de dois paradoxos e a Constituição da Modernidade (tabela 1). O primeiro paradoxo indica que tratamos a natureza como se essa fosse transcendente e alheia a nós enquanto que a sociedade é considerada fruto de nossa vontade. No segundo paradoxo, a sociedade moderna vale-se justamente do posicionamento contrário: ela constrói a natureza no laboratório e subordina-se à estrutura social. Ambos paradoxos conduzem à constituição da modernidade. A primeira garantia oferecida pela

⁵ A discussão sobre a existência e a essência remonta a Aristóteles (NELSON, 2012), para o qual ambas eram indissociáveis. Tal concepção é combatida por São Tomás de Aquino (AQUINO, 1995), que afirmava a essência preceder a existência, visto que é possível conceber a essência de um ente que não existe. Sartre, por sua vez, deriva da inexistência de Deus que, pelo menos, os homens tem sua existência anterior à essência, visto que não foram concebidos antes de existir (SARTRE, 2007). Ao estender as propriedades dos humanos aos não humanos, Latour aplica o princípio existencialista de Sartre (a existência antecede a essência) para os “fatos científicos” (LATOURE, 2013).

Constituição é que, ainda que sejamos nós que construímos a natureza, ela funciona como se não a construíssemos. A segunda garantia oferecida pela Constituição é que, ainda que não sejamos nós que construímos a sociedade, ela funciona como se nós a construíssemos. E, por fim, a terceira garantia trata da separação entre dois tipos de práticas: purificação e mediação.

A mediação (ou tradução) é justamente o processo de criação dos híbridos, é a interação entre os diferentes atores da rede. Quando um cientista experimental escreve um artigo, ele está “traduzindo” (ou mediando) o que o aparelho “quer dizer”. Os fatos são mudos e os cientistas falam por eles, os traduzem; mas ao fazer isso, criam híbridos de ciência, natureza e sociedade. A purificação, por outro lado, interage com o híbrido para separar (partindo do pressuposto que isso é possível) o que “pertence” a cada polo ontológico. Com essa suposta separação, a sociedade moderna alcançou feitos que nenhuma outra civilização alcançou: a natureza transcendente nos garante que possamos construí-la no laboratório e, ainda sim, afirmar que ela existe independentemente de nós. A sociedade imanente permite que acreditemos que somos nós os construtores da nossa realidade social, embora, na prática, estejamos fortemente delimitados por ela. A negação dos híbridos permite-nos ir para os laboratórios acreditando que nada do que fazemos interfere na ordem social e política e, somente ao fazer isso, é que permitimos a sua proliferação. Ao expurgar Deus, transladamos a fonte de verdade e de poder da religião para ciência e somos capazes de reestabelecer a ordem social e científica.

Tabela 1. Paradoxos e Constituição Moderna. Adaptado de Latour (2013)

Primeiro Paradoxo	
A natureza não é uma construção nossa: ela é transcendente e nos ultrapassa infinitamente.	A sociedade é uma construção nossa: ela é imanente à nossa ação.
Segundo Paradoxo	

Nós construímos a natureza artificialmente no laboratório. Ela é imanente.	Não construímos a sociedade. Ela nos ultrapassa infinitamente.
Constituição	
1ª garantia: Ainda que sejamos nós que construímos a natureza, ela funciona como se não a construíssemos	2ª garantia: Ainda que não sejamos nós que construímos a sociedade, ela funciona como se nós a construíssemos
3ª garantia: A natureza e a sociedade devem permanecer absolutamente distintas; o trabalho de purificação deve permanecer absolutamente distinto do trabalho de mediação	

O problema é que essas duas práticas (mediação e purificação), na realidade, acontecem ao mesmo tempo; ainda que os modernos digam que não. O cientista vai ao laboratório e cria o TRF (um híbrido) através da mediação; mas anuncia no seu artigo que “descobriu” o TRF, uma substância natural e independente da sociedade e do discurso. Para purificar um híbrido, identificar sua parte natural, por exemplo, precisamos traduzir os resultados de um inscrito obtido com um equipamento. Com isso estamos hibridizando ainda mais natureza e sociedade. Jamais conseguimos fazer a prática de purificação sem usar a tradução.

Os modernos dizem que mediação e purificação são processos separados e independentes, pois é nisso que se baseia sua constituição. Ao observamos os cientistas trabalhando, vemos que não é isso que acontece. Mediação e purificação acontecem juntas – o cientista afirma fazer purificação,

mas tudo que faz é tradução, e os híbridos se proliferam. Existe uma diferença, portanto, entre o que é a ciência oficiosa e a ciência oficial (LATOURE, 2013).

Aquilo que nos separa das outras civilizações, a distinção entre dois polos ontológicos independentes, é uma mera ilusão: nós jamais fomos modernos. O que nos torna diferente das outras civilizações não é o fato de que conseguimos, de fato, separar a natureza e a sociedade, mas acreditar nessa possibilidade. Ao fazê-lo, permitimo-nos expandir a proliferação de híbridos como nunca feito antes. Somos iguais às outras culturas porque jamais conseguimos escapar da mesma matriz antropológica, o tecido inteiro de natureza-sociedade-discurso; mas somos diferentes porque mobilizamos mais atores do que jamais foi feito (LATOURE, 2013)

Com relação à natureza da ciência, especificamente, baseando-se no embate entre Hobbes e Boyle (SHAPIN e SCHAFFER, 1985), Latour mostra como que a proposição da “constituição” moderna foi construída num embate político-científico no século XVII, do qual o empirismo surgiu como vencedor. Até então, a validade de um argumento se dava por sua estrutura lógica, apriorística. Por outro lado, o método empírico de Boyle, apoiando-se numa paráfrase jurídica, auferia a grupos de pesquisadores a possibilidade de estabelecer verdades independentemente da estrutura apodítica. Com a vitória da tradição boyleana, entretanto, a ciência se afastou da *episteme* para se tornar *doxa* (Latour, 2013).

Latour mostra que o embate entre raciocínio apodítico e método empírico foi travado por Hobbes e Boyle no campo não só da ciência mas da política. Natureza e sociedade não eram diferentes: se o rei representa os cidadãos, o cientista representa os objetos. Os posicionamentos são simétricos. A palavra “representação” é a mesma e, de fato, tem o mesmo significado nos dois casos. O rei pode falar pelos cidadãos, mas também pode trai-los; o mesmo acontece com o cientista. A quebra do coletivo em sociedade e natureza como polos ontológicos distintos e incomunicáveis proporcionou que a representação política parecesse, hoje, apartada da representação científica.

Já no contexto contemporâneo, a partir da década de sessenta do século XX, entretanto, os impactos da segunda guerra mundial, incluindo o avanço da ciência nuclear e sua inata miscigenação com interesses geopolíticos, bem como estudos ambientalistas (CARSON, 1994) permitiram a formação de um contexto em que o ideal cientificista (e todos os mitos a ele atrelados) pudesse ser

colocado sob investigação⁶. O surgimento de epistemologias não absolutistas como a visão apresentada na obra emblemática de Thomas Kuhn (1978) – “A Estrutura das Revoluções Científicas” – representa justamente a possibilidade de se pensar sobre a ciência fora da objetividade herdada das tradições platônicas.

Na década de 90, ainda, as novas conferências ambientais explicitaram o fracasso do intento modernista de dominar a natureza, e o fim da União Soviética explicitou o fracasso modernista de acabar com a dominação do homem sobre o homem. Tal cenário permitiu a ascensão de um ideal pós-modernista, o qual aponta as limitações e fracassos do modernismo, recaindo, entretanto, num sentimento de impotência ao se deixar levar pela crença de que tudo pode ser resumido aos efeitos do discurso e que a natureza e a sociedade são polos que não podem ser reatados (LATOUR, 2013).

Por essa postura cética, Latour não se posiciona como pós-moderno. Ele não acredita na separação entre natureza e sociedade. A modernidade nunca existiu, logo, não há como se opor a ela. Por outro lado, se a modernidade de fato não existiu, significa que não há nada de bom em nossa cultura? Não aprendemos nada com a ciência? Não há nada a aprender? Muito pelo contrário. O que Latour propõe é a adoção de uma “verdadeira honestidade intelectual”. Vamos sim celebrar a ciência, mas vamos admitir que existem híbridos. Vamos supor que existe uma natureza objetiva que tentamos explicar; não existe erro nisso, mas não sejamos ingênuos de imaginar que produzimos verdades absolutas em laboratório. A separação entre uma natureza objetiva e uma sociedade subjetiva é uma ferramenta, uma estratégia de trabalho, útil e que produz resultados profícuos; mas deve ser entendida como uma ferramenta, como um artifício. A propósito, a separação entre natureza e sociedade é simétrica à separação entre judiciário e executivo – ela existe apenas como uma abstração; na prática, existem complexas redes que emaranham judiciário e executivo. Ainda assim, sua separação oficial é útil na sociedade moderna. Não precisamos, portanto, abandonar a separação entre natureza e sociedade ou a divisão entre executivo e judiciário, desde que reconheçamos que ela é um artifício. Partindo dessa reflexão, Latour reconhece que dos grupos modernos,

⁶ Ainda que a consolidação da área seja motivada pelos resultados da Guerra, existem obras anteriores a esse período, como os trabalhos de Robert Merton. Ainda, do ponto de vista Filosóficos, outros pensadores já haviam refletido sobre problemas correlatos como o próprio Marx e Heidegger.

não-modernos e pós-modernos, há elementos que podemos conservar e rejeitar em benefício de nosso coletivo (o que está sintetizado na tabela 2).

Tabela 2. Elementos que Latour conserva e rejeita de cada perspectiva. Adaptado de Latour (2013).

Grupo	O que Latour conserva	O que Latour rejeita
Modernos	Redes extensas Experimentação Separação da natureza objetiva e sociedade subjetiva	Separação da natureza e da sociedade Clandestinidade da mediação Universalidade
Pré-modernos	Não separabilidade das coisas e dos signos Multiplicação dos não humanos	Obrigatoriedade de ligar sempre natureza e sociedade
Pós Modernos	Desconstrução Reflexividade Desnaturalização	Impotência Crença no Modernismo

Reconhecendo essas considerações ontológicas, o papel do sociólogo ou antropólogo da ciência não é estudar como os cientistas chegam a verdades ou como o método científico é diferente e privilegiado com relação aos outros métodos. O sociólogo debruça-se sobre as interações entre os diferentes atores que compõe a rede sociotécnica, ele estuda os emaranhamentos entre natureza e sociedade (de forma simétrica a como um cientista político estuda as relações entre executivo e judiciário), ele analisa a formação dos híbridos e como esses tensionam a rede ao seu redor. Partindo da Antropologia Simétrica, Latour estuda a ciência e suas redes, pesquisa a ciência viva, em ação.

5. Revisitando *A Vida de Laboratório*

A partir da discussão ontológica e epistemológica traçada nas seções anteriores, conseguimos entender melhor o que Latour, de fato, fez em seu livro

A Vida de Laboratório (LATOOUR e WOOLGAR, 1988). Ao identificar a construção de um híbrido, o TRF, Latour acompanha a interação da rede sociotécnica que se desenvolve ao seu redor. Latour analisa como os diferentes atores (os cientistas, os técnicos, os equipamentos, o TRF) interagem nessa rede. E, a partir desse estudo, chega a conclusões sobre como se dá a prática científica, incluindo a noção de que o TRF é socialmente construído.

Isso quer dizer que o TRF é um artifício literário? Não! Quer dizer que ele só existe dentro da rede que o criou. Isso significa que ele não existe fora da rede. Se quisermos provar que ele existe em outro lugar, teremos que estender a rede até lá, incluindo os equipamentos e as teorias que usamos. O TRF passará a existir até onde a rede se estender. A ciência, portanto, pode ser considerada universal dentro da rede. Não existem, portanto, verdades absolutas e totalmente universais.

Também, a partir deste estudo etnográfico, podemos chegar a conclusões sobre o que é o trabalho científico. Os cientistas, de acordo com Latour, são uma tribo de leitores e escritores. Eles leem os artigos produzidos por outros laboratórios e produzem seus próprios escritos. A escrita científica, entretanto, é diferente da literatura ficcional (LATOOUR, 1988). Para entender esse aspecto da atividade científica, entretanto, é necessário que se entenda quais as diferenças semióticas entre esses dois gêneros discursivos (BAKHTIN, 2016).

No gênero ficcional, o autor fornece elementos narrativos cujo objetivo é criar no leitor a sensação de que aquilo que está lendo é algo real, sendo os elementos coerentes dentro da estrutura da narrativa chamados de referente interno do texto. Quando o narrador afirma, por exemplo, que a personagem principal encontrou uma lista com nome das pessoas assassinadas, o leitor tem a impressão de que essa lista já existia e ele está sendo informado sobre isso (LATOOUR, 1988). Se o autor ainda informa ao leitor que essa lista existe e está na biblioteca de Londres podendo ser consultada, cria-se um referente externo (não mais interno) que o leitor pode, de fato, verificar. Ou seja, existem inscrições que podem ser verificadas e sobrepostas à narrativa de forma a aumentar a confiança na veracidade da narrativa.

Os cientistas distinguem-se por produzirem narrativas factuais em que apontam referentes externos para aumentar a confiança do leitor na veracidade do que dizem. Esses referentes externos são as inscrições obtidas pelos

aparelhos do laboratório. Portanto, a confiabilidade da ciência reside na possibilidade de sobrepor os dados de um laboratório com o que está escrito na narrativa de outro cientista (LATOIR, 1988).

Usando conceitos da semiótica, Latour analisa um livro de Albert Einstein (LATOIR, 1988) para mostrar como que a narrativa da teoria da relatividade é construída para resguardar a sobreposição de dados entre diferentes referenciais – pois, como comentado, é sobre essa sobreposição que reside a confiabilidade científica. O trabalho de Einstein, portanto, é considerado um trabalho de cunho semiótico voltado para o estudo de um efeito narrativo chamado *shifting in e out*. *Shifting out* é o recurso semiótico através do qual o narrador translada a atenção do leitor para outro cenário. *Shifting in* é o processo inverso. Em um artigo, o autor pode dizer, “o laboratório X encontrou tais dados” – isso é um processo de *shifting out* – “nós também encontramos esse resultado” – isso é um processo de *shifting in*. No ideal de ciência que temos hoje, os dados de diferentes laboratórios devem ser consistentes – ou seja, o autor deve ser capaz de construir narrativas baseadas em recursos de *shifting in e out*. A Teoria da Relatividade Geral permite que esse recurso seja usado por qualquer referencial (inercial ou não) do Universo, visto que explicita a relação entre a métrica e a distribuição de energia. Esse problema epistemológico foi reconhecido pelo próprio Einstein em seu artigo original de 1916.

Esse é um exemplo de como se usar a simetria generalizada na prática. Normalmente, veríamos o trabalho de Einstein apenas como algo que fale da natureza. Latour explicita, entretanto, a dimensão discursiva (semiótica) do trabalho e, também, seu caráter social, visto que, ao sacrificar a universalidade da métrica do espaço-tempo, Einstein salva a universalidade da própria ciência.

Avançando no estudo da natureza da ciência, podemos dizer, então, que, a partir do uso de *shifting in e shifting out*, o autor de textos científicos garante a possibilidade de o leitor comparar as inscrições e aumentar, assim, a confiabilidade científica. Além disso, como o objetivo do cientista é convencer o leitor daquilo que está escrito, o autor se vale de estratégias discursivas típicas do gênero literário científico com essa finalidade. A esse respeito, aparece uma questão interessante: “A função da inscrição literária é conseguir persuadir os leitores, mas esses só ficam plenamente convencidos quando todas as fontes de persuasão parecem já ter desaparecido.” (LATOIR e WOOLGAR, 1988).

Ademais, Latour constata que, quando querem convencer os outros cientistas de algo, os escritores precisam dizer como aquilo foi produzido. Enquanto não houver confiança suficiente da comunidade, os rastros de produção do fato ficam evidentes. Somente quando há um grau de confiança muito grande, as inscrições não precisam mais ser mencionadas. A partir desse momento, parece que aquilo sempre existiu de forma tácita: “Havia decorrido um período intermediário durante o qual um desenvolvimento progressivo tinha se produzido, transformando um debate animado em um fato instituído, não litigioso e que agora passava despercebido.”(LATOURE e WOOLGAR, 1988)

Acompanhando esse período intermediário, Latour notou que os enunciados dos cientistas nos artigos e no laboratório poderiam ser classificados em cinco grupos, mostrados na tabela 3.

Tabela 3. Tipos de Enunciados encontrados em um laboratório

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.

Por fim, podemos concluir que cientistas são leitores-escritores que buscam escrever textos factuais, usando inscritesores de equipamentos como referentes externos, com o objetivo de promover enunciados do tipo 1 ao status de enunciados do tipo 5.

6. Implicações para a Educação em Ciências

Acreditamos que a visão de Latour sobre a atividade científica representaria uma verdadeira revolução na Educação em Ciências que praticamos. Da maneira como é concebida atualmente, tal formação alinha-se à visão moderna, a qual não sobrevive a uma análise mais profunda como discutido na seção 4. Existem quatro pontos nevrálgicos a serem levados em conta:

i) **A Educação em Ciências deve mostrar a ciência em ação e não a ciência pronta – abrindo as caixas pretas**

A crença no corte epistemológico bachelariano tem levado o ensino a apresentar as teorias físicas hegemônicas como verdades objetivas, absolutas e óbvias. A educação em Ciências não mostra que as “verdades” foram construídas e ocuparam, em algum momento, um palco de disputas não só circunscrito à dimensão intelectual, mas que também envolveu esferas políticas.

Ao entender que os fatos científicos são híbridos, interessa-nos considerar como eles são articulados pela rede sociotécnica, o que implica que não devemos considerar as teorias como verdades prontas e fechadas, independente dos contextos. Já é hora de o ensino abrir a caixa preta (LATOUR, 2011) da Física e mostrar como as teorias são construídas.

Por exemplo, o “Ensino Moderno” explica o que é o Efeito Fotoelétrico e, simplesmente, afirma que a quantização da radiação eletromagnética o explica de forma adequada (LIMA, ANTUNES, *et al.*, 2017a; 2017b). Deve-se observar que os livros apresentam tal fenômeno como saber aceito (enunciado tipo 4) e não mostram as disputas, incertezas e limitações do texto original de Einstein. Eisberg e Resnick afirmam, por exemplo, “ Em cada caso, iremos obter **evidência experimental** que a radiação é como partícula em sua interação com a matéria” (EISBERG e RESNICK, 1985) (p.27) sem discutir como essa “evidência” foi construída.

O “Ensino não moderno”, fundamentado na perspectiva de Latour, poderia explicar o argumento utilizado por Einstein (EINSTEIN, 1905) sobre a entropia da radiação para construir a hipótese da quantização da energia, evidenciando que o próprio Einstein colocou sua afirmação como uma hipótese (enunciado tipo 1):

“(...) fenômenos conectados com a emissão e transformação da luz **são mais prontamente compreendidos se assumimos** que a energia da luz é distribuída descontinuamente no espaço” (EINSTEIN, 1905). Mostraria também que Einstein se baseou no modelo de Wien da radiação e não de Planck e que assumiu que seu modelo talvez só fosse válido dentro dos limites de validade do modelo de Wien (enunciado tipo 2). Tal perspectiva ainda discutiria as razões, segundo as quais, durante mais de 20 anos, Einstein foi o único a defender essa posição (MARTINS e ROSA, 2014).

Nesse caso, caberia questionar: se a quantização da radiação é algo tão óbvio, como afirmam os livros atuais, por que ninguém foi convencido por Einstein? Quais recursos semióticos ele usou para convencer seus pares? O que esse episódio histórico pode nos dizer sobre a ciência e sobre a sociedade alemã do início do século XX?

É interessante observar nesse exemplo que os livros didáticos desempenham o papel de consumir o objetivo do cientista de promover os enunciados tipo 1 e 2 a enunciados tipo 5. Enquanto Einstein afirma apenas conjecturas e faz propostas limitadas, os livros apresentam um conhecimento aceito que deve se tornar saber tácito para aquele que o lê. Tal perspectiva de educação científica já fora discutida por Thomas Kuhn, que descreveu o papel dos livros e manuais de instrução (KUHN, 1978) como instrumentos de manutenção das visões hegemônicas da ciência.

Deve-se notar, entretanto, que optar por “abrir a caixa preta” não é só uma questão didática, mas ideológica. Parte do trabalho da ciência é justamente o de apagar os rastros da criação dos fatos científicos, promovendo os enunciados tipo 1 a enunciados tipo 5. Uma Educação em Ciência que privilegie o processo de abertura de caixa preta, dessa forma, está se posicionando ideologicamente contra parte do trabalho da ciência. Isso não significa, contudo, que se está desmerecendo a ciência ou se opondo a ela. Pelo contrário, tal ensino demanda que se entenda que a ciência não é importante porque descobre verdades imutáveis e universais, mas porque articula a realidade através de uma extensa e complexa rede de actantes. Abrir a caixa preta da ciência exige uma mudança radical de perspectiva epistemológica.

Há exemplos de trabalhos na área de educação em ciências que reconhecem que a prática científica excede o seu produto, entendendo a partir

da visão latouriana, que a educação científica deve privilegiar outras atividades além do conhecimento conteudista, incentivando a visita em laboratórios científicos (QUEIROZ e ALMEIDA, 2004; VIANNA e CARVALHO, 2001). Complementamos, entretanto, que a simples visita em laboratórios ou mesmo a mimetização de pesquisa científicas, como o tão presente ensino por investigação, só faz sentido quando acompanhada de uma complexa e profunda discussão sobre a natureza da ciência. Sem isso, corre-se o risco de omitir as controvérsias ou de desqualificar o trabalho científico.

ii) Estudar os processos e não os produtos – Abandonando o mito do gênio e a universalidade dos entes.

O ensino segue privilegiando em seu discurso a noção de descoberta científica individual e não de construção de verdades através de redes sociotécnicas. O mito do gênio é um exemplo de como essa visão ainda é aceita atualmente. Ao invés de criar personagens míticos que descobrem verdades, o ensino pode mostrar como as redes constroem verdades, ressaltando o papel não só dos humanos, mas dos não-humanos. Certamente, para se opor ao mito do gênio, não é necessária a obra de Latour, e outros estudos epistemológicos também fazem essa indicação (ALLCHIN, 2003; 2004). Entretanto, a proposta de híbridos nos lembra que a ciência não é construída somente por um conjunto de humanos, mas por uma rede heterogênea.

Ademais, a visão de Latour traz consequências não somente sobre “a autoria” do fato científico, mas também sobre a essência mutável deste fato (LATOURE, 2013). No caso do fóton, devemos entender que o fóton de Einstein não é o mesmo fóton de de Broglie, e esse, por sua vez, não é o fóton de hoje. Precisamos especificar de qual dos muitos fótons estamos falando. É o fóton da teoria que aparece no formalismo matemático ou de uma inscrição resultante de um experimento? E mais, qual interpretação se está usando para o fóton? A interpretação realista corpuscular física semi-clássica ou a interpretação realista ondulatória de Schrodinger? A interpretação dualista realista de De Broglie? Ou a interpretação positivista de Copenhague?

Ao explicitar, entretanto, de “qual fóton” estamos falando, estamos evidenciando que o fóton não existe enquanto um ente objetivo, universal e

independente. Ele somente existe mediante a articulação de sua rede. Discutir tal relação, mais uma vez, vai de encontro ao esforço da comunidade científico de apagar as ligações entre um actante e a rede que o articulou. Ao adotar uma perspectiva ontológica latouriana, deve-se ter clareza que a Educação em Ciências estará se posicionando axiologicamente de forma contrária à própria atividade científica. Isso não significa, entretanto, se opôr à ciência ou mesmo a desmerecer. Pelo contrário, a Educação em Ciências, ao adotar tal perspectiva, tem a oportunidade de valorizar a ciência pelo que ela faz e não pelo que os epistemólogos absolutistas gostariam que ela fizesse.

iii) Apresentação das redes – Revendo a perspectiva CTS na Educação em Ciências

É muito comum, na área de Educação em Ciências, falarem sobre a necessidade de “contextualizar” o ensino. A forma com que tal implementação vem sendo feita, entretanto, parece sustentar a dicotomia natureza-sociedade exposta por Latour, ou seja, pinta-se um cenário histórico ou sociológico, muitas vezes de forma pitoresca, ao redor do “fato científico”. Livros didáticos falam por exemplo em tom anedótico ou trazem uma suposta contextualização CTS, a qual reforça o mito da linearidade e da superioridade tecnocrática (LIMA, OSTERMANN, *et al.*, 2017)

Assim, muitos educadores entendem que estão fazendo um ensino CTS quando na verdade estão reforçando visões simplistas sobre a ciência. Entendemos que tal proposta deve ser superada. O Ensino CTS deve pautar-se em uma reflexão profunda e consistente sobre a natureza da realidade e da ciência. Não existem respostas simples. Somente e partir dessa visão de mundo é possível discutir relações ciência, tecnologia, sociedade sem recair em posicionamentos ingênuos. Na literatura em Educação em Ciências, encontramos apenas um trabalho em que isso é feito. Faria e Coutinho (2015) analisam o Projeto Apolo utilizando a cartografia das Controvérsias (VENTURINI, 2009).

iv) Formar uma tribo de leitores-escritores

De acordo com Latour e Woolgar (1988), um dos elementos que caracteriza os cientistas é sua forma peculiar de escrever textos. Um dos objetivos da Educação em Ciências poderia ser, portanto, introduzir os alunos a esse tipo de escrita. Ao invés de submetê-los a listas infundáveis de exercícios algorítmicos, a Educação de Ciências pode voltar-se à prática e ao desenvolvimento da leitura e escrita científica, sem com isso recair em uma perspectiva de ciência objetiva, neutra e universal. Oliveira e Queiroz (2015), por exemplo, elaboraram um mapa de caracterização do texto científico. Uma possibilidade de aplicação didática seria a discussão dos elementos textuais presentes nesse mapa e a produção de textos que contemplem tais características.

7. Considerações Finais

Neste trabalho apresentamos as ideias basilares do pensamento de Bruno Latour, focando, principalmente, em seus pressupostos ontológicos. Tentamos mostrar que Latour se afasta tanto da noção de corte epistemológico de Bachelard como do Programa Forte de Bloor, pois ambos se aliam a algum tipo de visão assimétrica sobre a realidade.

Partindo do conceito de Antropologia Simétrica, mostramos que natureza e sociedade deixam de ser os polos ontológicos que explicam a realidade e se tornam aquilo que deve ser explicado. Quando observamos fenômenos criados em laboratório, por exemplo, estamos diante de um híbrido, um quase objeto resultado de práticas naturais, sociais e discursivas. Olhando para esse híbrido e investigando a rede sociotécnica do qual faz parte podemos investigar e chegar a conclusões sobre o que é a sociedade e o que é a natureza do qual ele faz parte.

Discutimos que a modernidade se fundou negando a existência dos híbridos e da prática de mediação; separando, por consequência, os polos da natureza e da sociedade. Mostramos, entretanto, que, na prática, tal postura não se sustenta, já que o trabalho do cientista é um trabalho de mediação entre os diferentes atores da rede sociotécnica. Com essa visão, interpretamos o Livro *A Vida de Laboratório* mostrando que Latour faz exatamente o que propõe sua visão não moderna, estudando um híbrido (TRD) e sua rede empiricamente e formulando conclusões sobre o que é a prática científica. Latour descreve os

cientistas como leitores-escritores que têm por objetivo convencer seus leitores usando referentes externos.

A partir disso, propusemos a necessidade de uma profunda revisão dos objetivos, dos conteúdos e dos métodos utilizados no Educação em Ciências. Há que se questionar o ensino de teorias fechadas como caixas pretas, na perspectiva da ciência em ação. Um caminho promissor é buscar traçar as redes, observando processos, que evitem contextualizações sociais rasas e inúteis, que não reifiquem o contexto social, mas que assumam todo contexto como um contexto.

8. Agradecimentos

Agradecemos ao colega Estevão Antunes Jr. pela contribuição ao artigo bem como aos alunos da disciplina de História da Física e Epistemologia do primeiro semestre de 2017 na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

9. Referências Bibliográficas

ALLCHIN, D. Scientific myth-conceptions. **Science Education**, v. 87, n. 3, p. 329-351, 2003.

_____. Pseudohistory and Pseudoscience. **Science & Education** v. 13, p. 179-195, 2004.

ALSOP, S.; FAWCETT, L. After this nothing happened. **Cultural Studies of Science Education**, v. 5, p. 1027-1045, 2010.

AQUINO, T. **O Ente e a Essência**. Porto: Edições Contraponto, 1995.

BACHELARD, G. **A filosofia do não**. São Paulo: Abril Cultural, 1978.

_____. **A Formação do Espírito Científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

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

BARNACLE, R.; MEWBURN, I. Learning networks and the journey of 'becoming doctor'. **Studies in Higher Education**, v. 35, n. 4, p. 433-444, 2010.

BLOOR, D. **Sociologie de la logique ou es limites de l'épistemoogie**. Paris: Éditions Pandora, 1982.

BUNGE, M. **Física e Filosofia**. São Paulo: Perspectiva, 2013.

CARSON, R. **Silent Spring**. Robbinsdale: FAWCETT PUBLICATIONS, 1994.

COLUCCI-GRAY, L. Beyond evidence: a critical appraisal of global warming as a socio-scientific issue and a reflection on the changing nature of scientific literacy in school. **Cultural Studies of Science Education**, v. 9, p. 633-647, 2014.

CREF. **Os farasantes pós-modernistas**. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=986>>. Acesso em: 23 de maio de 2017.

DODICK, J.; ARGAMON, S.; CHASE, P. Understanding Scientific Methodology in the Historical and Experimental Sciences via Language Analysis. **Science & Education**, v. 18, n. 8, p. 985-1004, 2008.

EINSTEIN, A. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. **Annalen der Physik**, v. 17, n. 132, 1905.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1985.

ELLIOTT, S.; YOUNG, T. Nature by Default in Early Childhood Education for Sustainability. **Australian Journal of Environmental Education**, v. 32, n. 01, p. 57-64, 2015.

FARIA, E. S.; COUTINHO, F. A. Educação científica em ação: a cartografia de controvérsias como prática de cidadania técnico-científica. **Caderno de Pesquisa**, v. 22, n. 3, p. 133-147, 2015.

GIL-SALOM, L.; SOLER-MONREAL, C. Interacting with the Reader: Politeness Strategies in Engineering Research Article Discussions. **international Journal of English Studies**, n. Special Issue, p. 175-189, 2009.

HARMAN, G. **Prince of Networks: Bruno Latour and Metaphysics**. Melbourne: re.press, 2009.

IORIO, J. M.; HAMM, C.; PARNELL, W.; QUINTERO, E. Place, matters of concern, and pedagogy: Making impactful connections with our planet. **Journal of Early Childhood Teacher Education**, v. 38, n. 2, p. 121-135, 2017.

KIRCH, S. A.; MA, J. Y. The relationship between passibility, agency and social interaction and its relevance for research and pedagogy. **Cultural Studies of Science Education**, v. 11, n. 4, p. 1103-1113, 2016.

KUHN, T. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1978.

LAKATOS, I. **La Metodologia de los programas de investigacion científica**. Salamanca: Alianza Universidad, 1984.

LATOURE, B. A Relativistic Account of Einstein's Relativity. **Social Studies of Science**, v. 18, p. 42, 1988.

_____. **Pandora's Hope - Essays on the Reality of Science Studies**. Cambridge: Harvard University Press, 1999.

_____. **Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network Theory**. Oxford: Oxford University Press, 2005.

_____. **Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora**. 2. ed. São Paulo: Unesp, 2011.

_____. **Jamais Fomos Modernos**. 3. ed. São Paulo: Editora 34, 2013.

_____. **Biography**. Disponível em: <<http://www.bruno-latour.fr/biography>>. Acesso em: 23 de maio de 2017.

LATOURE, B.; WOOLGAR, S. **La vie de laboratoire: la Production des faits scientifiques**. Paris: La Découverte, 1988.

_____. **A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

LIMA, N. W.; ANTUNES, E.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. A História do Fóton em Livros de Física. **Enseñanza de las Ciencias**, v. extra, p. 1953-1957, 2017a.

_____. Uma Análise Bakhtiniana dos Enunciados Sobre o Efeito Fotoelétrico em Livros Didáticos do Ensino Superior. **Enseñanza de las Ciencias**, v. extra, p. 1947-1951, 2017b.

LIMA, N. W.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM2015. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 435-459, 2017.

MARTINS, R. D. A.; ROSA, P. S. **História da teoria quântica - a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

MELO, M. D. F. A. D. Q. A pipa e os quatro significados da mediação sociotécnica: articulações possíveis entre a Educação e a Psicologia para o estudo de um brinquedo. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 10, n. 2, p. 1-18, 2010.

NELSON, M. **Existence**. Disponível em: <<https://plato.stanford.edu/entries/existence/>>. Acesso em: 13 de julho de 2017.

OLIVEIRA, J. R. S.; QUEIROZ, S. L. ELABORAÇÃO DE UM MAPA DE CARACTERIZAÇÃO DO TEXTO CIENTÍFICO: REFERENCIAIS TEÓRICOS E APLICAÇÃO EM DESTAQUE. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 20, n. 1, p. 142-166, 2015.

PALHARINI, L. Conhecimento disciplinar: (im)possibilidades do discurso sobre a problemática ambiental. **Pesquisa em Educação Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 29, 2012.

POPPER, K. **Conjecturas e Refutações**. 5. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2008.

QUEIROZ, S. L.; ALMEIDA, M. J. P. M. DO FAZER AO COMPREENDER CIÊNCIAS: REFLEXÕES SOBRE O APRENDIZADO DE ALUNOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM QUÍMICA. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 10, n. 1, p. 41-53, 2004.

SARTRE, J. P. **Existentialism is a Humanism**. New Haven: Yale University Press, 2007.

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

SLEZAK, P. Sociology of Scientific Knowledge and Scientific Education: Part I. **Science&Education**, v. 3, p. 30, 1984.

SOKAN, A. D.; BRICMONT, J. **Imposturas Intelectuais**. 4. ed. Rio de Janeiro: Record, 2010.

SOLBRÆKKE, K. N.; SOLVOLL, B.-A.; HEGGEN, K. M. Reframing the field of gender and nursing education. **Gender and Education**, v. 25, n. 5, p. 640-653, 2013.

STETSENKO, A. From relational ontology to transformative activist stance on development and learning: expanding Vygotsky's (CHAT) project. **Cultural Studies of Science Education**, v. 3, n. 2, p. 471-491, 2008.

STRAUSS, L. **La Pensée Sauvage**. Paris: Plon, 1962.

_____. **Race et Histoire**. Paris: Danoël, 1987.

TAKAO, A. Y.; KELLY, G. J. Assessment of Evidence in University Students' Scientific Writing. **Science & Education**, v. 12, p. 341-363, 2003.

VENTURINI, T. Diving in magma: how to explore controversies with actor-network theory. **Public Understanding of Science**, v. 19, n. 3, p. 258-273, 2009.

VIANNA, D. A.; CARVALHO, A. M. P. DO FAZER AO ENSINAR CIÊNCIA: A IMPORTÂNCIA DOS EPISÓDIOS DE PESQUISA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 6, n. 2, p. 111-132, 2001.

WERTSCH, J. **Voices of the mind: a sociocultural approach to mediated action**. Cambridge: Harvard University Press, 1992.

3. Segundo Artigo Original

A Perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade à luz dos Estudos da Ciência de Bruno Latour: Quadro Teórico e Revisão de Literatura em Educação em Ciências

Resumo:

Neste trabalho fazemos uma apresentação dos Estudos da Ciência de Bruno Latour, relacionando sua perspectiva ao movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade. Privilegiamos, em nossa abordagem, sua concepção ontológica-epistemológica e apresentamos os principais elementos de sua proposta: a Sociologia da Tradução, a Antropologia Simétrica, a Filosofia das Proposições e a Teoria Ator-Rede. Apresentamos, também, uma revisão de literatura nacional e internacional especificamente em Educação em Ciências sobre trabalhos que adotam suas obras como referencial teórico. Mapeamos, nos artigos analisados, os trabalhos e os termos de Latour mais utilizados, bem como quantificamos a sua utilização em cada artigo. Fizemos, também, uma análise interpretativa dos artigos, identificando quais premissas metodológicas de Latour são violadas. Nossos resultados apontam que ainda existem poucos artigos na área de Educação em Ciências com ampla apropriação da obra de Latour tanto em relação ao uso da sua terminologia quanto à consistência com sua visão de mundo, o que indica a existência de uma profícua área de pesquisa a ser explorada.

Palavras-chave: Estudos da Ciência; CTS; Latour; Educação em Ciências.

Abstract:

In this work, we introduce Bruno Latour's Science Studies, correlating his perspective to the Science, Technology Society movement. We focused on his ontological-epistemological conception and we presented the main elements of his approach: Sociology of Translation, Symmetrical Anthropology, Philosophy of Propositions and Actor-Network Theory. We also present a review on national and international literature specifically in Science Education considering the papers that adopt his works as theoretical reference. We mapped Latour's works and terms used in the papers as well as quantified its use in each work. We have also performed an interpretive analysis of the papers, identifying which methodological premises of Latour are violated. Our results point out that there are still few articles in Science Education with broad domain of Latour's work in terms of terminology usage and consistency with his worldview. This indicates the existence of a plenteous research area to be explored.

Keywords: Science Studies; STS; Latour; Science Education.

1. Introdução

O final do século XIX e o início do século XX são marcados pela ascensão do cientificismo na sociedade moderna e da filosofia positivista na ciência. No discurso de demarcação e significação epistemológica, estabeleceu-se o privilégio do Empirismo, como o que ocorre no *Tractatus* de Wittgenstein (1968) e nas obras do Círculo de Viena (Goldstein, 2008, p. 62). Ainda, a crença na racionalidade científica motivou a concepção de homem moderno, civilizado e científico em oposição a um passado irracional, mítico, não civilizado, como aparece comumente em obras de pensadores como Nietzsche (2012) e Bachelard (1978, 1996).

Tal visão sobre a superioridade da ciência em comparação a outras formas de conhecimento, seja ela apoiada por pressupostos empiristas ou racionalistas (Feyerabend, 2011) – como na epistemologia de Popper (2008) – também subsidiou a formação de concepções de ciência típica do discurso moderno, atribuindo-lhe características como neutralidade e linearidade (Deconto, 2014), além de promover uma visão salvacionista da humanidade (Santos & Mortimer, 2000).

A partir da década de cinquenta, entretanto, o clima de euforia com relação ao ideal científico passou a ser paulatinamente desacelerado em favor de um sentimento de descrença e desmotivação com relação não só à ciência, mas à humanidade – marcando o início de um período pós-modernista (Lopes, 2013). A partir da década de sessenta, os impactos da segunda guerra mundial, incluindo o avanço da ciência nuclear e sua inata miscigenação com interesses geopolíticos (Deconto, 2014), bem como estudos ambientalistas (Carson, 1994), permitiram a formação de um contexto em que o ideal cientificista (e os mitos a ele atrelados) pudesse ser colocado sob suspeição⁷.

No campo da epistemologia, especificamente, a proposição de visões não absolutistas, como a defendida em *A Estrutura das Revoluções Científicas* (Kuhn,

⁷ Ainda que a consolidação da área Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) seja motivada pelos resultados da Guerra, existem obras anteriores a esse período, como os trabalhos de Robert Merton. Ainda, do ponto de vista filosófico, outros pensadores já haviam refletido sobre problemas correlatos como Marx e Heidegger.

1978) exemplifica justamente o surgimento da possibilidade de se pensar sobre a ciência fora do objetivismo ontológico e epistemológico herdados da modernidade, permitindo a reflexão sobre a ciência em suas relações com a sociedade e com a cultura.

Contextualizando o surgimento da área de Sociologia da Ciência, Latour e Woolgar (1988) apontam, por exemplo, estudos sobre instituições científicas e a concorrência entre pesquisadores (Lemaine & Matalon, 1969; Bourdieu, 1976), sobre a evolução das disciplinas (Lemaine & Matalon, 1969) e sobre psicologia da ciência (Mitroff, 1974). Tais trabalhos, entretanto, apesar de versarem sobre o contexto científico, nada tinham a dizer sobre o seu conteúdo. Isto é, os sociólogos e antropólogos investigavam o contexto que cerca o cientista, mas não se debruçavam sobre o produto de seu trabalho (Latour, 2013).

Tal cenário mudou com a fundação do Programa Forte da Sociologia (PFS) (Bloor, 1982, 1991), para o qual tanto o conhecimento verdadeiro quanto o falso podem ser tratados simetricamente (Princípio da Simetria), buscando-se uma explicação social para a origem de ambos (Princípio da Causalidade). A proposição do PFS e de linhas neo-marxistas promoveu o desenvolvimento de diversas pesquisas na confluência entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), desenvolvida por pesquisadores como o próprio David Bloor, Michel Callon, Steven Shapin, Pierre Bourdieu, entre outros (Premebida *et al.*, 2011).

A área de Educação não se manteve alheia ao desenvolvimento dessa perspectiva e, a partir das décadas de 70 e 80, diferentes iniciativas pedagógicas com um olhar crítico sobre as relações entre ciência, tecnologia e sociedade começaram a desenhar o que chamamos, hoje, de Perspectiva CTS⁸ (Deconto, 2014). Deve-se atentar, entretanto, que, apesar de homônimos, tratam-se de movimentos distintos: o primeiro é o movimento de pesquisa sobre a própria produção científica e tecnológica sob a luz de uma visão sociológica (vamos chamá-lo de CTS); e o segundo, o movimento educacional (vamos chamá-lo de CTS na Educação).

No âmbito da Educação em Ciências, pode-se identificar uma série de publicações que enfatizam a introdução da Sociologia da Ciências no âmbito didático (collins, 2006; Zemplén, 2007; Allchin, 2014) e, muitas vezes, a

⁸ Deconto presume que a área recebe o nome após um artigo seminal de John Ziman.

perspectiva CTS na Educação apresenta sua proposta didática com o objetivo de promover uma formação cidadã para a democracia (Santos & Mortimer, 2000), valendo-se de conceitos como letramento e alfabetização científica (Chassot, 2003; Oliveira, 2010). O termo “Perspectiva CTS na Educação” é, assim, utilizado não para especificar uma única matiz teórica, mas para designar um conjunto heterogêneo de tendências teóricas, metodológicas e didáticas que se opõem à concepção tradicional de ciência⁹, podendo englobar um vasto espectro de referenciais teóricos, como Marx (Lima Junior *et al.*, 2014a), Paulo Freire (Zaiuth & Hayashi, 2011) e David Bloor (Bagdonas *et al.*, 2014).

Neste cenário complexo e diversificado, Bruno Latour é um sociólogo, filósofo e antropólogo francês da área CTS (Latour, 2013). É considerado um dos nomes mais proeminentes e controversos da área de Estudos (Sociológicos) da Ciência (Zemplén, 2007). Embora nunca tenha falado sobre Educação em Ciências, seu nome aparece em um artigo seminal sobre a Perspectiva Sociocultural na Educação de Ciências (Lemke, 2001), junto a nomes tradicionais como Vygotsky e Paulo Freire, como uma possibilidade teórica alinhada a essa perspectiva.

No âmbito da Educação em geral, a literatura já lança mão da obra de Bruno Latour para discutir diversas questões (Barnacle & Mewburn, 2010; Elliott & Young, 2015; Kirch & Ma, 2016), bem como o uso da linguagem (TAKAO & KELLY, 2003; Dodick *et al.*, 2008; GIL-SALOM & SOLER-MONREAL, 2009), problemas ambientais e de sustentabilidade (Palharini, 2012; Colucci-Gray, 2014; Iorio *et al.*, 2017), e questões pós-colonialistas e feministas (Alsop & Fawcett, 2010; Solbrække *et al.*, 2013).

Apesar de essas publicações em Educação tratarem de temas extremamente importantes em que a obra de Latour pode apresentar uma profícua contribuição, elas não atingem aquilo que Latour julga ser o coração de sua contribuição para a área.

Sua obra avança na possibilidade de se olhar para a natureza simetricamente à sociedade rompendo com as visões modernas cristalizadas na epistemologia e na sociologia hegemônicas. Através dessa mudança de

⁹ Para uma apresentação extensiva dos temas e abordagens que orbitam o enfoque CTS na Educação, sugerimos o trabalho de Melo *et al.* (2016). Deve-se notar que Bruno Latour não é nem citado neste trabalho.

perspectiva ontológica-epistemológica, Latour é capaz de estudar a prática científica sem ter que descrever a demarcação entre conteúdo e contexto científico, como faziam os primeiros sociólogos da ciência. Para ele, o próprio produto da ciência (a natureza) se torna objeto de uma sociologia expandida e a própria sociedade se torna objeto de uma metodologia de pesquisa simétrica. Tais questões de cunho ontológico e epistemológico usualmente não são problematizados nos artigos em Educação¹⁰.

Ademais, tal peculiaridade da proposta latouriana torna-a um referencial especialmente atraente para áreas que atuam na interface entre ciências humanas e naturais, como a Educação em Ciências (Ostermann *et al.*, 2016) – pois é justamente sobre essa convolução entre humanos e não-humanos que Latour se debruça.

O primeiro objetivo deste trabalho é fazer uma apresentação geral das concepções de Bruno Latour, trazendo à tona as questões ontológicas e epistemológicas centrais de sua obra. O segundo objetivo desse trabalho é apresentar uma revisão de literatura nacional e internacional estritamente no contexto da pesquisa em Educação em Ciências. Mapeamos as obras e os termos de Bruno Latour mais usados pela área, investigamos a apropriação lexical de cada trabalho e interpretamo-los, avaliando se são coerentes com as premissas metodológicas problematizadas na primeira parte do artigo.

Na seção 2, fazemos uma apresentação dos principais conceitos da obra de Latour, privilegiando suas propostas ontológicas. Na seção 3, apresentamos o método de revisão de literatura empregado neste trabalho. Na seção 4, os resultados, e, na seção 5, as conclusões.

2. Os Estudos da Ciência de Bruno de Latour

¹⁰ Com relação às questões ontológicas na Educação em Ciências, Stetsenko (2008) discute a necessidade de a Perspectiva Sociocultural romper com a ontologia kantiana, que separa os objetos-em-si dos egos transcendentais, passando para uma ontologia da relação, principalmente pautada nas ideias de Vygotsky (Wertsch, 1985; Lima Junior *et al.*, 2014b; Vygotsky, 2015). A partir da apresentação de Stetsenko a visão ontológica de Latour parece estar consonante com a perspectiva de Vygotsky, o que pode indicar a possibilidade de aproximação entre esses dois autores. O conceito de mediação, por exemplo, é detalhadamente explorado por ambos e tal intersecção já foi discutida na literatura em Educação (Melo, 2010), mas não na literatura de Educação em Ciências.

Nesta seção, apresentamos conceitos fundamentais dos Estudos da Ciência de Latour, enfatizando aquilo que o próprio autor toma como o coração de sua contribuição para a área CTS: os aspectos ontológico-epistemológicos. Começamos apresentando, na seção 2.1, uma breve caracterização da visão moderna de acordo com as concepções de Latour (Latour, 1999b, 2013). Na seção 2.2., apresentamos sua proposta ontológico-epistemológica baseada na Filosofia das Proposições (Whitehead, 1979; Latour, 1999b) e na Sociologia da Tradução (Callon, 1986; Latour, 1999b, 2013). Na seção 2.3., comentamos dois de seus estudos empíricos (Latour & Woolgar, 1988; Latour, 1999b) ressaltando questões metodológicas e, na seção 2.4, apresentamos a Teoria Ator-Rede (Latour, 2005; Venturini, 2009; Latour *et al.*, 2012) e os testes descritos por Latour para analisar se uma pesquisa está em consonância com sua visão.

2.1. A caracterização do Mundo Moderno

A modernidade normalmente é associada a movimentos como o Humanismo e o Iluminismo. De acordo com Latour, entretanto, a narrativa usual omite o fato de que, ao mesmo tempo em que nasce tal “homem humano”, nasce, também, a não-humanidade das coisas, dos objetos ou das bestas (Latour, 2013, p. 19). A modernidade, assim, funda-se sobre uma assimetria metafísica: os homens têm sua “humanidade” garantida, uma humanidade complexa, colorida, multifacetada, polissêmica, com capacidade de agência, enquanto que aos objetos é relegada uma realidade morta, inerte, “cinza”, sem agência, única e objetiva.

Apesar da separação abstrata entre natureza e sociedade presente no discurso moderno, sua prática, representada pela prática da ciência, permite a proliferação de um tipo estranho de entes – os híbridos – os quais são negados pelo próprio discurso que permite sua criação. Um objeto “descoberto” em um laboratório, por exemplo, não pertence ao real dado, como diria Bachelard (1978), ele precisa ser articulado por uma fenomenotécnica, que demanda recursos naturais, sociais e semióticos. O ente produzido no laboratório não é independente da rede sociotécnica que o cria e, por isso, ele só existe como um híbrido desses três elementos (natureza, sociedade e discurso). Após articulá-lo, entretanto, o cientista dirá que o descobriu, como se ele sempre estivesse lá.

A identificação de um hormônio, por exemplo, só é possível mediante o resultado de inscrites¹¹ (Latour & Woolgar, 1988) que mobilizam actantes¹² não-humanos, bem como da interpretação das inscrições à luz de teorias humanas expressas verbalmente. Sobre o vírus da AIDS, por exemplo, Latour discute:

O menor vírus da AIDS nos faz passar do sexo ao inconsciente, à África, às culturas das células, ao DNA, a São Francisco; mas os analistas, os pensadores, os jornalistas e todos os que tomam decisões irão cortar a fina rede desenhada pelo vírus em pequenos compartimentos específicos, onde encontraremos apenas ciência, apenas economia, apenas representações sociais, apenas generalidades, apenas piedade, apenas sexo. (Latour, 2013, p. 8)

A modernidade, portanto, se funda sobre uma contradição entre seu discurso e sua prática, o que motiva a proposição da noção de uma “ciência oficial” e uma “ciência oficiosa” (Latour, 2013). O discurso “oficial” diz que separamos os objetos não-humanos (natureza) da sociedade, enquanto que na prática “oficiosa” os conectamos cada vez mais. E, ainda, é, justamente, a negação da construção dos híbridos que permite sua proliferação. Ao negar que a prática científica afeta a organização social (pois cuida só da natureza), permitimos que os cientistas produzam, de forma descontrolada, os híbridos cuja existência negam e, assim, criam novas conexões entre natureza e sociedade. Historicamente, a distinção ontológica entre natureza e sociedade tem como um dos seus marcos iniciais a formação do paradigma da dualidade mente-corpo proposta por Descartes (Latour, 1999b) e, posteriormente, sua consolidação na dicotomia sujeito-natureza dentro do ideal científico formulado por Kant (Latour, 1999b, 2013): os objetos-em-si são inacessíveis ao ego transcendental (Kant, 2000). Na filosofia kantiana, o encontro entre os seres e os objetos só é possível mediante um intermediário – o fenômeno. Nessa proposição, somos enclausurados em nossas próprias cognições, cuja validade só é garantida pelo forçoso preço de um juízo *a priori* (Latour, 1999b).

¹¹ Inscrites são instrumentos que produzem inscrições, as quais, por sua vez, são entendidas como “transformações que materializam uma entidade num signo, num arquivo, num documento, num pedaço de papel, num traço” (Latour, 1999b).

¹² Actante também pode ser chamado de ator, termo proveniente de estudos semióticos. Como ator normalmente é usado para humanos, cunhou-se o termo actante para referir-se a qualquer ente. “Em vez de começar com entidades que já compõe o mundo, os Estudos da Ciência enfatizam a natureza complexa do que seja, para um ator, chegar à existência. O segredo é definir um ator pelo que ele faz, sua performance”.

O abismo ontológico que separa o mundo-em-si (natureza) das representações simbólicas (pertencentes ao “mundo” social da linguagem dos egos transcendentais) cria uma implicação epistemológica. A ciência, por mais que tente chegar no objeto-em-si, está enclausurada no mundo da linguagem. A falsidade de uma sentença científica, entretanto, pode ser verificada por um teste de correspondência com os entes do mundo – como na Teoria da Verdade de Tarski (Popper, 2008). Essa proposta ontológica-epistemológica dos modernos pode ser representada pelo diagrama da figura 1. Assim, no discurso moderno, um ente proposto por uma teoria é verdadeiro se podemos encontra-lo na natureza, da mesma forma que a frase “há um cachorro na porta” é verdadeira se formos até a porta e encontrarmos um cachorro. Nesse caso, dizemos que a afirmação era um conhecimento sobre a situação. Por outro lado, se chegarmos na porta e não encontrarmos nenhum cachorro, dizemos que tínhamos uma crença, mas não um conhecimento, sobre a situação. Dessa forma, a assimetria entre natureza e sociedade permite criar uma assimetria entre conhecimento e crença. Tal relação conecta ontologia (metafísica) e epistemologia, inter-relação omitida pelos “epistemólogos modernos”, que lançam a metafísica a um plano secundário (Latour, 1999b).

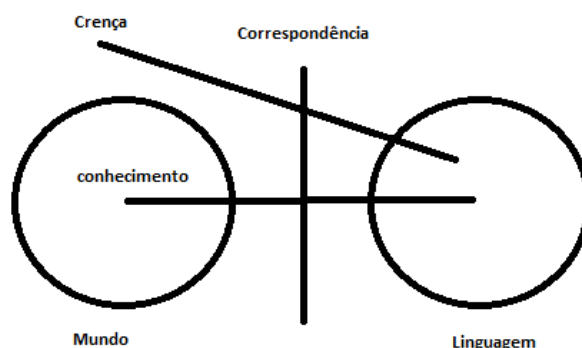


Figura 1: Adaptado de (Latour, 1999b). De um lado, temos o mundo dos objetos em si. Do outro, o mundo da linguagem e dos símbolos. Uma sentença é dita verdadeira se ela encontra correspondência com o mundo das coisas em si e pode ser chamada de conhecimento. Uma sentença que não encontra correspondência no mundo dos objetos em si, não passa de uma crença.

A partir da perspectiva moderna, assimétrica ontológica e epistemologicamente, a ciência evolui (ou o conhecimento humano) aumentando o número de sentenças verdadeiras ou, pelo menos, diminuindo as afirmações falsas como propõe Popper (2008). Isso implica que, com o passar do tempo, conseguimos formar uma ideia cada vez mais clara do que seja esse mundo das

coisas-em-si. Isso é feito pela constante depuração do subjetivo em relação ao objetivo. Quando conseguimos identificar quais são os aspectos subjetivos e, portanto, não confiáveis ou falsos do conhecimento e conseguimos os expurgar, chegamos mais próximo de um conhecimento objetivo do “mundo real”.

É através desse processo de purificação que os modernos dizem separar todos os eventos em dois polos ontológicos: a natureza (a realidade objetiva) e a sociedade (a realidade subjetiva). O problema, como mencionamos antes, é que, no laboratório, os objetos “descobertos” são, na verdade, articulados, e os entes nunca são pertencentes somente à natureza; mas são híbridos de natureza, discurso e sociedade. Assim, o ideal científico de depurar a natureza da sociedade é uma falácia; a ciência faz justamente o contrário, conecta natureza e sociedade cada vez mais.

2.2. Uma Ontologia-Epistemologia não-moderna: a Filosofia das Proposições e A Sociologia Simétrica

Uma vez caracterizado o discurso ilusório do mundo moderno, a primeira pergunta que pode aparecer é, “se não conseguimos caracterizar uma natureza objetiva usando critérios de correspondência, então toda produção científica não passa de uma mera ficção?” A resposta de Latour é categórica: não! O produto da ciência é, sim, uma construção; mas isso não o torna menos real. Pelo contrário, quanto mais a ciência constrói seus fatos, mais reais eles se tornam.

A visão de Latour pode ser rotulada como não essencialista. Isto é, ele não acredita que exista uma essência na natureza prestes a ser descoberta. Os atores (ou actantes) são construídos pela articulação com outros actantes. A natureza não precisa ser entendida como um jogo de soma zero, isto é, não precisamos nos limitar à pobreza de um mundo de coisas-em-si com um número finito de objetos para serem descobertos. A realidade é muito mais complexa do que isso, e a ciência produz proposições muito mais complexas do que a afirmação de que um cachorro está na porta.

Tal visão ontológica pode ser explicada em termos da Filosofia das Proposições de Whitehead (1979). Proposições¹³ não são sentenças, são actantes (ou atores) e sua única propriedade *a priori* é que elas existem através da articulação uma com as outras (Latour, 1999b). Imagine a seguinte situação: uma certa amostra que queremos caracterizar (proposição 1) é mobilizada por um inscritor, como um microscópio eletrônico, (proposição 2), formando uma inscrição (proposição 3). À luz de uma teoria (proposição 4), um cientista (proposição 5) observa que aquela amostra, quando mobilizada daquela forma específica, apresenta um determinado comportamento (uma *performance*). Tal resultado, isoladamente, não é suficiente para caracterizarmos a proposição 1, mas apenas como ela se comporta em uma situação específica. Na sequência, essa mesma amostra pode ser mobilizada em outros inscritores, fornecendo novas *performances*. Tudo a que temos acesso são as performances e nunca os actantes. Depois de n testes de laboratório, tudo o que temos são n performances resultantes da articulação da amostra (uma proposição) com os inscritores (outras proposições) de cada teste:

Teste 1: Amostra (Proposição 1) + *Inscritor*₁ → *Performance*₁

Teste 2: Amostra (Proposição 2) + *Inscritor*₂ → *Performance*₂

Teste n: Amostra (Proposição n) + *Inscritor*_n → *Performance*_n

Feito isso, o cientista, à luz das teorias que conhece, é capaz de preencher as lacunas e propõe a existência de um novo actante que explica o que foi observado (um microorganismo, por exemplo). Mas quem é esse actante? É o rótulo fornecido para o conjunto de *performances* obtidas mediante a articulação de muitas proposições. Se qualquer uma das proposições não fosse articulada, não teríamos as n performances para caracterizar o actante. Se novos testes forem feitos, novas *performances* podem ser acopladas àquele actante, de forma que aquilo que ele é (sua essência) não existe de forma acabada, mas em constante construção.

Não existe uma essência pré-existente, acabada em si mesma, pronta para ser revelada. Somente mediante a articulação de diferentes proposições (inscritores, teorias, cientistas) é que o actante pode “aparecer”. Sua existência

¹³ O termo proposição, assim como actante, pode ser usado para designar elementos que, na visão moderna, são classificados como objetos da natureza, da sociedade ou do discurso.

depende da rede que o articula. Quanto mais proposições forem articuladas, maior será a existência de tal proposição¹⁴.

Imagine, agora, que se descobre que o aparelho usado para o teste 1 estava contaminado, o aparelho do teste 2 estava descalibrado, a teoria usada para interpretar o teste 3 foi invalidada por outra descoberta e assim sucessivamente. Aos poucos, o nosso actante, tão real, perde toda sua existência. Se a rede que sustenta uma determinada proposição for desarticulada, aquela proposição chega a um fim, seja ela uma proposição humana ou não-humana. Assim, todo ator/actante/proposição só existe mediante a articulação com outros atores/actantes/proposições. Sua existência tem data de início e, também, pode chegar a um fim. A natureza não é algo que sempre existiu e para sempre existirá. Ela é tão repleta de historicidade quanto a própria humanidade. Não precisamos mais pensar que a natureza é algo objetivo, independente, que existe “lá”, esperando para ser descoberta. A “natureza” é aquilo que articulamos.

Assim, por exemplo, Latour descreve a “descoberta do ácido láctico” como a articulação do ácido láctico por diferentes proposições, como Pasteur e o fermento. Pasteur (humano) e o fermento (não-humano) se articulam, mobilizando o ácido láctico (Latour, 1999b). Antes dessa articulação, não havia o ácido láctico, depois dela há. E, mais, se parar de ser articulado, o ácido láctico deixa de existir (Latour, 1999b). Para se poder fazer fermentação com ácido láctico é necessário que toda uma rede laboratorial seja construída. Se, hoje, perdêssemos todo o conhecimento de práticas laboratoriais que temos, é possível que a tese do surgimento espontâneo voltasse a existir entre nós (Latour, 1999b). O número de atores que compõe a realidade, portanto, muda com avanço da prática científica, a qual pode criar novos atores e destruir antigos. Ao fazer isso, criamos, pelo menos, duas simetrias inexistentes no mundo moderno.

A primeira simetria é entre conhecimento e crença. Uma vez que proposições existem mediante a articulação com outras proposições, podemos dizer que cada proposição tem um intervalo espaço-temporal de validade (justamente a rede utilizada para articular aquela proposição). Quanto mais

¹⁴ Existência não é mais uma propriedade binária (existe ou não existe), mas corresponde a um espectro de possibilidades. Existência é uma propriedade relativa. Existir é existir para a rede.

proposições forem articuladas a uma proposição, maior será seu envelope espaço-temporal de validade. Um cientista em um laboratório, por exemplo, quer afirmar a existência de um hormônio. Se ele simplesmente fizer isso, o hormônio, enquanto proposição, não terá um envelope espaço-temporal de validade significativo. Se, por outro lado, o cientista for capaz de produzir diversas inscrições, fazendo suas interpretações à luz de teorias fortes e com credibilidade, o hormônio será uma proposição altamente articulada e, portanto, com um envelope espaço temporal de validade muito maior. No exemplo que demos anteriormente, o envelope espaço temporal de validade do actante articulado se estende pela rede dos n testes realizados. Se mais testes forem feitos no sentido de articular a existência de tal actante, maior será seu envelope. Se, por outro lado, os testes forem sendo desarticulados, o actante terá seu envelope reduzido.

Um moderno diria que o cientista descobriu o hormônio e que esse sempre esteve lá; Latour diria que o hormônio foi articulado por teorias e experimentos. Quanto mais proposições forem usadas, ou seja, mais construído o hormônio for, mais “real” ele será. E, por isso, a construção é que permite a realidade dos objetos científicos bem como a “veracidade” de uma afirmação – ontologia e epistemologia são fundidos em uma só visão (Latour, 1999b).

Então, a diferença entre o que os modernos chamam de crença e de conhecimento não é que um corresponde ao mundo real e o outro não; mas tão somente que eles têm envelopes espaço-temporais diferentes. Apesar dessa simetria parecer implicar um alto grau de relativismo, visto que reforça o caráter local e temporário de toda proposição, ela nos permite “classificar” as proposições (não porque umas são verdadeiras e outras são falsas) em termos de sua articulação: proposições mais bem articuladas tem maior envelope de validade espaço-temporal.

Podemos usar um exemplo para entender isso: um moderno diria que o modelo de Terra plana é falso enquanto que o modelo de Terra redonda é verdadeiro. Latour percebe esse exemplo de uma forma mais complexa do que tal dicotomia. Terra plana é uma proposição, e como tal, se articula com outras proposições, como textos religiosos, e alguns experimentos aliados a concepções pré-newtonianas. Terra redonda, por sua vez, é uma proposição e, como tal, se articula com outras proposições, como dados empíricos e

experimentos associados a concepções newtonianas. Ontológica e epistemologicamente elas não são diferentes. A diferença, entretanto, se marca quando percebemos que o número de proposições capazes de serem mobilizadas pelo segundo modelo é muito maior do que o primeiro e, portanto, a Terra redonda tem um envelope espaço temporal de validade maior do que o de Terra plana. Enquanto a afirmação de que a Terra é plana pode se sustentar por alguns metros, a afirmação de que a Terra é redonda pode ser articulada em um espaço bem maior; entretanto, a noção de uma Terra redonda também não é universal, tendo um limite de validade, pois não se articula com dados de relevo e de achatamento da Terra, por exemplo.

A segunda simetria criada pela visão de Latour é entre humanos e não-humanos. Uma vez que o conceito de proposição não distingue tipos de seres, podemos investigar a possibilidade de estender propriedades humanas aos não humanos. Latour faz isso, por exemplo, com a historicidade humana: proposições, para existirem, precisam ser articuladas - o que implica, necessariamente, que elas têm uma historicidade, visão distinta da concepção dos modernos, segundo os quais, quando algo é descoberto, ele sempre esteve lá. Assim, o mundo físico, antes de 1905, possuía radiação eletromagnética, mas depois de 1905 passou a ter quanta também, porque esses foram articulados por outras proposições. Não faz sentido falar das proposições independentemente de suas articulações - assim não faz sentido falar na existência de quanta antes de 1905. Essa simetria (entre humanos e não-humanos) nos permite investigar se outras propriedades, normalmente atribuídas a humanos, podem ser estendidas a todas as outras proposições¹⁵.

Nessa visão de mundo em que não se faz distinções entre humanos e não-humanos, as relações entre homens, objetos e signos é muito mais complexa. Por exemplo, no artigo seminal sobre o quantum de radiação, podemos dizer que Einstein, o gás ideal e a Mecânica Estatística de Boltzmann são todas proposições. O quantum, por sua vez, é uma proposição articulada por Einstein, pelos gases ideais e pela Estatística de Boltzmann. Sem Einstein, a equação de entropia sozinha não seria capaz de criar o quantum; mas sem a Mecânica Estatística, tampouco Einstein conseguiria. A posição de autoria é totalmente

¹⁵ Em *Jamais Fomos Modernos* (Latour, 2013), Latour estende, por exemplo, o Princípio existencialista de Sartre (2007) aos objetos não humanos.

simétrica: Einstein propõe o fóton mediado pela Mecânica Estatística e a Mecânica Estatística propõe o fóton mediado por Einstein. Não são só os humanos que têm ação mediada (Wertsch, 1992), os não-humanos se articulam por mediação humana (Latour, 1999b).

A concepção de Latour sobre a mediação posiciona-se, portanto, como uma síntese dialética de duas posições antagônicas: a visão “sociológica” e a materialista. Latour exemplifica tal visão para o caso de uma pessoa portando uma arma. Um defensor da visão sociológica diria, “armas não matam, homens matam.” – ou seja, quem atua é o homem, a arma só é um instrumento da ação humana sem agência alguma. Já uma posição extremamente materialista como a de Heidegger, por exemplo, colocaria o homem como subserviente à arma: nós nos tornamos instrumentos da instrumentalidade.

A visão de Latour não é nenhuma dessas duas posições. Uma arma sozinha não pode matar, mas um homem com uma arma na mão pode sentir o desejo de matar (sendo que antes só tinha vontade de ferir). A arma na mão de um homem não é a mesma arma sem o homem; mas o homem com uma arma na mão também não é o mesmo que o homem sem a arma. O homem e a arma matam. A responsabilidade de um assassinato deve ser compartilhada pelos dois. A ligação entre os dois é tão grande que se deve considerar os dois um único agente homem-armado. Definição semelhante é dada por Wertsch (1992), ao falar da ação mediada a partir de uma perspectiva sociocultural, o que indica um possível ponto de articulação entre os Estudos da Ciência e a Teoria do Desenvolvimento Social da Mente (Wertsch, 1985, 1992; Vygotsky, 2015).

Mais especificamente, Latour define quatro significados para o termo mediação. O primeiro significado da mediação é interferência ou tradução¹⁶ de objetivos. Ela representa a translação, deriva, invenção, a criação de um link que não existia antes da interação entre dois actantes e que em algum grau modifica os dois – ela envolve a incerteza entre a formação de novos objetivos (Latour, 1999b, p. 179).

O segundo significado de mediação é composição. Um primeiro agente tenta atingir um objetivo. Não conseguindo, ele se alia a outro actante, capaz de desenvolver um novo subprograma de ação (o que pode ser feito sucessivamente

¹⁶ O conceito de tradução é discutido na sequência do texto.

até que o conjunto de todos os atores alcance o objetivo inicial). Diferentemente do primeiro caso, em que houve mudança de objetivos, este significado refere-se aos casos em que o actante capaz de atingir um objetivo precisa ser composto. Por exemplo, Einstein sozinho não consegue propor a existência de fótons, mas com a mediação da Física Estatística é possível fazê-lo.

O terceiro significado é enclausuramento espaço-temporal ou formação reversível de caixas pretas. O que consideramos, em uma rotina, como um agente pode se tornar composto por vários – a história das traduções anteriores pelos quais eles passaram pode se tornar visível (Latour, 1999b, p. 184). Um carro, por exemplo, quando funcionando, é visto como um único ator; mas se ele parar de funcionar, um mecânico irá abri-lo e aquilo que, antes, era um único ator, passa a ser vários que se relacionam por articulações internas. Se o carro for totalmente desmontado, cada peça poderá ser entendida como um ator completamente independente do outro.

O quarto significado é o cruzamento da fronteira entre sinais e coisas ou delegação. Esse significado está relacionado à articulação significativa entre dois agentes. Quando acompanhamos um processo de desenvolvimento científico ou a produção de uma tecnologia, nunca encontramos uma ruptura total entre o mundo material e o mundo dos significados. Tecnologias, embora não estejam no discurso verbal, estão no significado (Latour, 1999b). Assim, a mediação, nesse caso, se refere a esse deslocamento de significado de um agente para o próximo.

Com essas definições, Latour permite a formação de um Princípio de Simetria Generalizado (Latour, 2013), através do qual não distinguimos verdade de falsidade, nem humanos de não-humanos, natureza de sociedade. Na sociologia da tradução, identificamos cada ator e como ele é traduzido por outros atores, ou como ele é representado. Nesse contexto, por exemplo, o cientista é o porta-voz, o representante, dos objetos não-humanos, é ele quem fala pelos entes de seu laboratório. Em sua fala, entretanto, ele não diz somente o que os objetos podem falar, ele fala a partir de sua voz e de seus interesses, ele traduz os experimentos para atingir seus interesses, e ele traduz seus interesses para interpretar os experimentos. Na próxima seção, apresentamos como esses conceitos são articulados nos estudos de Latour e como a linguagem ganha um papel de destaque nessa obra.

2.3. Estudos Empíricos

No livro *Ciência em Ação*, Latour (2011) destaca que seu objeto de estudo é a ciência viva, em ação, em oposição à ciência construída, fechada, cristalizada. A forma de seguir tal ciência viva é abrindo a caixa preta da ciência e seguindo os traços deixados pelos diferentes atores. Isso significa que devemos olhar para as proposições e investigar como elas se articulam, determinar que processos de mediação ocorrem e como diferentes interesses são traduzidos entre os actantes.

O que marca os trabalhos de pesquisa de Latour é que eles tratam simetricamente natureza e sociedade, política e ciência, humanos e não-humanos. O objeto de pesquisa de Latour é o coletivo natureza-cultura. Assim, trabalhos de pesquisa que usam Latour como referencial teórico, para serem consistentes, devem buscar problemas que se situem no âmago desse coletivo.

O estudo etnográfico mais famoso de Latour, possivelmente, encontra-se em seu livro *A Vida de Laboratório* (Latour & Woolgar, 1988). Neste trabalho, Latour faz uma análise de como ocorreu o processo de construção de um fato científico específico, a proposição do hormônio TRF. Latour identifica que o laboratório possui aparelhos, chamados de inscritesores (ver nota de rodapé 5), que analisam substâncias e geram dados, as inscrições, as quais, por sua vez, são usadas pelos cientistas para escrever textos que serão lidos por outros cientistas.

No caso do TRF, Latour constata que, ao passar dos anos, tal actante teve seu status ontológico e epistemológico alterado dentro de sua rede. Conforme os subsequentes testes aumentavam, o número de performances possíveis de serem atribuídas ao TRF de forma articulada aumentava também, o fazendo com que sua realidade fosse ampliada. Tal ganho ontológico foi refletido na linguagem usada pelos artigos sobre assunto: quanto maior a realidade do TRF menos precisava se discutir os elementos de sua articulação, até que, em algum momento, ele passou a ser tratado pela rede como um ente verdadeiramente real, autônomo e independente.

A partir do quadro teórico apresentado na seção anterior, podemos dizer que Latour fez, em *A Vida de Laboratório*, um estudo etnográfico, analisando como diferentes proposições se articulam em um laboratório. Objetos não

humanos (os inscrites) adquirem papel vital nesse trabalho e se tornam co-autores de textos escritos com o intento de convencer os pares. O TRF, nesse contexto, é uma nova proposição articulada a partir das proposições do laboratório. A autonomia do TRF é medida por Latour na forma de contagem de citações do artigo original. Logo após sua publicação, o número de citações cresce até atingir um máximo e, depois de um tempo, é reduzida quase a zero. Quando o número de citações do artigo original chega a esse mínimo, tem-se um indicativo de que o TRF transformou-se num fato, ao menos para sua rede, tornando-se autônomo, sem a necessidade de menção a sua construção.

Em outro estudo, no livro *A Esperança de Pandora*, Latour (1999b) mostra como interesses políticos são traduzidos em interesses científicos e vice-versa: para produzir uma usina de fissão nuclear. Frédéric Juliot, por exemplo, teve que se articular não só com os nêutrons, mas também com membros do Ministério da Defesa. Seus interesses científicos foram traduzidos (Callon, 1986) em interesses políticos, e interesses políticos foram traduzidos em interesses científicos (Latour, 1999b).

Tal episódio ilustra que trabalho científico não envolve somente ir para um laboratório e ficar enclausurado descobrindo verdades; mas, pelo menos, envolve quatro processos distintos. O primeiro é a mobilização do mundo, que envolve a prática de laboratório e teoria (entendida aqui como a mobilização de diferentes actantes ou a articulação de diferentes proposições). O segundo é a autonomização, isto é, busca de colegas que trabalhem em problemas próximos e que permita a sustentação de uma área de pesquisa. O terceiro é a criação de alianças que permitam o financiamento e desenvolvimento da pesquisa. O quarto é a representação pública, que trata de levar e validar a prática científica perante a sociedade. É somente da confluência desses quatro processos que identificamos um quinto processo que são as conexões e os nós, o que normalmente, identificamos como a prática científica. Quando os historiadores da ciência privilegiam só o quinto processo, eles criam duas zonas diferentes para falar da ciência: a história interna e externa. Entretanto, tal concepção é uma artificialidade. O que existe é o sistema circulatório que integra ciência e sociedade em um único organismo.

Pode-se destacar, por fim, o papel que a linguagem assume na obra de Latour. Em *A Vida de Laboratório* (Latour & Woolgar, 1988), além da análise de

citações do artigo que articula a existência do TRF, Latour classifica os enunciados dos cientistas em cinco grupos dependendo de como eles se referem aos fatos científicos (partindo de conjecturas e chegando em conhecimento tácito), mostrando como que o processo de consolidação de um fato se reflete na linguagem. Uma análise similar a essa também é feita em *A Esperança de Pandora* (Latour, 1999b). Em *Ciência em Ação* (Latour, 2011), Latour destina um capítulo para discutir o estilo da escrita científica e o papel das referências na blindagem dos artigos científicos. Por fim, Em *A Relativistic Account of Einstein's Relativity* (Latour, 1988b), usa conceitos de semiótica para compreender a proposta relativista de Einstein. Neste trabalho, Latour examina um livro de divulgação escrito por Einstein e interpreta sua teoria como uma descrição dos processos semióticos que garante a sobreposição de inscrições geradas em diferentes laboratórios. Conclui que a teoria da Relatividade descreve, justamente, a partir de quais regras tal sobreposição pode ser feita, o que confere confiabilidade à ciência, uma vez que esta depende da possibilidade de um laboratório sobrepor suas inscrições aos resultados lidos em um texto escrito por outro laboratório.

2.4. Teoria Ator-Rede: da Ciência da Sociedade para o Rastreamento das Associações

Até este momento, discutimos como a visão simétrica de Bruno Latour exige uma revisão profunda dos conceitos sobre a natureza. Deve-se ter em mente que sua visão simétrica exige, também, uma reformulação de nossa visão sobre a sociedade (Latour, 2013). Dessa forma, sua obra se opõe tanto à visão tradicional de epistemologia quanto à visão hegemônica da sociologia, pois ambas estão balizadas pela visão de mundo moderna.

De acordo com os modernos, qualquer fenômeno poderia ser explicado ou pelo polo natureza ou pelo polo sociedade ou por uma combinação imiscível de ambos (Latour, 2013). Assim, tanto a natureza quanto a sociedade eram tomadas como realidades autônomas, essenciais, pré-existentes e independentes.

Ao adotar a Filosofia das Proposições (Latour, 1999b) ou a Sociologia Simétrica (Latour, 1999b, 2013), natureza e sociedade não são mais os polos ontológicos que servem de fonte de explicação. Pelo contrário, eles são aquilo

que será construído e explicado de forma contingente e temporária (Latour, 2013). Ao fim de um processo científico a natureza e a sociedade serão construídas, serão estabilizadas, não podendo ser a fonte da explicação.

A noção de que existe uma realidade social, um contexto social, uma força social, que não podem ser reduzidos a outros campos é uma suposição *a priori* da visão hegemônica da sociologia moderna (como na Sociologia de Durkheim) contra a qual Latour se opõe tanto quanto a visão tradicional de ciência (Latour, 2005). Assim, por motivos bem distintos, Latour concorda com a frase de Margareth Tacher: "There is no such a thing as a Society" (Latour, 2005, p. 5).

Mantendo-se fiel à sua visão ontológica-epistemológica, Latour propõe uma mudança no significado de Sociologia, de Ciência da Sociedade para Rastreamento de Associações (Latour, 2005). O objetivo da Sociologia deve ser rastrear as associações existentes entre os diferentes atores que compõe uma rede e não buscar explicações sociológicas.

Deve-se observar, entretanto, que, diferentemente da Sociologia de Durkheim, em que há duas escalas sociais (o indivíduo e a sociedade), a rede não está em um escala social diferente da escala do ator, ela está no mesmo "nível", apenas desdobrada de uma forma diferente (Latour *et al.*, 2012). Tal pressuposto significa também trazer para dentro da sociologia todos os tipos de conexões, de ligações químicas a restrições jurídicas (Latour, 2005). Dessa forma, entendemos que os coletivos de humanos e não-humanos compõe um conjunto de atores heterogêneos que interagem entre si. É esse conjunto e suas associações que se tornam o objeto de análise dessa sociologia expandida. Com isso em mente é que Latour (Latour, 1993), Callon (Callon, 1986) e Law (Law, 1986) propõe a Teoria Ator-Rede (TAR), inspirados na sociologia de Gabriel Tarde (Tarde, 1999).

De acordo com Tarde (1999), os atores são entendidos como mônadas de Leibiniz (Latour *et al.*, 2012), ou seja, os atores não interagem em uma rede, eles são definidos pela rede (Latour *et al.*, 2012).

Digamos que acabamos de dizer que 'Hervé C.' é agora 'professor de economia na Escola de Administração de Paris'. No início da pesquisa, não é mais do que um nome próprio. Então, nós descobrimos que ele tem um "PhD da Penn University", "escreveu sobre os padrões de votação entre os detentores de participação corporativa", "demonstrou um teorema sobre a irracionalidade da agregação", etc. Se prosseguirmos através da lista de atributos, a definição se expandirá

até que paradoxalmente irá se limitar a uma instância cada vez mais particular. Muito rapidamente, assim como no jogo infantil de Q e A, nós iremos zerar com apenas um nome para a única solução: 'Hervé C'. Quem é esse ator? Resposta: esta rede. O que, no início, era uma série de palavras sem sentido, sem conteúdo, um mero ponto, agora possui um conteúdo, um interior, ou seja, uma rede resumida por um nome próprio completamente especificado. O conjunto de atributos - a rede - agora pode ser entendido como um envelope - o ator - que encapsula seu conteúdo em uma notação abreviada (Latour *et al.*, 2012, p. 592, tradução nossa).

Assim, a Teoria Ator-Rede propõe uma visão de como os atores devem ser entendidos. Não existem atores e suas redes, atores são redes. Aquilo que é visto como um ator a uma certa distância, se torna uma rede quando nos aproximamos. Dessa forma, o ator não é um ente fixo, rígido, com uma essência pré-existente e com propriedades autônomas; mas algo provisório, construído, que demanda esforço para ser estabilizado e para continuar existindo, exatamente, como as Proposições de Whitehead. Uma proposição só existe mediante a articulação com outras proposições da mesma forma que um ator só existe mediante a associação com outros atores.

Para fazer uma pesquisa usando a TAR, é necessário que essa visão de mundo esteja incorporada na pesquisa. Um trabalho de TAR não precisa sequer usar os termos de Latour, desde que incorpore sua visão de mundo. O próprio Bruno Latour propõe três testes para identificar se um trabalho está em consonância com o que ele propõe¹⁷. O **primeiro teste** é analisar como os não-humanos são tratados: em um trabalho de TAR, os não-humanos tem agência e historicidade e são tratados em simetria com os humanos. O **segundo teste** é analisar o sentido em que a pesquisa se move: em um trabalho de TAR, o pesquisador deve ir em direção à estabilização do conceito da natureza e da sociedade e não partir de concepções pré-definidas. E o **terceiro teste** é analisar se a pesquisa é agregadora ao invés de ser desconstrutora e destrutiva¹⁸.

Partindo dessa concepção, Latour desenvolveu uma versão didática da TAR, que ficou conhecida como Cartografia das Controvérsias (Venturini, 2009), a qual pode ser resumida em apenas uma indicação: “apenas observe e descreva as controvérsias”. (Venturini, 2009). Longe de estar associada com a visão da

¹⁷ Usamos estes testes na interpretação dos artigos da Revisão de Literatura na próxima seção.

¹⁸Provavelmente, Latour explicita essa condição para se afastar de concepções pós-modernistas e pós-colonialistas às quais ele é erroneamente associado.

observação não mediada, a cartografia das controvérsias propõe justamente o contrário:

Privado da proteção de conceitos e protocolos, a observação não é mais pura. Pelo contrário, abre-se a todos os tipos de interferências e impurezas. Longe de ser uma substância clara destilada do caos coletivo, o conhecimento científico é o resultado de tantas contaminações quanto possível. Tal é a lição de "apenas": os dispositivos de observação são mais valiosos, quanto mais eles deixam que aqueles que são observados interfiram com aqueles que observam (VENTURINI, 2009, p. 60, tradução nossa).

Tal proposta pode ser ainda desdobrada em três indicações: você não deve restringir sua observação a uma única teoria ou metodologia, observando o maior número de pontos de vista possível e escutando as vozes dos atores mais do que suas suposições teóricas. A complexidade e a quantidade de dados que uma cartografia das controvérsias ou a Teoria Ator Rede podem demandar tornam-nas propícias para serem exploradas valendo-se de recursos digitais (Venturini, 2009; Latour *et al.*, 2012).

3. Método de Revisão de Literatura

A seleção das revistas seguiu critérios diferentes para a revisão nacional e internacional. Para a revisão da literatura nacional, foram selecionados todos os periódicos brasileiros da área de Ensino, que tratam de Educação em Ciências (ou Ensino de alguma área específica de ciências), classificados como A1, A2 e B1 na área de Ensino da CAPES. No site de cada periódico, buscamos a palavra-chave "Latour" em qualquer componente do texto. Da leitura do resumo de todos os artigos encontrados, selecionamos aqueles que tratavam sobre Educação em Ciências e que utilizavam as ideias de Bruno Latour de forma central. A seleção foi feita com a seguinte sequência de passos: 1) Se o resumo citava Bruno Latour, o artigo foi selecionado. 2) Se o resumo não citava Bruno Latour, mas fazia referência explícita a conceitos do Bruno Latour, o artigo foi selecionado. 3) Se o artigo não atendia aos itens 1 e 2, buscávamos o termo Latour no texto e reconhecíamos se as citações eram feitas porque o autor usava as ideias de Latour ou só o citavam de forma periférica. Se as ideias eram, de fato, utilizadas, o artigo foi selecionado.

Uma vez que o nosso interesse é na área de Educação em Ciências, descartamos todos os artigos que não traziam tal tópico de forma central (artigos

unicamente em Educação, por exemplo). A revisão de literatura internacional foi feita em duas etapas. Na primeira, buscamos o termo Latour nos periódicos cadastrados na plataforma ERIC usando a mesma sequência de passos da revisão nacional. Na segunda etapa, buscamos o termo Latour no site das revistas *American Journal of Physics*, *International Journal of Science Education*, *Teaching and Teacher Education*, *Cultural Studies of Science Education*, *Science and Education*, *Science Education e Physics Teacher* e adotamos os mesmos passos descritos na seleção de artigos da revisão de literatura nacional.

Primeiramente, apresentamos uma análise quantitativa em que buscamos reconhecer quais obras e quais termos de Latour são mais usados no conjunto de artigos selecionados, bem como quantificar a apropriação de sua terminologia em cada trabalho. Na sequência, fazemos uma análise interpretativa dos artigos selecionados em dialogia (Bakhtin, 2016) com as obras originais de Latour. Ao longo de tal análise, buscamos investigar se os trabalhos trazem à tona os aspectos centrais da obra de Latour (sua visão ontológica-epistemológica), a partir dos três testes estabelecidos por Latour para verificar se um trabalho está em consonância com a visão Ator-Rede (Latour, 2005, p. 10),¹⁹ conforme descrevemos na seção 2.4.

4. Resultados da Revisão de Literatura

A revisão de literatura internacional, somando-se os artigos encontrados na plataforma ERIC e em cada revista isoladamente, resultou 458 artigos. A revisão de literatura nacional, realizada em 155 revistas, resultou 69 artigos. A partir desse conjunto de artigos, foram realizadas as etapas de seleção descritas na seção 3.

Ao longo da primeira etapa de seleção, em que os resumos dos artigos foram lidos, pudemos perceber uma distinção nítida entre a maioria dos artigos internacionais e nacionais. Enquanto que os pesquisadores brasileiros apresentam um quadro teórico bem definido e uma estrutura de texto similar aos artigos das áreas duras (introdução, referencial teórico, metodologia, resultados

¹⁹ Embora Latour explicita esses três testes em sua obra de 2005, sua visão ontológico-epistemológica já está bem estabelecida pelo menos desde 1991 com a publicação de *Jamais Fomos Modernos*, de forma que esses testes podem ser aplicados a todos os artigos desta revisão de literatura.

e conclusões), os autores de outros países não delimitam um quadro teórico de forma clara e, muitas vezes, escrevem textos na forma de ensaios, valendo-se de uma vasta literatura, o que dificultou muito a identificação dos trabalhos de interesse.

Após a seleção daqueles artigos que usam a obra de Latour de forma central em uma pesquisa empírica em Educação em Ciências ou falam sobre a obra de Latour ao longo de um ensaio sobre Educação em Ciências, seja para concordar com ele ou criticá-lo, 11 artigos nacionais e 9 internacionais foram selecionados.

O número reduzido de artigos selecionados em comparação com o número inicial de artigos traz, pelo menos, duas implicações: a primeira é que Latour, apesar de citado, ainda é utilizado apenas de forma periférica na maioria dos trabalhos da área de Educação em Ciências – o que o torna um referencial com potencial para ser ainda explorado. A segunda é que a maioria dos trabalhos que usa Latour (mesmo em revistas classificadas na área de Ensino de Ciências) não tratam do Ensino de Ciências – utilizam elementos de sua sociologia para discutir problemas tipicamente da Educação sem privilegiar o papel de não-humanos nesse processo. Tais constatações indicam que a maioria dos trabalhos da área de Educação que citam Latour não alcançam o núcleo de seu trabalho: a análise do coletivo de humanos e não-humanos bem como seus processos de associações.

Com relação aos artigos selecionados, primeiramente, buscamos mapear a frequência com que os livros de Latour são citados, a fim de identificar alguma tendência na apropriação de sua obra pela área. Contabilizamos tal representação por número de citações recebidas por cada texto conforme mostrado na figura 2²⁰.

²⁰ Também contabilizamos o número de artigos que cita cada obra; mas como o perfil não muda significativamente de um método para outro, apresentamos apenas um resultado.

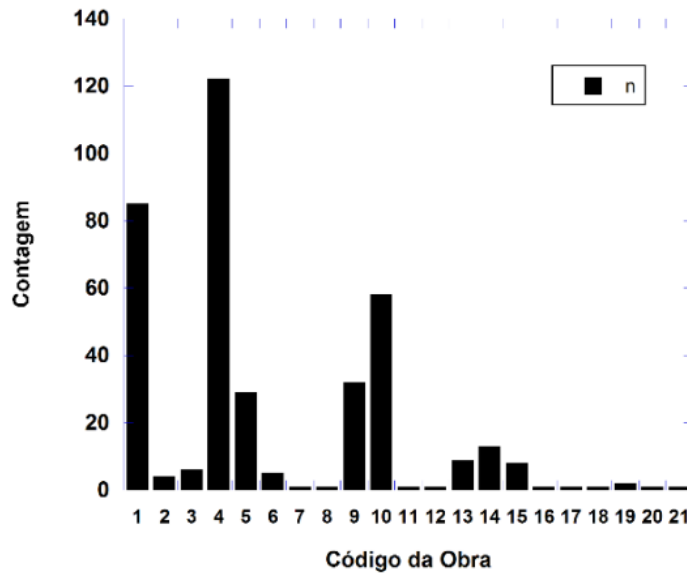


Figura 2: Número de referências feitas às obras de Latour. Código: 1-(Latour, 2011); 2- (Latour 1995); 3-(Latour 1994); 4-(Latour & Woolgar, 1988); 5-(Latour, 2013); 6-(Latour, 1983); 7-(Latour 1985); 8-(Latour 1992a); 9-(Latour, 1999b); 10-(Latour, 2005); 11-(Latour, 2004c); 12-(Latour, 1996); 13-(Latour, 2000); 14-(Bruno Latour, 2004); 15-(Latour, 2004b); 16- (Latour, 2009); 17-(Latour, 2014); 18-(Latour, 1999a); 19-(Latour, 2004a); 20-(Latour, 1992b); 21- (Latour, 1988a)

As cinco obras mais citadas de Latour são *A Vida de Laboratório* (Latour & Woolgar, 1988), *Ciência em Ação* (Latour, 2011), *Reagregando o Social* (Latour, 2005), *Esperança de Pandora* (Latour, 1999b) e *Jamais Fomos Modernos* (Latour, 2013), cujas teses principais foram apresentadas na seção 2. Temos um primeiro indicativo de que a área de Pesquisa em Educação em Ciências tem se remetido às principais obras que apresentam a visão ontológica de Latour. O fato de *A Vida de Laboratório* ser o mais citado, entretanto, pode indicar a utilização das primeiras ideias de Latour sem se fazer uma interpretação à luz de sua ontologia, o que de fato acontece, como mostraremos na seção 4.3.

Como cada obra de Latour traz uma grande quantidade de termos, investigamos, mais especificamente, quais expressões ou termos são utilizadas pelos artigos, contabilizando-os cada vez que eram mencionados. Apresentamos os resultados na figura 3.

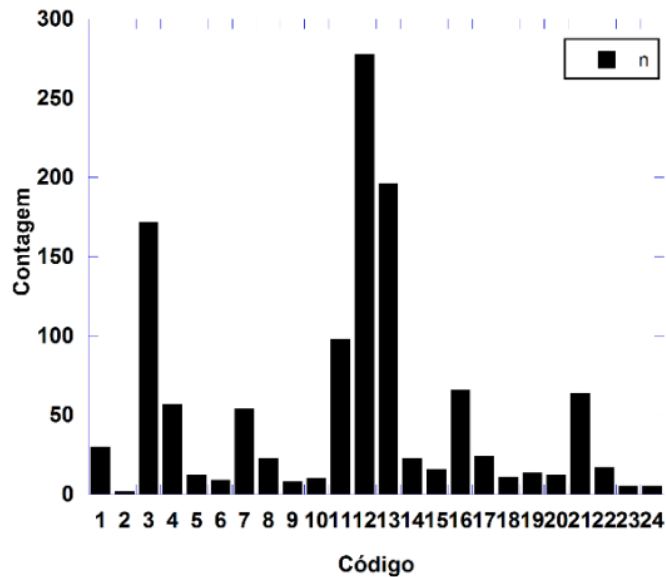


Figura 3: Número de vezes que cada termo de Latour é usado. Código: 1- Fato Científico; 2- Artefato; 3-Inscritores; 4-Credibilidade; 5-Modernidade; 6-Simetria; 7-Não-humanos; 8- Etnografia; 9-Porta-voz; 10-Intermediário; 11- TAR; 12-Rede; 13-Ator/Actante; 14-Sociotécnica; 15-Híbrido; 16-Mobilização; 17-Cosmo; 18-Cosmopolítica; 19-Cartografia; 20- Mediação; 21- Tradução; 22- Lentes de Observação; 23- Diagramas de Tradução; 24- Fluxo Sanguíneo.

O termo mais usado de Latour é rede (conceito 12), seguido de ator (conceito 13), inscritores (conceito 3) ator-rede (conceito 11) e tradução (conceito 21). Apesar de o termo ator-rede ser usado exclusivamente no contexto da TAR, os conceitos ator, rede e tradução permeiam suas obras – o que se reflete nos textos dos artigos dos pesquisadores em Educação em Ciências. Além disso, o termo inscritor, proveniente de *A Vida de Laboratório*, mostra, ainda, o grande uso de tal obra. Como vimos na seção 5, a noção “ator-rede” se contrapõe a noção de objetos-em-si, pois, enquanto este tem suas propriedades determinadas intrinsecamente, o ator tem suas propriedades determinadas pela rede. Na mesma linha de raciocínio, o conceito de tradução se opõe ao conceito de intermediação na filosofia de Kant (Latour, 2005), pois o intermediário kantiano somente transmite os conteúdos de forma passiva, enquanto que o processo de tradução envolve uma modificação daquilo que está sendo traduzido, inclusive os próprios atores envolvidos.

Portanto, em linhas gerais, podemos dizer que o conjunto de artigos selecionados, pelo menos do ponto de vista da escolha lexical, se alinha à visão de mundo de Latour. É possível ressaltar, entretanto, que a terminologia da Filosofia das Proposições é inexistente nos artigos selecionados, o que pode indicar que, apesar dos pesquisadores se alinharem à visão sociológica ampliada

de Latour, questões ontológicas mais básicas não estão sendo discutidas. Além disso, os termos próprios do ensaio *Jamais Fomos Modernos*, como híbridos, simetria, modernidade, não-humanos, têm poucas menções também. Isso indica que a TAR vem ganhando destaque como uma metodologia de pesquisa, mas não se observa um debate sobre seus fundamentos.

Deve-se levar em conta que tal análise é em relação ao conjunto de trabalhos como um todo, omitindo especificidades de cada artigo. Para detalharmos tal análise, computamos quantas vezes os termos de Latour (somando todos os termos listados) aparecem em cada artigo da revisão da literatura. Deve-se observar que essa contagem é sobre os termos de Latour que listamos na figura 3. Outra listagem de conceitos poderia conduzir a uma diferente contagem, uma vez que o resultado desse método isoladamente não pode nos dar uma medida absoluta do grau de apropriação da terminologia de Latour, sendo apenas um indicativo.

Assim, para apresentar os resultados da análise de cada artigo, classificamo-los, na tabela 1, em três grupos: grupo I, com menos de 50 menções aos termos de Latour; grupo II, com 50 a 100 menções e, por fim, grupo III, com mais de 100 menções. Tal análise de escolha lexical (Bakhtin, 2016) pode nos dar um indício de quão integrado está o discurso dos autores com a terminologia de Latour, mas não é suficiente para que possamos identificar se os trabalhos estão em consonância com suas premissas ontológicas. Ademais, na tabela 1 (bem como na análise subsequente), classificamos os artigos em quatro grupos: trabalhos sobre Latour (ensaios), trabalhos que usam a TAR, trabalhos inspirados em *A Vida de Laboratório* e trabalhos fundamentados em outras obras. Avaliamos, por fim, se cada trabalho seria “aprovado” nos testes estabelecidos por Latour (seção 2.4). Uma síntese de todos esses resultados é apresentada na tabela 1. Da seção 4.1 à seção 4.4, discutimos os artigos dentro dos grupos em que foram classificados.

Tabela 1: Código do artigo da Revisão de Literatura, Referência, Clas = SL (Sobre Latour), utiliza TAR (Teoria Ator-Rede), VL (inspirado em *Vida de Laboratório*) e O (fundamentado em outras obras). N (número de termos de Latour) = I (menos de 50), II (de 50 a 100), 3 (mais de 100). T1, T2 e T3 referem-se aos testes estabelecidos por Latour (explicados na seção 2.4), podendo receber o valor A (aprovado) R (reprovado) e NA (não se aplica).

Referência	Clas	N	T1	T2	T3
------------	------	---	----	----	----

(Vianna, D. A. & Carvalho, A. M. P., 2001)	VL	I	R	NA	A
(Queiroz & Almeida, 2004)	VL	I	R	NA	A
(Mion <i>et al.</i> , 2009)	O	I	NA	NA	A
(Oliveira, 2010)	O	II	A	A	A
(Rezzadori & Oliveira, 2011)	TAR	III	R	A	A
(Coutinho <i>et al.</i> , 2014)	TAR	III	A	A	A
(Coutinho & Silva, 2014)	TAR	II	NA	A	A
(Roxael <i>et al.</i> , 2015)	VL	I	R	NA	A
(Faria & Coutinho, 2015)	TAR	II	A	A	A
(Oliveira & Queiroz, 2015)	O	I	NA	NA	A
(Coutinho <i>et al.</i> , 2016)	TAR	II	NA	NA	A
(Vianna, D. M. & Carvalho, A. M. P., 2001)	SL	I	NA	R	A
(Zemplén, 2007)	O	I	NA	NA	A
(Mody, 2015)	SL	I	R	NA	A
(Richard & Bader, 2010)	SL	III	A	A	A
(Candela, 2010)	TAR	II	NA	A	A
(Weinstein, 2008)	SL	I	NA	A	A
(Pierce, 2015)	TAR	III	A	A	A
(van Eijck, 2010)	TAR	I	A	A	A
(Roth & Tobin, 1997)	O	II	A	A	A
(Slezak, 1994)	SL	I	R	R	R

4.1. Trabalhos sobre Latour

No caso da literatura internacional, três trabalhos incentivam o uso das obras de Latour (Weinstein, 2008; Richard & Bader, 2010; Mody, 2015) para pensar a Educação em Ciências e um as critica (Slezak, 1994). No caso da literatura brasileira, apenas um artigo se encaixa nessa categoria (Vianna & Carvalho, 2001). Um resultado importante é que somente o trabalho de Richard e Bader (2010) passa nos três testes de Latour e os outros quatro trabalhos ferem alguma premissa do autor, o que indica que a apropriação da obra de Latour ainda vem sendo feita de forma superficial. Ainda, Richard e Bader (2010) são os únicos com mais de 100 menções a conceitos de Latour indicando que há correlação entre apropriação lexical e alinhamento à visão de mundo.

O artigo de Vianna e Carvalho (2001) é, possivelmente, o primeiro artigo brasileiro que discute a possibilidade de inserção das obras de Latour na Educação em Ciências. Baseado, principalmente, nas obras *A Vida de*

Laboratório e Ciência em Ação, possivelmente as obras mais famosas de Latour e que não expressam explicitamente, ainda, sua visão ontológica-epistemológica, o trabalho das autoras tem o mérito de reconhecer que a prática científica transcende o conhecimento científico. Ao fazer isso, entretanto, elas não privilegiam o papel dos não-humanos e, ainda, estabelecem a noção de que há “dentro e fora da ciência”, o que contraria a visão de Latour. Conquanto isso, a obra escolhida pelas autoras também não deixa tal papel de forma explícita de forma que se pode considerar que as autoras atingem seus objetivos dentro do que foi proposto. Entretanto, deve-se notar que há espaço para a produção de estudos antropológicos da educação em ciência que explicitem tal papel.

Também apontando a necessidade de a Educação em Ciências não se limitar ao conhecimento científico e explorar a prática científica, Mody (2015) apresenta um trabalho que também não atende aos três testes de Latour. Sua proposta, diferentemente do trabalho de Vianna e Carvalho (2001), privilegia conclusões das próprias análises de Latour, como a necessidade do trabalho de escrita e leitura (Latour & Woolgar, 1988) e desenvolvimento de competências associadas às relações humanas, o que permite por exemplo a possibilidade de atrair aliados (Latour, 1999b), transladando tais conclusões para a Educação em Ciências. Sua proposta, entretanto, também não incorpora questões sobre o coletivo de humanos e não-humanos.

Weinstein (2008) discute como a área de Educação em Ciências incorpora os Estudos da Ciência e como os Estudos da Ciência tratam a Educação em Ciências, ressaltando que as pesquisas em processos educacionais são quase inexistentes em tal programa. A partir dessa apresentação simétrica entre as duas áreas, Weinstein faz uma análise dos diferentes objetivos da Educação da Ciência, relacionando-os com possíveis visões sobre a relação entre a escola e a ciência. Enquanto que, na visão tradicional, a escola aparece apartada da ciência, o papel do educador é representar esse objeto longínquo chamado ciência para os seus alunos. A partir de uma concepção ator-rede, entretanto, a escola faz parte da rede que forma a ciência, visto que é uma das principais responsáveis pela formação de opinião pública sobre a ciência, um elemento fundamental para a sua sobrevivência (Latour, 1999b). Assim, mudando-se de concepção sobre a relação escola-ciência, poderia se ter uma mudança de objetivo educacional: “(...) muda o foco de nosso trabalho para longe de como

representar a “Ciência” à qual os alunos são expostos (aqui), em direção a perguntar como que os estudantes estão posicionados e através de quais papéis eles aprendem a desempenhar formas de cidadania em uma variedade de locais face a face com ciência como cultura: consumidor, objeto, pesquisador, etc.” (Weinstein, 2008, p. 397, tradução nossa). Richard e Bader (2010) apresentam o artigo com mais referências a termos de Latour nessa categoria e passam em todos os testes. Os autores propõem o enriquecimento das noções de ciência no discurso escolar através da discussão de proposições sobre ciência de Bruno Latour. Em apresentação iminentemente teórica da obra de Latour, principalmente pautada pela Teoria Ator-Rede, discutem extensivamente a redefinição do termo “social” na obra de Latour (2005), o qual apresentamos na seção 2.4, o que lhes garante tratar com simetria humanos e não-humanos bem como não partir de categorias sociais *a priori*.

Slezak (1994) apresenta o único artigo que critica a obra de Latour. O autor fundamenta-se principalmente no livro *A Vida de Laboratório*. Sem estudar as concepções ontológico-epistemológicas de Latour, o autor chega à conclusão de que Latour tem uma visão radical e iconoclasta de ciência, de acordo com a qual toda a ciência é uma ficção. Conforme apresentamos na seção 2, Latour não entende ciência como ficção e nem é um inimigo da ciência. Pelo contrário, sua noção de proposição permite que essas sejam classificadas quanto à extensão de sua articulação, o que permite em casos controversos (como no caso do aquecimento global) optar pela proposta científica visto que essa é mais articulada. Tal noção, inclusive, tem feito Latour sofrer uma série de ataques por parte dos sociólogos da ciência que o consideram uma espécie de traidor da área (Bloor, 1999). Assim, pode-se afirmar que Slezak faz uma leitura da obra de Latour sem levar em conta sua visão de mundo (não sobrevive aos três testes). Dessa forma, há espaço, na literatura, inclusive para críticas (fundamentadas) sobre uso das obras de Latour na Educação em Ciências. As próximas três seções tratam de trabalhos empíricos em Educação em Ciências.

4.2. Trabalhos que usam TAR

Fazer um trabalho com TAR não exige que se adotem determinados conceitos ou se escolham temas específicos, mas que se desenvolva um trabalho

alinhado aos testes que descrevemos na seção de metodologia. Os trabalhos selecionados exemplificam a variedade de áreas e temas em que a TAR pode ser usada, como na análise de uma atividade didática (Candela, 2010; Coutinho *et al.*, 2014; Coutinho *et al.*, 2016), de um projeto científico (Faria & Coutinho, 2015), de um texto didático (Coutinho & Silva, 2014), de um laboratório estudantil (Rezzadori & Oliveira, 2011) e de um conteúdo (van Eijck, 2010; Pierce, 2015).

Três trabalhos analisam atividades didáticas: Candela (2010) expande os fenômenos didáticos para além dos limites da sala de aula, mostrando como que as trajetórias pessoais dos alunos são espaço-temporalmente conectadas com a Física em uma rede de associações que envolvem, entre outros elementos, redes de poder e de construção do trabalho disciplinar dos físicos. O trabalho de Coutinho *et al* (2014) faz um ensaio etnográfico, observando aulas de ciências de uma turma com alunos de cinco anos. Os autores analisam a importância da utilização de objetos não-humanos (no caso uma lupa) na aprendizagem infantil. Ainda utilizando a TAR para o ambiente didático, Coutinho *et al* (2016) propõem olhar para uma aula como um ator-rede, ao invés de um evento linear. Os autores, entretanto, confundem observar uma aula com uma visão ator-rede com poder transformar a aula em ator-rede, como se houvesse aulas que não fossem um ator-rede. O papel dos não-humanos não é explorado, ficando o estudo circunscrito a uma interação humana. Tal visão não está conceitualmente consistente com a obra de Latour.

Faria e Coutinho (2015) fazem uma análise de um evento, a instalação do projeto Apolo, utilizando a cartografia de controvérsias (Venturini, 2009). Este é um estudo tipicamente CTS, utilizando a TAR e os cinco grupos de incerteza (Latour, 2005), identificando os actantes e suas redes. O artigo traz uma valiosa análise sociológica do evento, através da perspectiva Latouriana de simetria entre natureza e sociedade, fazendo um diagrama de todas translações envolvidas que foram encontradas na revisão de literatura feita pelos autores, na investigação de textos científicos, jornalísticos, dentre outros, sobre o projeto Apolo. Apesar de ser um excelente trabalho de Estudos da Ciência (é um dos trabalhos que mais faz referências à obra de Latour conforme tabela 3), não é feita uma reflexão aprofundada sobre como tais referências poderiam contribuir para a educação em ciências. Ainda assim, consideramos esse trabalho o mais consistente com a TAR.

Coutinho e Silva (2014) analisam um livro didático de Biologia, em relação ao tema evolução biológica, a partir da TAR. A narrativa do livro é entendida como uma rede, os personagens foram entendidos como actantes e os pesquisadores analisaram como eles “...se amarravam uns aos outros...” e os movimentos de translações percebidos. Essa visão também não é consistente com a TAR. Um livro pode ser entendido como um ator-rede, mas um trabalho que use a TAR deve investigar a rede que sustenta tal ator. Ficar circunscrito à narrativa de um ator (o livro) e chamar isso ator-rede não é consistente com o trabalho de Latour.

Rezzadori e Oliveira (2011) utilizam os estudos de laboratório, a TAR e os processos de translação para fazer observações em um laboratório de Química de um curso técnico, situada em uma escola pública. Apesar de apresentarem um grande número de termos de Latour, os autores não privilegiam a agência não-humana e se mantêm circunscritos a descrever questões político-sociais, sendo, portanto, inconsistentes com a obra de Latour.

Por fim, Van Ejick(2010) e Pierce (2015) apresentam propostas de entendimento da ciência pela TAR e sua relação com a alfabetização científica, utilizando conteúdos de genética como estudo de caso. Ambos os autores pautam suas ideias nos trabalhos mais recentes de Latour, alinhando-se à sua visão.

A variedade de temas encontrados nesse grupo revela o potencial que a TAR possui para ser explorado na pesquisa em Educação em Ciências. O fato de nem todas as pesquisas serem consistentes com as premissas de Latour indica a necessidade de uma reflexão profunda sobre suas bases antes de aplicá-la.

4.3. Artigos que se inspiram em *A Vida de Laboratório*

Os três artigos classificados neste grupo caracterizam-se por ser inspirados na obra *A Vida de Laboratório*. Vianna e Carvalho (2001) implementam a atividade didática que propõem em seu artigo teórico (Vianna & Carvalho, 2001). Queiroz e Almeida (2004) tentam replicar seu estudo etnográfico com estudantes de iniciação científica de Química. Seus trabalhos não atendem aos testes de Latour. Por fim, a análise feita por Roxael e colaboradores (2015) baseia-se no livro *A vida de Laboratório* para identificar potencialidades do uso de cartuns na

Educação em Ciências também não estando em consonância com a proposta do autor francês.

Assim, concluímos que os trabalhos que se inspiram unicamente no livro *A Vida de Laboratório*, sem um estudo aprofundado das obras subsequentes de Latour, não conseguem passar nos seus testes metodológicos. Mais uma vez, isso é um indicativo de que existe uma vasta área de pesquisa a ser explorada. Estudos etnográficos de laboratórios didáticos e de diferentes contextos escolares, sob a perspectiva de Latour, podem ser uma fonte rica de conhecimento sobre a Educação em Ciências.

4.4. Artigos que se fundamentam em outras obras

Roth e Tolbin (1997), em consonância com os testes de Latour, apresentam um típico trabalho de Estudos da Ciências aplicado à Educação em Ciências. Os autores montam um aparato conceitual baseado na noção de inscitor e analisam os processos de tradução envolvidos em uma aula de Física, mostrando como que os fenômenos apresentados na aula transitam por representações, adquirindo diferentes *status* ontológicos. Consideramos esse trabalho como um trabalho altamente qualificado de pesquisa em Educação em Ciências sob o referencial teórico de Latour.

Mion *et al.* (2009) propõem a abordagem CTSA na formação inicial dos graduandos em licenciatura em Física. Partem do que seria uma visão Latouriana, mas não privilegiam a agência dos não-humanos e não partem em direção à estabilização da sociedade, não passando em dois testes de Latour. Dentro de uma aula de estágio docente são pensados temas que envolvam aspectos CTSA, no entanto, acaba-se percebendo que, apesar de ser uma boa proposta, a maneira como foram conduzidos os projetos apontam para uma abordagem CTSA simplista, partindo de problemas “concretos” para discutir conceitos.

Oliveira (2010), em um trabalho alinhado com os pressupostos de Latour, faz observações em um clube de ciências do ensino fundamental, analisando “*Quais mediações articulam a alfabetização científica e a realidade das coisas?*” (Oliveira, 2010). O autor utiliza o conceito de inscrição (Latour & Woolgar, 1988) para discutir o processo de alfabetização científica (Oliveira, 2010). Além de

privilegiar a agência dos actantes não-humanos (os inscrites), o trabalho estabiliza o conceito de alfabetização científica ao invés de partir dele, o que está de acordo com os pressupostos de Latour.

Oliveira e Queiroz (2015), também sem adentrar nas questões principais da obra de Latour, discutem a escrita de textos científicos, usando como motivação a importância dos graduandos de desenvolver habilidades de leitura e escrita científica e montam um “Mapa de Caracterização de Texto Científico” como ferramenta a ser aplicada neste sentido. Utilizam Latour na discussão sobre o uso das referências para blindar um texto. Não é um trabalho CTS (e acreditamos que nem tem o intuito de ser). O artigo é relevante, pois mostra uma possível aplicação de uma discussão de Latour para a Educação.

O último trabalho classificado nessa categoria propõe a criação de um módulo didático em que se faz uma abordagem sociológica da delimitação epistemológica da ciência (Zemplén, 2007). Para tanto, o autor faz uma incursão pelos Estudos da Ciência, apontando Bruno Latour como uma figura influente e controversa, sem adentrar em questões teóricas mais profundas.

5. Conclusões

Apresentamos, neste trabalho, os Estudos da Ciência de Bruno Latour, contextualizando-os frente ao movimento Ciência Tecnologia e Sociedade. Apresentamos a ideia de que a contribuição de Latour para a área CTS reside em seu posicionamento ontológico-epistemológico, o qual é, principalmente, inspirado na Filosofia das Proposições, na Sociologia da Tradução e na Sociologia de Tarde.

A partir disso, fizemos uma apresentação da obra de Latour privilegiando sua descrição da realidade. Primeiramente, abordamos sua visão sobre a Modernidade, a partir da qual a natureza e a sociedade são tratadas como dois polos ontológicos distintos. Na sequência, discutimos como sua visão ontológica construtivista se opõe à noção de objetos-em-si de Kant e mostramos, a partir da Filosofia das Proposições, como humanos e não-humanos podem ser tratados simetricamente, garantindo aos não-humanos atributos como agência e historicidade. Ademais, utilizando o conceito de Tradução e Mediação, discutimos como as interações simétricas entre humanos e não humanos

permitem a produção de conhecimento com autoria compartilhada entre diferentes actantes e apresentamos uma breve visão sobre estudos empíricos feitos por Latour a partir dessas concepções.

No fim da primeira parte do artigo, ainda, discutimos a Teoria Ator-Rede de Latour, a qual, além de ser consonante com a Filosofia das Proposições e com a Sociologia da Tradução, inspira-se na Sociologia de Gabriel Tarde. A partir dessa concepção, apresentamos, também, um desdobramento metodológico de tal teoria, a chamada Cartografia das Controvérsias.

Na segunda parte do artigo, apresentamos uma revisão de literatura sobre artigos que usam as ideias de Bruno Latour na área de Educação em Ciências. A partir de uma análise quantitativa, mostramos quais obras e quais termos de Latour são mais usados na literatura em Educação em Ciências, bem como o número de menções a conceitos de Latour em cada artigo. Foi possível dividirmos os artigos em quatro categorias: artigos que tratam sobre a obra de Latour; artigos que se baseiam na Teoria Ator-Rede; artigos que se baseiam em *A Vida de Laboratório*; e outros artigos. Na análise interpretativa, a partir dos três testes estabelecidos por Latour, avaliamos se um trabalho está de acordo com sua visão de mundo, ou seja, se mantém a simetria entre humanos e não-humanos, se estabiliza a sociedade e a natureza e se não privilegia a desconstrução.

Nossos resultados indicam que apenas 6 artigos são bem avaliados a partir dos três testes de Latour. Em especial, os artigos que se baseiam, principalmente, no *A Vida de Laboratório* apresentam a maior defasagem conceitual em relação à média do grupo. Concluimos, também, que mesmo artigos que dizem usar a TAR violam pressupostos metodológicos do autor.

A partir do que foi exposto, entendemos que a obra de Latour representa um marco dentro dos Estudos da Ciência, mas ainda é pouco explorada pela área de pesquisa em Educação em Ciências. Defendemos que estamos diante de uma linha de pesquisa merecedora de maiores investimentos por parte da comunidade de pesquisadores. Destacamos cinco desdobramentos que essa linha de pesquisa que pode fundamentar: i) Trabalhos teóricos que discutam a obra de Latour, ii) Trabalhos teóricos que discutam as possibilidades de se trazer os Estudos da Ciência de Latour como um referencial teórico-metodológico para a Pesquisa em Educação em Ciências. iii) Trabalhos empíricos na área de

Estudos da Ciência. iv) Trabalhos empíricos sobre o ensino da ciência em ação, v) Estudos de problemas tipicamente científicos e didáticos utilizando a Teoria Ator Rede, a sociologia da Tradução e a Cartografia das Controvérsias.

Entendemos, também, que conceitos como mediação e tradução parecem ter um grande potencial para serem explorados na Educação em Ciências, principalmente por suas conexões com a teoria sociocultural de Vygotsky. Ainda, aparatos semióticos desenvolvidos por Latour, como seu sistema de classificação de enunciados (Latour & Woolgar, 1988) e mecanismos de deslocamento do discurso (Latour, 1988b) também não foram explorados pela área. Esperamos que, com a revisão da obra de Bruno Latour e da literatura em Educação em Ciências apresentada, mais pesquisadores possam se apropriar do referencial dos Estudos da Ciência para repensar a pesquisa em Educação em Ciências e a Educação em Ciências. Se antes era necessário separar a “Educação” das “Ciências”, isto é, se era necessário um referencial teórico para falar de ciências (natureza) e outro para falar da educação (sociedade), com a adoção das ideias latourianas, pode-se partir de uma única posição teórica simétrica em relação aos dois campos do conhecimento, para melhor compreender o que chamamos de “Educação em Ciências”.

Referências

- Allchin, D. (2014). From Science Studies to Scientific Literacy: A View from the Classroom. *Science & Education*, 23 (9), 1911-1932. doi: 10.1007/s11191-013-9672-8
- Alsop, S., & Fawcett, L. (2010). After this nothing happened. *Cultural Studies of Science Education*, 5, 1027-1045.
- Bachelard, G. (1978). *A filosofia do não*. São Paulo: Abril Cultural.
- Bachelard, G. (1996). *A Formação do Espírito Científico*. Rio de Janeiro: Contraponto.
- Bagdonas, A., Zanetic, J., & Gurgel, I. (2014). Controvérsias sobre a natureza da ciência como enfoque curricular para o ensino da física: o ensino de história da cosmologia por meio de um jogo didático. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 7 (2), 242-260.
- Bakhtin, M. (2016). *Os Gêneros do Discurso*. São Paulo: Editora 34.

- Barnacle, R., & Mewburn, I. (2010). Learning networks and the journey of 'becoming doctor'. *Studies in Higher Education*, 35 (4), 433-444. doi: 10.1080/03075070903131214
- Bloor, D. (1982). *Sociologie de la logique ou es limites de l'épistemoogie*. Paris: Éditions Pandora.
- Bloor, D. (1991). *Knowledge and social imagery* (2 ed.). Chicago: The University of Chicago Press.
- Bloor, D. (1999). Anti-Latour. *Studies in History and Philosophy of Science*, 30 (1), 81-112.
- Bourdieu, P. (1976). Le champ scientifique. *Actes de la recherche en sciences sociales*, 2 (2), 88-104.
- Callon, M. (1986). Éléments por une Sociologie de la Traduction: La domestication des coquilles Saint-Jacques et e marins-pêcheurs dans a baie Saint-Brieuc. *L'Année Sociologique*, 36.
- Candela, A. (2010). Time and space: undergraduate Mexican physics in motion. *Cultural Studies of Science Education*, 5 (3), 701-727. doi: 10.1007/s11422-010-9259-5
- Carson, R. (1994). *Silent Spring*. Robbinsdale: FAWCETT PUBLICATIONS.
- Chassot, A. (2003). Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. *Revista Brasileira de Educação*, 89-100. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-24782003000100009&nrm=iso
- Collins, H. (2006). The Uses of Sociology of Science for Scientists and Educators. *Science & Education*, 16 (3-5), 217-230. doi: 10.1007/s11191-005-2389-6
- Colucci-Gray, L. (2014). Beyond evidence: a critical appraisal of global warming as a socio-scientific issue and a reflection on the changing nature of scientific literacy in school. *Cultural Studies of Science Education*, 9, 633-647. doi: 10.1007/s11422-013-9500-0)
- Coutinho, F. Â., Goulart, M. I. M., Munford, D., & Ribeiro, N. A. (2014). Seguindo uma lupa em uma aula de ciências para a educação infantilL. *Investigações em Ensino de Ciências*, 19 (2), 381-402.
- Coutinho, F. A., Santos, V. M. d. F., Amaral, A. C. R., Santos, M. I., Silva, F. A. R., & Silva, A. d. J. (2016). Quando os educandos transformam uma sequência didática em um ator-rede. movimentos de translação entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente na educação de jovens e adultos. 11 (3), 178-193.
- Coutinho, F. A., & Silva, F. A. R. (2014). Análise do texto de um livro didático de biologia orientada pela teoria ator-rede: um estudo sobre o tema evolução biológica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 19 (3), 531-539.

- Deconto, D. C. S. (2014). *A perspectiva ciência, tecnologia e sociedade na disciplina de metodologia do ensino de física: um estudo na formação de professores à luz do referencial sociocultural* (Mestre em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre).
- Dodick, J., Argamon, S., & Chase, P. (2008). Understanding Scientific Methodology in the Historical and Experimental Sciences via Language Analysis. *Science & Education*, 18 (8), 985-1004. doi: 10.1007/s11191-008-9146-6
- Elliott, S., & Young, T. (2015). Nature by Default in Early Childhood Education for Sustainability. *Australian Journal of Environmental Education*, 32 (01), 57-64. doi: 10.1017/aee.2015.44
- Faria, E. S., & Coutinho, F. A. (2015). Educação científica em ação: a cartografia de controvérsias como prática de cidadania técnico-científica. *Caderno de Pesquisa*, 22 (3), 133-147.
- Feyerabend, P. (2011). *Contra o Método* (2 ed.). São Paulo: Unesp.
- GIL-SALOM, L., & SOLER-MONREAL, C. (2009). Interacting with the Reader: Politeness Strategies in Engineering Research Article Discussions. *international Journal of English Studies* (Special Issue), 175-189.
- Goldstein, R. (2008). *Incompleteness: A prova e o paradoxo de Kurt Gödel* (Vol. São Paulo): Companhia das Letras.
- Iorio, J. M., Hamm, C., Parnell, W., & Quintero, E. (2017). Place, matters of concern, and pedagogy: Making impactful connections with our planet. *Journal of Early Childhood Teacher Education*, 38 (2), 121-135. doi: 10.1080/10901027.2017.1306600
- Kant, I. (2000). *The Critique of Power and Judgement*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kirch, S. A., & Ma, J. Y. (2016). The relationship between passibility, agency and social interaction and its relevance for research and pedagogy. *Cultural Studies of Science Education*, 11 (4), 1103-1113. doi: 10.1007/s11422-015-9726-0
- Kuhn, T. (1978). *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Perspectiva.
- Latour, B. (1983). Give me a laboratory and I will raise the world. In M. K.-C. MULKAY, K (Ed.), *Science observed: perspectives on the study of science* (pp. 141-170). London: Sage.
- Latour, B. (1985). Les 'Vues' de l'Esprit: une introduction à l'anthropologie des sciences et des techniques application/pdf icon. *Culture Technique* (14), 5-29.
- Latour, B. (1988a). The Politics of Explanation: An Alternative. In S. Woolgar (Ed.), *Knowledge and Reflexivity*, (pp. 155-176). London: Sage.

- Latour, B. (1988b). A Relativistic Account of Einstein's Relativity. *Social Studies of Science*, 18, 42.
- Latour, B. (1992a). One more turn after the social turn. In E. McMullin (Ed.), *The social dimension of science* (pp. 272-294). Notre Dame: University of Notre Dame.
- Latour, B. (1992b). Pasteur on lactic acid yeast: a partial semiotic analysis. *Configuration*, 1 (1), 129-146.
- Latour, B. (1993). *The Pasteurization of France* Massachussets: Harvard Univeristy Press.
- Latour, B. (1994). Pasteur et Pouchet: Hétérogenèse de l'Histoire des Sciences. In M. Serres (Ed.), *Éléments d'Histoire des Sciences*. Paris: Bordas.
- Latour, B. (1995). O Reino do Texto Científico. In N. WITKOWSKI (Ed.), *Ciência e Tecnologia Hoje* (pp. 399-401). São Paulo.
- Latour, B. (1996). On interobjectivity. *Mind Cuture and Activity*, 3 (4), 225-248.
- Latour, B. (1999a). Fr David Bloor ... and Beyond: A Reply to David Bloor's 'Anti Latour'. *Studies in Hlstory and Philosphy of Science*, 30 (1), 113-129.
- Latour, B. (1999b). *Pandoras Hope - Essays on the Reality of Science Studies*. Cambridge: Harvard University Press.
- Latour, B. (2000). Berlin Key or how to do words with things. In Graves-Brown (Ed.), *Matter, materiality and modern culture*, . London: Routledge.
- Latour, B. (2004a). The Last Critique. *Harper's Magazine*.
- Latour, B. (2004b). WHOSE COSMOS, WHICH COSMOPOLITICS? *Common Knowledge*, 10 (3), 450-462.
- Latour, B. (2004c). Why Has Critique Run out of Steam? From Matters of Fact to Matters of Concern. *Critical Inquiry*, 30 (2), 25-48.
- Latour, B. (2005). *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network Theory*. Oxford: Oxford University Press.
- Latour, B. (2009). *The Making of Law: An Ethnography of the Conseil d'Etat*. Maden: Polity Press.
- Latour, B. (2011). *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora* (2 ed.). São Paulo: Unesp.
- Latour, B. (2013). *Jamais Fomos Modernos* (3 ed.). São Paulo: Editora 34.
- Latour, B. (2014). Para distinguir amigos e inimigos no tempo do antropoceno. *Revista de Antropologia*, 57 (1), 11-31.

- Latour, B., Jensen, P., Venturini, T., Grauwin, S., & Boullier, D. (2012). 'The whole is always smaller than its parts': a digital test of Gabriel Tardes' monads. *Br J Sociol*, 63 (4), 590-615. Disponível em <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23240834>
- Latour, P. & Porter, C. (2004). *Politics of Nature: How to Bring the Sciences into Democracy*. London: Harvard University Press.
- Latour, B., & Woolgar, S. (1988). *La vie de laboratoire: la Production des faits scientifiques*. Paris: La Découverte.
- Law, J. (1986). On the Methods of Long Distance Control: Vessels, Navigation, and the Portuguese Route to India. In J. Law (Ed.), *Power, Action and Belief: A New Sociology of Knowledge? Sociological Review Monograph 3* (pp. 234-263). Henley: Routledge.
- Lemaine, G., & Matalon, B. (1969). La lutte pour da vie dans la cité scientifique. *Revue Française de Sociologie*, 10 (2), 139-165.
- Lemke, J. L. (2001). Articulating Communities: Sociocultural Perspectives on Science Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 38 (3), 21.
- Lima Junior, P., Deconto, D. C. S., Andrella Neto, R., Cavalcanti, C. J. d. H., & Ostermann, F. (2014a). Marx como referencial para análise de relações entre ciência, tecnologia e sociedade. *Ciência & Educação (Bauru)*, 20, 175-194. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132014000100011&nrm=iso
- Lima Junior, P., Ostermann, F., & Rezende, F. (2014b). Marxism in Vygotskian approaches to cultural studies of science education. *Cultural Studies of Science Education*, 9 (3), 543-566. doi: 10.1007/s11422-013-9485-8
- Lopes, A. C. (2013). Teorias pós-críticas, política e currículo. *Educação, Sociedade e Culturas*, 39, 7-23.
- Melo, M. d. F. A. d. Q. (2010). A pipa e os quatro significados da mediação sociotécnica: articulações possíveis entre a Educação e a Psicologia para o estudo de um brinquedo. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 10 (2), 1-18.
- Melo, T. B. d., Fernanda Costa da Cruz de Pontes, Albuquerque, M. B. d., Silva, M. A. F. B. d., & Chrispino, A. (2016). Os Temas de Pesquisa que Orbitam o Enfoque CTS: Uma Análise de Rede sobre a Produção Acadêmica Brasileira em Ensino. *Revist Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 16 (3).
- Mion, R. A., Alves, J. A. P., & Carvalho, W. L. P. (2009). IMPLICAÇÕES DA RELAÇÃO ENTRE CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE: subsídios para a formação de professores de Física. *Experiências em Ensino de Ciências*, 4 (2), 47-59.

- Mitroff, I. I. (1974). *The subjective side of science*. Amsterdam: Elsevier.
- Mody, C. C. M. (2015). Scientific Practice and Science Education. *Science Education*, 99 (6), 1026-1032.
- Nietzsche, F. (2012). *A Gaia Ciência*. São Paulo: Companhia do Bolso.
- Oliveira, J. R. S., & Queiroz, S. L. (2015). Elaboração de um mapa de caracterização do texto científico: referenciais teóricos e aplicação em destaque. *Investigações em Ensino de Ciências*, 20 (1), 142-166.
- Oliveira, M. A. (2010). ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA NO CLUBE DE CIÊNCIAS DO ENSINO FUNDAMENTAL: UMA QUESTÃO DE INSCRIÇÃO. *Revista Ensaio*, 12 (02), 11-26.
- Ostermann, F., Loguerico, R., & Santos, F. M. T. (2016). *Educação para a Ciência*. Trabalho apresentado em 7ª edição do Ciclo de Conferências Estudos Avançados em Ciências e Humanidades, Porto Alegre.
- Palharini, L. (2012). Conhecimento disciplinar: (im)possibilidades do discurso sobre a problemática ambiental. *Pesquisa em Educação Ambiental*, 2 (2), 29. doi: 10.18675/2177-580X.vol2.n2.p29-48
- Pierce, C. (2015). Learning about a fish from an ANT: actor network theory and science education in the postgenomic era. *Cultural Studies of Science Education*, 10, 83-107.
- Popper, K. (2008). *Conjecturas e Refutações* (5 ed.). Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- Premebida, A., neves, F. m., & Almeida, J. (2011). Estudos sociais em ciência e tecnologia e suas distintas abordagens. *Sociologias*, 13 (26), 22-42.
- Queiroz, S. L., & Almeida, M. J. P. M. (2004). Do fazer ao compreender ciências: reflexões sobre o aprendizado de alunos de iniciação científica em química. *Ciência & Educação (Bauru)*, 10 (1), 41-53.
- Rezzadori, C. B. D. B., & Oliveira, M. A. (2011). Rede sociotécnica de um laboratório de química do ensino médio. *Experiências em Ensino de Ciências*, 6 (3), 16-37.
- Richard, V., & Bader, B. (2010). Re-presenting the social construction of science in light of the propositions of Bruno Latour: For a renewal of the school conception of science in secondary schools. *Science Education*, 94 (4), 743-759. doi: 10.1002/sce.20376
- Roth, W. M., & Tobin, K. (1997). Cascades of inscriptions and the re-presentation of nature: how numbers, tables, graphs, and money come to re-present a rolling ball. *International Journal of Science Education*, 19 (9), 1075-1091. doi: 10.1080/0950069970190906
- Roxael, F. R., Diniz, N. d. P., & Oliveira, J. R. S. d. (2015). O Trabalho do Cientista nos Cartuns de Sidney Harris: Um Estudo sob a Perspectiva da Sociologia

da Ciência. *Química Nova na Escola*, 37. doi: 10.5935/0104-8899.20150020

- Santos, W. L. P. d., & Mortimer, E. F. (2000). Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência - Tecnologia - Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 2, 110-132. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21172000000200110&nrm=iso
- Sartre, J. P. (2007). *Existentialism is a Humanism*. New Haven: Yale University Press.
- Slezak, P. (1994). Sociology of Scientific Knowledge and Science Education Part 2: Laboratory Life Under the Microscope. *Science & Education*, 3, 329-355.
- Solbrække, K. N., Solvoll, B.-A., & Heggen, K. M. (2013). Reframing the field of gender and nursing education. *Gender and Education*, 25 (5), 640-653. doi: 10.1080/09540253.2013.819969
- Stetsenko, A. (2008). From relational ontology to transformative activist stance on development and learning: expanding Vygotsky's (CHAT) project. *Cultural Studies of Science Education*, 3 (2), 471-491. doi: 10.1007/s11422-008-9111-3
- TAKAO, A. Y., & KELLY, G. J. (2003). Assessment of Evidence in University Students' Scientific Writing. *Science & Education*, 12, 341-363.
- Tarde, G. (1999). *Monadologie et sociologie*. Paris: Les Empêcheurs de penser en rond.
- van Eijck, M. (2010). Addressing the Dynamics of Science in Curricular Reform for Scientific Literacy: The case of genomics. *International Journal of Science Education*, 32 (18), 2429-2449. doi: 10.1080/09500690903473399
- Venturini, T. (2009). Diving in magma: how to explore controversies with actor-network theory. *Public Understanding of Science*, 19 (3), 258-273.
- Vianna, D. A., & Carvalho, A. M. P. (2001). Do fazer ao ensinar ciência: a importância dos episódios de pesquisa na formação de professores. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6 (2), 111-132.
- Vianna, D. M., & Carvalho, A. M. P. (2001). Bruno Latour e contribuições da antropologia da Ciência: Aspectos para o Ensino das Ciências. *Ciência e Ensino* (10), 14-19.
- Vygotsky, L. (2015). *A Formação Social da Mente*. São Paulo: Martins Fontes.
- 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. doi: 10.1002/sce.20267

- Wertsch, J. (1985). *Vygotsky and the Social Formation of the Mind*. Massachusetts: Harvard University Press.
- Wertsch, J. (1992). *Voices of the mind: a sociocultural approach to mediated action*. Cambridge: Harvard University Press.
- Whitehead, A. N. (1979). *Process and Reality: An Essay in Cosmology*. London: Collier MacMillan Publishers.
- Wittgenstein, L. (1968). *Tractatus Logico-Philosophicus*. São Paulo: Companhia Editora Nacional.
- Zaiuth, G., & Hayashi, M. C. P. I. (2011). A Apropriação do Referencial Teórico de Paulo Freire nos Estudos sobre Educação CTS. *Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Sociedade*, 2 (1), 278-292.
- Zemplén, G. Á. (2007). Putting Sociology First—Reconsidering the Role of the Social in ‘Nature of Science’ Education. *Science & Education*, 18 (5), 525-559. doi: 10.1007/s11191-007-9125-3

4. Terceiro Artigo Original

Dos Estudos da Ciência de Bruno Latour para a Pesquisa em Educação em Ciências: Reflexões Ontológicas, Epistemológicas e Metodológicas

Resumo: O objetivo deste trabalho é fazer uma reflexão sobre as possibilidades e condições de se utilizar os Estudos da Ciência de Bruno Latour como referencial teórico-metodológico para a Pesquisa em Educação em Ciências. Partindo da concepção de que o método de pesquisa deve ser consistente com a visão de mundo (ontológica e epistemológica) adotada, fazemos uma discussão sobre as principais teses de Bruno Latour e suas implicações metodológicas. Apresentamos, também, os métodos de pesquisa presentes em sua obra, bem como reflexões sobre sua possível apropriação pela Pesquisa em Educação em Ciências. Na sequência, entendendo a Ciência e a Educação em Ciências como atores-rede que se sobrepõem, exploramos como que problemas tradicionalmente estudados no âmbito da Pesquisa em Educação em Ciências podem ser formulados como problemas também dos Estudos da Ciência.

Palavras Chave: Estudos da Ciência, CTS, Latour

Abstract: The objective of this work is to reflect on the possibilities and conditions of using Bruno Latour's Science Studies as a theoretical-methodological reference for Research in Science Education. Starting from the conception that the research method should be consistent with the worldview (ontological and epistemological) adopted, we discuss Bruno Latour's main theses and their methodological implications. We also present the research methods present in his work, which can be used in any other area of research as well as some practical reflections. Following, understanding Science and Education in Sciences as overlapping network actors, we explore how problems traditionally studied in the field of Research in Science Education can be formulated as problems of Science Studies and how new problems arise from symmetrical treatment of the two areas.

Keywords: Science Studies, STS, Latour, CTS, Latour

1. Introdução

Os Estudos da Ciência²¹ compreendem um grupo heterogêneo de pesquisas sobre as mais diversas áreas da ciência e suas relações com a sociedade e tecnologia, abarcando estudos historiográficos, análise de discurso, ensaios etnográficos, estudos sobre controvérsias científicas, entre outros (MODY, 2015).

Em tal cenário, Bruno Latour é considerado um dos pesquisadores mais relevantes e controversos (ZEMPLÉN, 2007). Conhecido, principalmente, por sua obra *A Vida de Laboratório* (LATOURE e WOOLGAR, 1988), um estudo etnográfico realizado em um laboratório de neuroendocrinologia, Latour recebeu de muitos o rótulo de relativista, pós-moderno e inimigo das ciências (SLEZAK, 1994). Sua produção intelectual, entretanto, aponta para um sentido distinto: Latour não é um inimigo da ciência (LATOURE, 1999), nem um relativista (LATOURE, 2013), nem um pós-moderno (LATOURE, 2013).

Sua obra, como um todo, estabelece uma visão de mundo construtivista (mas não idealista) e não essencialista, baseada na Sociologia de Gabriel Tarde (1999), na Filosofia das Proposições de Whitehead (1979) e na Sociologia da Tradução de Michel Callon (1986). A partir de tal quadro filosófico e sociológico, Latour vem desenvolvendo seus estudos empíricos sobre a ciência (principalmente sobre as ciências experimentais), sendo um precursor do movimento de descrição da prática científica, a chamada “ciência em ação”. Assim, seu objetivo não é se contrapor à ciência, mas apresentar um relato mais realista de sua prática, explicitando suas incertezas, controvérsias, dúvidas e disputas.

Poucos artigos exploram as implicações da obra de Latour para a Educação em Ciências e para a Pesquisa em Educação em Ciências²². A recomendação mais comum advinda da literatura, que se baseia em sua obra, é a de se avançar para além do ensino do conhecimento científico em direção ao ensino da prática científica (RICHARD e BADER, 2010; VIANNA, D. A. e CARVALHO, A. M. P.,

²¹ Em inglês, *Science Studies*, chamados por alguns de movimento Science, Technology and Society (STS) ou em português, Ciência, Tecnologia e Sociedade. É um movimento de estudo da ciência sob uma perspectiva sociológica. Não se deve confundir com o movimento homônimo da Educação em Ciências.

²² Ainda que Educação em Ciências e Pesquisa em Educação em Ciências sejam atividades correlacionadas, permanecem sendo distintas, na medida em que mobilizam atores diferentes com objetivos diferentes.

2001; VIANNA, D. M. e CARVALHO, A. M. P., 2001). Em termos de problematização sobre a Pesquisa em Educação em Ciências, entretanto, não encontramos nenhum artigo que faça uma reflexão sobre as potencialidades e condições de se transladar ou expandir a obra de Latour para tal área. Apesar disso, iniciativas dispersas têm usado elementos de sua obra (ROTH e TOBIN, 1997) e, principalmente, sua Teoria Ator-Rede (TAR) (LATOURE, 2005; LATOUR *et al.*, 2012) para estudar problemas tipicamente científico-didáticos (FARIA e COUTINHO, 2015; REZZADORI e OLIVEIRA, 2011; VAN EIJK, 2010).

Partindo da noção de que, em uma investigação, deve-se adotar um método de pesquisa consistente com a visão de mundo que sustenta a descrição do que está sendo estudado (uma concepção estruturalista exige um método estruturalista, uma concepção sistêmica exige um método sistêmico, uma concepção dialética exige um método dialético) (DEMO, 1995), nosso primeiro objetivo é discutir a concepção ontológica e epistemológica de Bruno Latour e explicitar quais são as implicações metodológicas advindas desses pressupostos. Pretendemos indicar quais orientações que devem ser observadas a fim de que um trabalho de pesquisa (em qualquer área) possa ser articulado consistentemente com a sua obra. Tais orientações, entretanto, não são passos de um manual de instrução. Pelo contrário, são proposições de cunho ontológico-epistemológico refletidas em questões metodológicas, como, por exemplo, quais são os possíveis objetos de pesquisa e qual o possível sentido de seu desenvolvimento. Indicamos, também, quais métodos são usados pelo autor, comentando elementos a serem observados para que as orientações metodológicas sejam respeitadas.

No caso da Pesquisa em Educação em Ciências, propriamente, a relação com a obra de Latour pode ser ainda mais íntima, pois sua noção de ciência como um sistema circulatório, que se associa a diferentes atores da sociedade, permite entender as diferentes esferas escolares como parte integrada, mas não subordinada, à ciência e não algo externo a ela, o que tornaria a Educação em Ciências um problema de Estudos da Ciência. A partir de tal perspectiva, nosso segundo objetivo é apresentar uma interpretação de problemas tradicionais da área de Pesquisa em Educação em Ciências à luz do referencial de Estudos da Ciência de Bruno Latour. Pretendemos, assim, fornecer subsídios ontológicos, epistemológicos e metodológicos para que se possa desenvolver uma linha de

pesquisa em “Estudos da Educação em Ciências”, uma extensão da linha de pesquisa do próprio Bruno Latour.

2. Visão ontológica e epistemológica de Bruno Latour e suas implicações metodológicas

Destacamos, nessa seção, as principais teses ontológicas e epistemológicas da obra de Latour bem como as implicações metodológicas. De acordo com o autor, ontologia e epistemologia estão intimamente associadas (LATOURE, 1999). Apresentamo-las, separadamente, apenas, para garantir a clareza. Mantendo a consistência com a obra de Latour, discutimos, no início da seção 2.2, como as implicações epistemológicas decorrem das teses ontológicas.

2.1. Visão Ontológica de Bruno Latour e Implicações Metodológicas.

A visão ontológica de Latour aparece distribuída em diferentes obras: em seu ensaio *Jamais Fomos Modernos* (LATOURE, 2013), por exemplo, é explicitado seu entendimento sobre a essência e a existência dos diferentes atores que compõe a natureza e a sociedade; enquanto que, em *Esperança de Pandora* (LATOURE, 1999), diversos estudos da ciência são apresentados com o intuito de se discutir sobre a realidade da qual a ciência fala. Entendemos que as diferentes proposições de Latour são consistentes entre si e refletem uma visão de mundo “ator-rede”, conceito que vem ocupando papel central em seus estudos recentes (LATOURE, 2005; LATOURE *et al.*, 2012).

Fundamentando-se na sociologia de Gabriel Tarde (TARDE, 1999), Latour define um ator como uma mônada²³, uma unidade cujas propriedades não são intrínsecas e, sim, determinadas pela configuração das demais mônadas²⁴. Um ator não existe por si só e não tem propriedades e performances intrínsecas (não possui uma essência objetiva e imutável). São os demais atores que, associados

²³ O conceito de mônada na obra de Tarde é trazido da Filosofia de Leibniz.

²⁴ Algo semelhante aparece em Bachelard (1978) quando descreve a visão racionalista dialética: nesta visão, os conceitos fundamentais são complexos e dependem de outros conceitos.

em rede, constituem um ator específico e permitem sua *performance* (LATOURET *et al.*, 2012), sempre de forma contingente, dinâmica e provisória. Da mesma forma, esse ator específico integra a rede dos demais atores e, também, os afeta e os altera, de forma que cada ator é uma rede e cada rede pode ser entendida como um ator.

Quando alguém é apresentado a um sujeito chamado Paulo, por exemplo, não se tem nenhuma ideia sobre a “essência” de Paulo, sobre quem Paulo “é”. Passa-se a saber, então, que Paulo é formado em Física, estudou na USP, trabalha na UFRJ, publica artigos sobre nanomateriais, é marido de Maria e pai de Paula. Aquilo que antes não ‘era’ nada, o ator Paulo, agora, expressa algo muito específico: Paulo-pai-marido-físico-ex-aluno-da-USP-professor-da-UFRJ-sobre-nanomateriais. Ao caracterizarmos o ator, entretanto, mobilizamos uma série de atores que não são o Paulo (Física, USP, UFRJ, nanomateriais, Maria e Paulo). Paulo, agora, é o rótulo que designa toda a rede heterogênea de atores humanos e não-humanos e suas associações. A essência do ator Paulo só existe pela caracterização da rede. Quanto mais extensa for a rede, mais “real” será Paulo e quanto mais estáveis forem as associações da rede, mais clara será a essência de Paulo. Se, repentinamente, Paulo pedir demissão, divorciar-se, trocar de área e parar de publicar artigos sobre nanomateriais, nada saberemos sobre a essência de Paulo. Teremos que traçar uma nova rede para sermos capazes de identificar o ator.

Da mesma forma, se analisarmos um ator da rede de Paulo, a USP, veremos que ela, por sua vez, é formada por uma rede de não-humanos e de humanos (incluindo Paulo). A USP forma a rede de Paulo e Paulo forma a rede da USP. Da mesma forma, humanos são formados por redes que envolvem não-humanos e não-humanos são formados por redes que envolvem humanos. As associações são simétricas.

Como cada ator é um “envelope” para uma rede heterogênea de humanos e não-humanos, o mesmo raciocínio usado para descrever Paulo pode ser usado para um ente físico. O vácuo, por exemplo, não é um ator que existe pronto de forma objetiva na natureza. O vácuo dos gregos possuía certos atributos. O vácuo que Boyle produz em sua bomba de vácuo possui outros atributos, pois mobiliza uma nova rede: é um novo vácuo. Conforme novos experimentos vão

sendo realizados, novos elementos são acrescentados à rede do vácuo, novos atores, novas associações, novas performances.

“Vácuo”, no fim, é o rótulo que damos àquilo que vai sendo estabilizado pela movimentação da rede. Enquanto o movimento for estabilizador e agregador, o vácuo sobrevive; se, por algum motivo, entretanto, as associações começarem a se dispersar, o vácuo pode passar a deixar de existir. Isso não é nenhuma novidade nas ciências, todos os entes que existiram como fatos e, posteriormente, passaram a ser chamados de artefatos (o éter, o calórico, os raios N), podem ser interpretados como um ator que foi desarticulado.

Dessa forma, novos atores podem sempre surgir na natureza (pela associação de atores antigos) ou serem destruídos, quando uma rede é desarticulada. Quando Pasteur (um primeiro ator) se associa com o fermento (outro ator), por exemplo, ambos são capazes de, conjuntamente, formar o ácido láctico (um terceiro ator). Antes de “Pasteur-e-fermento”, podia existir a fermentação; mas não, o ácido láctico (LATOURE, 1999).

O número de atores no final do trabalho de Pasteur e do fermento não é igual ao do início. Enquanto um epistemólogo moderno diria que Pasteur descobriu o ácido láctico, o qual sempre esteve na natureza, Latour afirma que Pasteur e o fermento o construíram conjuntamente. No final do trabalho, ainda, o fermento foi modificado e Pasteur também, pois ambos vivem num novo mundo, pois ambos têm um novo elemento que integra sua rede.

Tal visão monadal traz, pelo menos, três implicações metodológicas. A primeira é que humanos e não-humanos devem ser tratados simetricamente – todos são redes heterogêneas, todos são atores²⁵. Como tal, eles não são meros intermediários kantianos, mas mediadores e tradutores (CALLON, 1986). Quando um ator humano e um ator não-humano se associam, o ator humano muda a agência do ator não-humano e o ator não-humano muda a agência do ator humano (LATOURE, 1999). Tal processo de deriva, de variação de agência do sistema formado é o que Latour chama de tradução e mediação (LATOURE, 1999). Sem o fermento, Pasteur jamais teria chegado ao ácido láctico e, sem Pasteur, o fermento jamais poderia ter proposto o ácido láctico.

²⁵ A mesma visão poderia ser descrita na terminologia da Filosofia das Proposições, segundo a qual os atores são chamados de proposições e suas associações de articulação (LATOURE, 1999).

Tal noção explicita a indissociabilidade entre os elementos chamados naturais e sociais, pois os elementos naturais formam a rede da sociedade e vice-versa. Ou seja, para Latour, natureza e sociedade não são polos ontológicos separados como prevê a constituição moderna (LATOURE, 2013): a realidade é formada pelo coletivo natureza-sociedade e todos os atores (humanos e não-humanos) presentes nele. Enquanto que os trabalhos modernos falam só da natureza (epistemologia), só da sociedade (sociologia) ou só da linguagem (semiótica), Latour propõe que possamos falar de todos esses elementos indistintamente, podendo cruzar quantas vezes forem necessárias as fronteiras entre objetos e signos, ciência e política, conhecimento e crença. Assim, a primeira orientação metodológica é que a pesquisa deve se debruçar entre o coletivo de humanos e não-humanos e tratar todos os elementos simetricamente. Um trabalho que só privilegie a ação humana e renegue o direito à historicidade e à agência aos não-humanos, dificilmente pode ser articulado à visão de Latour.

A segunda implicação ontológica é que os atores não existem objetiva e intrinsecamente, mas pela sustentação da rede, tendo início e possível fim, ou, como Latour diz, não existem grupos, apenas grupos em formação (LATOURE, 2005). No caso do hormônio construído no laboratório em que Latour fez seu primeiro estudo etnográfico da ciência (LATOURE e WOOLGAR, 1988), por exemplo, o rótulo TRF é dado para a interpretação de sinais obtidos por diferentes “inscritores” à luz de diferentes teorias científicas. TRF é um rótulo, uma “caixa-preta”, que esconde toda a rede. Se um elemento da rede for mudado, como uma teoria usada ser invalidada, por exemplo, a essência do TRF será modificada ou, até mesmo, o TRF pode deixar de existir.

Como as redes não são estruturas fixas, mas associações dinâmicas, elas estão sempre tensionadas e sujeitas a modificação, assim como os atores também estão. Assim, a segunda orientação metodológica é que não podemos falar de atores fixos e objetivos. Qualquer ator, seja uma instituição, um conceito físico, um ente físico, está sempre em constante tensão e associação. Um trabalho que caracterize atores como se fossem objetos-em-si, ou estabelece de forma rígida suas características de classes e grupos terá dificuldades em se valer dos conceitos de Latour.

A terceira implicação, consequência da segunda, é que, como os atores do mundo estão sempre sendo criados, destruídos e modificados, não existe uma

natureza e uma sociedade objetivas, fixas, que podem ser tratadas de forma *a priori*. Elas são construídas e tem sua essência estabilizada pelas práticas dos diferentes atores (humanos e não-humanos). Assim a terceira orientação metodológica diz respeito sobre como uma pesquisa de Estudos da Ciência deve ser conduzida: o sentido para o qual sua pesquisa se move é em direção a estabilizar a natureza e a sociedade e não o contrário, partir de uma natureza e sociedade pré-estabelecidas, como fazem a epistemologia e a sociologia modernas. Um epistemólogo absolutista, como Popper, por exemplo, diria que um cientista teve seus testes corroborados, pois se aproximou de uma Verdade objetivamente existente no mundo externo (POPPER, 2008). Da mesma forma, um sociólogo durkheimiano explicaria um determinado acontecimento social usando elementos sociológicos pré-estabelecidos como classes e grupos.

Latour, por outro lado, ao olhar para uma prática científica, não parte de uma natureza e de uma sociedade pré-estabelecidas; mas estuda como a natureza e a sociedade são modificadas e estabilizadas com a prática científica, entendendo que essa construção é sempre contingente e provisória. Representamos a diferença e sentido de uma pesquisa moderna e latouriana na figura 1.

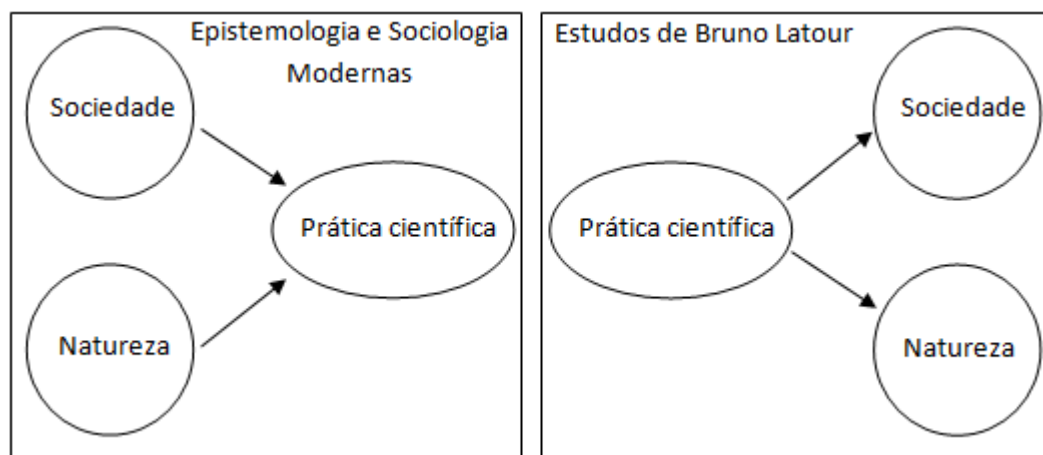


Figura 1. Diferença metodológica entre Epistemologia e Sociologia modernas e os Estudos de Latour. Enquanto que, no primeiro caso, o polo sociedade e o polo natureza são as fontes de explicação; no segundo, eles são aquilo a ser explicado. Natureza e Sociedade, para Latour, não existem objetivamente, mas estão sempre sendo estabilizados pela interação entre diferentes atores.

O estudo sobre um livro de divulgação da Teoria da Relatividade Geral escrito por Einstein (LATOURE, 1988), é um exemplo no qual Latour se preocupa explicitamente com o sentido da pesquisa. Ele não parte de uma definição do que seria a Física Teórica ou um trabalho científico. Justamente, pelo estudo semiótico da obra de Einstein, a pergunta que Latour responde é como, ao final do trabalho de Einstein, a natureza e a sociedade são transformadas. Resumimos as três orientações ontológicas-metodológicas na tabela 1.

Tabela 1. Orientações Ontológicas-Metodológicas

Primeira Metodológica	Orientação	Ontológica-	Humanos e não-humanos devem ser tratados simetricamente, com direito à agência e à historicidade.
Segunda Metodológica	Orientação	Ontológica-	Atores não devem ser tratados como se existissem objetivamente, mas são rótulos para rede que os sustentam.
Terceira Metodológica	Orientação	Ontológica-	O sentido da pesquisa deve ser na direção de estabilizar o que é a natureza e sociedade.

2.2. Visão Epistemológica de Bruno Latour e Implicações Metodológicas

Como mencionamos, para Latour, ontologia e epistemologia não são dissociados. Assim, sua visão ontológica tem uma implicação epistemológica direta: conhecimento e crença devem ser tratados simetricamente²⁶. Como não existe uma realidade externa objetiva, contra a qual podemos confrontar proposições, não existe uma demarcação entre o que sejam proposições verdadeiras ou falsas. Então, trabalhos que criam uma noção de verdade e falsidade absolutas não se articulam bem com a visão de mundo de Latour, como o que acontece com trabalhos que criam visões dicotômicas (ciência e pseudo-ciência, história e pseudo-história).

²⁶ Essa assertiva epistemológica também aparece no Programa Forte da Sociologia.

Ao contrário do que uma primeira leitura poderia indicar, a diluição do conceito de verdade e falsidade não implica um posicionamento relativista radical. Uma vez que cada proposição (ou ator) só existe pela articulação com outras proposições (a rede), podemos entender que a validade de uma proposição se estende apenas nos limites de seu envelope espaço-temporal de validade (a rede). Quanto mais proposições forem articuladas a uma proposição, maior será seu envelope espaço-temporal de validade (LATOUR, 1999), pois maior será sua rede. Isso nos permite hierarquizar proposições ou coletivo cultura-natureza. Assim, não se pode dizer que a cultura científica é verdadeira enquanto outras culturas são falsas, mas podemos afirmar que seu coletivo é mais extenso, mobiliza mais atores, possui uma rede maior (LATOUR, 2013). Esta é uma segunda implicação epistemológica: o trabalho não deve ser relativista – há possibilidade de hierarquização de proposições ou redes. Não estamos presos no mundo desconstruído dos pós-modernos.

Por fim, como o trabalho de pesquisa de Latour se dá sobre uma rede heterogênea de atores humanos e não-humanos, a busca de associações entre atores não pode se limitar a grupos sociais intrínsecos. Um laboratório de pesquisa, como um ator, só se sustenta por uma rede de atores de diferentes esferas da sociedade (alguns mais próximos outros mais distantes) e cujas associações podem ser traçadas. De longe, parece que há uma ciência com fronteiras nítidas cercadas por uma sociedade externa. Quando nos aproximamos, percebemos as intensas relações existentes entre, dentro e fora.

Com essa concepção, Latour descreve simetricamente, por exemplo, como Elliot, ao desenvolver um programa de energia nuclear, mobiliza os nêutrons (“natureza”) e o Ministério da Defesa (“sociedade”) para atingir seus objetivos, isto é, Latour mostra como objetivos científicos são traduzidos em objetivos políticos e vice-versa (LATOUR, 1999) em um emaranhado de relações complexas e difusas. Para explicar essas relações, Latour faz uma descrição Ator-Rede da atividade científica usando um modelo de sistema circulatório. Para ele, existem 4 processos que formam a prática científica (LATOUR, 1999). O primeiro é a mobilização do mundo, que envolve a prática de laboratório (entendida aqui como a mobilização de diferentes actantes ou a articulação de diferentes proposições). O segundo é a autonomização, isto é, busca de colegas que trabalhem em problemas próximos e que permita a sustentação de uma área

de pesquisa. O terceiro é a criação de alianças que permitam o financiamento e desenvolvimento da pesquisa. O quarto é a representação pública, que trata de levar e validar a prática científica perante a sociedade. É somente da confluência desses quatro processos, que envolvem atores das mais diversas áreas da sociedade, que identificamos um quinto processo que são as conexões e os nós, o que normalmente, identificamos como a prática científica. Representamos a prática científica na figura 2.

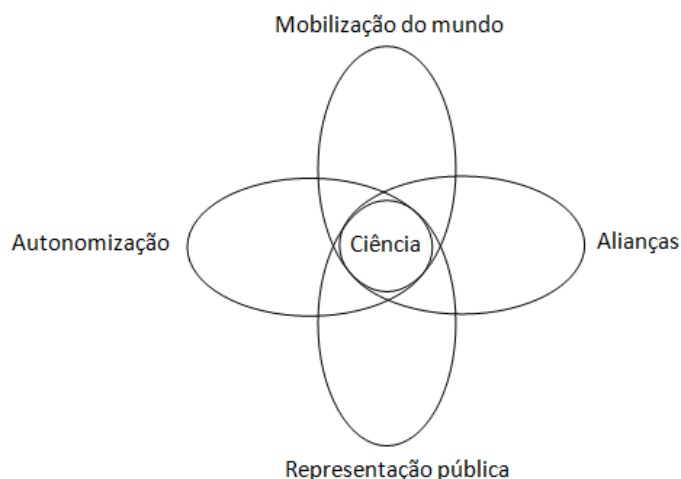


Figura 2. Sistema Circulatório da Ciência

Tal descrição resulta, portanto, na terceira consequência epistemológica: não existem interior e exterior da ciência. Quando chegamos perto da ciência em ação, percebemos que atores de todas as esferas da sociedade são mobilizados para que a prática científica possa ocorrer. Assim, trabalhos que lidam com história interna e externa da ciência, por exemplo, criarão pontos de desarticulação com a obra de Latour. Resumimos as três consequências epistemológicas-metodológicas na tabela 2.

Tabela 2. Orientações Epistemológicas-Metodológicas/Implicações para a Pesquisa

Primeira Metodológica	Orientação Epistemológica-	Conhecimento e crença devem ser tratados simetricamente.
-----------------------	----------------------------	--

Segunda Metodológica	Orientação	Epistemológica-	Não se deve adotar uma visão relativista absoluta, pois é possível hierarquizar proposições pela extensão da rede que elas mobilizam.
-------------------------	------------	-----------------	---

Terceira Metodológica	Orientação	Epistemológica-	Não se deve falar de interior e exterior da ciência
--------------------------	------------	-----------------	---

2.3. Métodos de Pesquisa na Obra de Latour e Reflexões sobre sua apropriação pela Pesquisa em Educação em Ciência

Nesta seção, não temos o objetivo de analisar os métodos de pesquisa utilizados por Latour; mas, tão somente, elencar as possibilidades existentes na sua obra bem como refletir sobre possíveis translações para a Pesquisa em Educação em Ciências. Deve-se levar em consideração, entretanto, que tais métodos de pesquisa, por si só, não garantem a consistência com a obra de Latour e precisam ser aplicados levando em consideração as reflexões apresentadas nas seções 2.1 e 2.2. Para ressaltar a necessidade de tal articulação, descrevemos, em cada método, considerações específicas a serem observadas. Os métodos são apresentados isoladamente, mas não queremos sugerir com essa apresentação que eles não possam ser combinados.

a) Ensaios Etnográficos à luz dos princípios metodológicos

Provavelmente, o método mais famoso aplicado por Latour é seu ensaio etnográfico (LATOURE e WOOLGAR, 1988), o que se repete em outras pesquisas (LATOURE, 1999). Em tais trabalhos, o objetivo é estudar a ciência (ou qualquer outro campo do conhecimento) em ação, viva, abrindo a sua caixa preta (LATOURE, 2011). Para isso, o pesquisador deve descrever a performance dos atores (humanos e não-humanos), traçando suas associações. No fim do trabalho, é possível descrever como a natureza e a sociedade são alteradas pela prática científica.

Nesses casos, deve-se ter o cuidado de se transitar simetricamente pelos diferentes elementos que compõem a rede. Trabalhos que lidam somente com

questões políticas ou culturais sem explicitar a heterogeneidade do coletivo, ou seja, fixando-se somente em relações entre humanos, não se alinham com a proposta de Latour.

b) Estudos Historiográficos à luz dos princípios metodológicos

É possível, também, fazer estudos historiográficos, como o estudo de Latour sobre Pasteur (LATOURE 1992; LATOUR, 1993; LATOUR 1994), sobre Elliot (LATOURE, 1999) e sua interpretação da história de Boyle e Hobbes (LATOURE, 2013). Deve-se, entretanto, ter cuidado para que a história contada não recaia nas visões modernas da história: não se deve recair na dicotomia história *versus* pseudo-história, todos os personagens (humanos e não-humanos) são atores e, portanto, a historicidade deve ser garantida a todos e, por fim, não se deve distinguir história interna e externa da ciência, de forma que se pode e se deve cruzar as fronteiras entre natural e social, científico e político quantas vezes forem necessárias.

c) Estudos Semióticos à luz dos princípios metodológicos

Embora Latour não possua trabalho sobre semiótica propriamente, sua preocupação com linguagem e signos aparece ao longo de toda a sua obra. Encontramos um estudo sobre o uso de referências em artigos científico como forma de blindagem social do trabalho de pesquisa (LATOURE, 2011), uma tipologia de enunciados que são usados no processo de estabilização de um fato científico (LATOURE e WOOLGAR, 1988), um estudo sobre a inter-relação entre tecnologia e signos (LATOURE, 1999), um estudo semiótico sobre um livro de Albert Einstein (LATOURE, 1988) e um estudo sobre a retórica de artigos científicos (LATOURE e FABBRI, 1977).

Esses elementos de análise semiótica podem ser buscados para elaborar dispositivos analíticos próprios para os problemas de interesse. É possível, a partir desses estudos, avaliar como a linguagem funciona, por exemplo, como elemento de associação entre os diferentes atores, ou como articulação das diferentes proposições. Ainda, o texto, entendido como um ator-rede, pode ser estudado utilizando as concepções da Teoria Ator-Rede (LATOURE *et al.*, 2012).

d) Estudos com TAR, Cartografia das Controvérsias e Métodos Computacionais

A Teoria Ator-Rede é fundamentada principalmente pelas obras de Latour (1993), Callon (1986) e Law (1986). Uma descrição detalhada sobre seu conceito de “sociologia ampliada” e o uso da TAR são apresentadas no livro *Reagregando o Social* (LATOURE, 2005).

Em um artigo recente, Latour *et al* (2012) apresentam o conceito de mônada na Sociologia de Tarde e defendem a tese de que o uso de testes digitais favorecem a utilização da sociologia de Tarde em comparação com a sociologia de Durkheim. O trabalho apresenta uma detalhada discussão sobre o uso de tais métodos computacionais.

Ainda no contexto da TAR, Latour propôs uma ferramenta de pesquisa (inicialmente criada para fins didáticos), chamada de Cartografia das Controvérsias (VENTURINI, 2009). Além das orientações que discutimos neste artigo, a Cartografia das Controvérsias traz indicações metodológicas adicionais:

- 1) Você não deve restringir sua observação a uma única teoria ou metodologia
- 2) Você deve observar a partir do maior número de pontos de vista possível e
- 3) você deve ouvir as vozes dos atores mais do que as suas hipóteses originais (VENTURINI, 2009, p. 260).

Ainda, Venturini (2009) dá indicações de como escolher boas controvérsias e fornece passos a serem seguidos em uma dada Cartografia. Por fim, em um artigo subsequente, são apresentados métodos digitais para o estudo de controvérsias (VENTURINI, 2012).

3. A Pesquisa em Educação em Ciências a partir da perspectiva dos Estudos da Ciência

As considerações apresentadas na seção 2 indicam quais condições devem ser satisfeitas por qualquer pesquisa que tenha como objetivo ser articulada aos Estudos da Ciência de Bruno Latour. Obviamente, não podemos considerar a articulação algo dicotômico (ou é consistente ou não é), podemos, entretanto, perceber que quanto mais pontos de congruência houver entre a pesquisa e as teses de Latour, maior a estabilidade da rede formada. A partir das tabelas 1 e

2 e dos métodos de pesquisa de Latour, apresentamos, na tabela 3, possibilidades de sua translação para a pesquisa em Ensino de Física.

Tabela 3. Reflexões Gerais sobre as Implicações do trabalho de Latour para a Pesquisa em Educação em Ciências

Orientações	Implicações para a Pesquisa em Educação em Ciências
Primeira Orientação Ontológica- Metodológica	<p>Quando humanos e não-humanos passam a ser tratados simetricamente, uma série de implicações surgem para a Pesquisa em Educação em Ciências. Primeiramente, no contexto escolar, deve-se considerar o papel de mediação desempenhado por não-humanos como instrumentos e outros objetos materiais. Não se pode pensar o ambiente escolar, por exemplo, sem levar em conta o papel de estruturas físicas, ferramentas didáticas e tecnológicas (sejam digitais ou não), entre outros. Além disso, os próprios objetos de estudo das Ciências (seus temas) são actantes com historicidade e agência que devem ser levados em consideração.</p> <p>No caso dos estudos etnográficos, tais indicações se refletem em quais actantes se devem prestar atenção. Um estudo etnográfico de sala de aula ou de um laboratório didático que não leve em conta o papel de não-humanos não pode ser considerado em consonância com a visão de Latour.</p>
Segunda Orientação Ontológica- Metodológica	<p>Quando deixamos de tratar os atores como se esses possuíssem essências objetivas e eternas, mas como redes em constante construção, não podemos fazer caracterizações últimas e universais; mas sempre contingentes e provisórias.</p> <p>Uma pesquisa em Educação em Ciências que descreva os entes da natureza ou da sociedade como se eles possuíssem uma essência objetiva ferem tal orientação. Quando falamos de uma instituição, como uma escola, essa</p>

	<p>é composta por uma rede de actantes (humanos e não-humanos) em constante transformação e, assim, sua <i>performance</i> nunca pode ser tomada como universal.</p>
<p>Terceira Orientação Ontológica- Metodológica</p>	<p>Uma pesquisa em Educação em Ciências, independentemente do método de pesquisa que ela usar, não pode explicar determinado acontecimento ou relação usando a natureza ou a sociedade como fonte de explicação, pois essas são justamente aquilo que será explicado.</p> <p>Justificar o sucesso de determinado experimento didático “porque o aluno descobriu uma certa relação da natureza” é posicionar a fonte da explicação do acerto na natureza. Uma pesquisa em consonância com a obra de Latour, por outro lado, busca explicar como que a natureza é modificada a partir do experimento didático do aluno.</p> <p>Além disso, qualquer explicação de cunho sociológico (no sentido durkheimiano) também fere esse princípio. Dizer, por exemplo, que determinada pessoa ou instituição age de uma determinada maneira devido ao seu contexto social pressupõe a existência de um polo social objetivamente existente, responsável por certos acontecimentos. Um estudo em consonância com a obra de Latour, por outro lado, estuda as associações entre determinados actantes e busca encontrar como que uma sociedade (rede de associações) contingente e temporária é formada a partir daquela situação.</p>
<p>Primeira Orientação Epistemológica- Metodológica</p>	<p>Quando crença e conhecimento passam a ser tratados de forma simétrica, a primeira consequência para a Pesquisa em Educação em Ciências é a impossibilidade de se usar referenciais epistemológicos absolutistas (tal como Popper, Lakatos, Bunge, etc). Pesquisas que diferenciam a noção de</p>

	<p>conhecimento e crença (MOREIRA-DOS-SANTOS e EL-HANI, 2017) também vão de encontro a essa orientação. Ademais, pesquisas que tratam de concepções alternativas como se houvesse uma oposição nítida entre o conhecimento científico (verdadeiro) e os não-científicos (falsos) também recaem em um posicionamento dicotômico que se opõe à noção de Latour.</p>
<p>Segunda Orientação Epistemológica- Metodológica</p>	<p>A visão de Latour não é relativista tão pouco pós-moderna. É possível, sim, entender porque certos entes são mais existentes do que outros, pois é possível mensurar a extensão das redes. Assim, pesquisas com visão pós-moderna e relativista não são consoantes com a visão de Latour.</p>
<p>Terceira Orientação Epistemológica- Metodológica</p>	<p>A última orientação exige que pensemos a ciência como uma rede extensa que engloba diferentes actantes. Assim não existe dentro e fora da ciência. Tal noção elimina a possibilidade de estudos históricos que diferenciam história interna e externa da ciência. Da mesma forma, podemos pensar que os ambientes estudantis também são redes extensas, de forma que não devemos falar de um contexto interno e externo à Educação, mas uma rede em que alguns atores estão mais próximos que outros.</p>

No caso específico da Pesquisa em Educação em Ciências, um passo adicional ainda pode ser dado no sentido de posicioná-la em relação à sua obra. Podemos, a partir da visão de sistema circulatório da ciência ressignificar áreas tradicionais de Pesquisa em Educação em Ciências como áreas de pesquisa tradicional de Estudos da Ciência, trazendo à tona simetrias, normalmente, negligenciadas. Isto é, é possível formular perguntas de pesquisa que se encontrem na intersecção das duas áreas. Para tanto, apresentamos quatro esferas de pesquisa (que estão inter-relacionadas, mas foram separadas em 4 subseções para garantir a clareza).

3.1. Formação de Cientistas como um Problema de Estudos da Ciência e de Pesquisa em Educação em Ciências

A primeira conexão possível e, provavelmente, a mais óbvia se refere à formação de cientistas. Tal tema é, claramente, de extremo interesse para a sociologia da ciência; mas vem sendo negligenciado não só por Latour, mas pela área de Estudos da Ciência (WEINSTEIN, 2008).

Como os cientistas ensinam o conhecimento científico? Como os futuros cientistas aprendem o conhecimento científico e como formam suas concepções sobre a ciência? Como a formação do cientista dialoga com sua futura prática? Como o conhecimento didático a qual o futuro cientista é submetido dialoga com o conhecimento dos artigos científicos? Essas são algumas questões que se posicionam claramente na intersecção da Pesquisa em Educação em Ciências e Estudos da Ciências.

Talvez o único trabalho que dê um exemplo de objeto dessa área híbrida é *A Estrutura das Revoluções Científicas* (KUHN, 1978), em que se discute o papel dos manuais de instrução em transmitir os problemas exemplares e garantir a delimitação do paradigma de pesquisa. Kuhn, entretanto, não apresenta nenhum estudo empírico sobre o problema, deixando uma vasta área de pesquisa a ser explorada.

Nesta área de pesquisa, são cabíveis estudos semióticos e metalinguísticos de livros didáticos e artigos científicos, estudos etnográficos de ambientes universitários, estudos ator-rede (o que engloba traçar associações entre atores tradicionalmente classificados dentro e fora do ambiente acadêmico, científico e didático) respeitando as considerações feitas na tabela 3.

3.2. A Educação em Ciências no Ensino Básico como um Problema de Estudos da Ciência e de Pesquisa em Educação em Ciências

De uma forma geral, as Pesquisas em Educação em Ciência tratam da Ciência na Educação; mas, dificilmente, estudam o papel da Educação Básica para a ciência. Essa prática assimétrica revela, também, uma concepção assimétrica sobre Educação e Ciências: a Educação é passível de tensionamento

por parte das ciências; mas não é capaz de a tensionar. A ciência, nessa visão implícita, é uma entidade objetiva, fixa, capaz de impactar a sociedade, mas não de ser impactada por ela.

Na visão ator-rede que estamos propondo, a ciência é parte da rede da Educação em Ciências; mas a Educação em Ciências também é parte da rede que constitui a Ciência. A comunidade científica pode impactar a Educação, seja pelo conteúdo que produz, seja interferindo no processo de elaboração de políticas públicas, por exemplo.

A Educação Básica, por sua vez, também pode interferir na prática da Ciência. No Sistema Circulatório da Ciência, as escolas de Educação Básica (e todos os atores que as compõem) podem ser entendidas como atores que participam da rede que sustenta a ciência, afetando-a na mesma medida que é afetada por ela, principalmente em termos de representação pública²⁷. É da Educação Básica que provêm os futuros cientistas, e é a partir da Educação Básica que a maioria da população forma sua opinião sobre a ciência. Opinião essa necessária para que a ciência consiga garantir seus investimentos públicos e privados. A ciência não sobrevive sem apoio da opinião pública e, hoje, a opinião pública sobre a ciência não sobrevive sem a Educação.

Assim, a Pesquisa em Educação em Ciências pode tratar a Educação Básica e a Ciência como um sistema ator-rede que se sobrepõe parcialmente, interferindo e tensionando um ao outro, investigando que associações existem entre ambas. Além das perguntas tradicionais da área de pesquisa em Educação em Ciências, novas perguntas podem ser realizadas: como a Educação em Ciências afeta a opinião pública sobre a ciência? Como que a Educação em Ciências incentiva ou desmotiva a busca por carreiras científicas? Qual a visão de ciências que a Educação em Ciências tem oferecido para a população? A Educação em Ciências tem adotado o papel de divulgador e representante público da ciência? Esse é de fato o seu papel? Se mudarmos a visão de ciência, que é apresentada hoje à população, quais os possíveis impactos sobre a sociedade e sobre a própria prática científica? Em tempos de “controvérsias”

²⁷ Não estamos defendendo que a Educação em Ciências deve fazer o papel de representação pública (fazer proselitismo); mas, uma vez que ela forma a opinião pública sobre a ciência, seja ela condescendente ou crítica, pode ser considerada parte da representação pública, na mesma medida que outros atores, como o próprio Bruno Latour faz parte da representação pública visto que ele influencia a opinião da sociedade sobre a ciência.

sobre questões climáticas, a Educação em Ciências deve fortalecer a imagem da ciência ou deve ser crítica e relativista? Como que, nas políticas públicas da Educação Básica, interesses políticos são traduzidos em interesses científicos e como que interesses científicos são traduzidos em interesses políticos?

Nesta área de pesquisa, são cabíveis estudos semióticos e metalinguísticos de livros didáticos, políticas públicas, planos políticos-pedagógicos, em dialogia com visões epistemológicas e sociológicas, com visões didáticas, com livros didáticos do ensino superior e com artigos científicos, estudos etnográficos de ambientes escolares, estudos ator-rede, respeitando as reflexões apresentadas na tabela 3.

3.3. A Formação de Professores da Educação Básica como um Problema de Estudos da Ciência e de Pesquisa em Educação das Ciências

Entendendo a Educação Básica como um ator importante da representação pública da ciência, pode-se investigar a formação do profissional que atua na Educação Básica e seu impacto na ciência. Algumas perguntas que podem ser levantadas nessa intersecção englobam: quais as relações entre sua concepção de ciência e a concepção de ciência formada pela sociedade? Como isso impacta a prática científica? Como que sua formação enquanto professor se relaciona com a formação do cientista? Os cursos de licenciatura, hoje, são subordinados aos bacharelados? Quais impactos disso na escola e na sociedade? Quais impactos advêm se tal cenário for modificado?

Nesta área de pesquisa, são cabíveis estudos etnográficos sobre professores em formação e sobre sua atuação em sala de aula, estudos linguísticos e semióticos de políticas públicas para formação de professores avaliando como interesses políticos são traduzidos em interesses científicos e vice-versa, além de questões análogas ao que foram levantadas no caso anterior.

3.4. Ensino e Aprendizagem como um Problema de Mediação e Tradução

Outro problema possível de ser concebido como uma área de estudos é o próprio processo de ensino e aprendizagem. Da mesma forma que Latour

estudou como que humanos e não-humanos se associam para formar novas proposições no âmbito da prática científica, pode-se investigar como que humanos e não-humanos interagem para formar novas proposições no ambiente escolar.

Latour também investigou como que a consolidação de um fato científico é refletido no uso da linguagem. Para tanto, Latour mostrou a curva de citações do artigo original que “descobre” o TRF, indicando que a consolidação de um fato passa primeiro por um período de aumento das citações, prosseguido por um período de declínio até quase ninguém mais citar o artigo original. Neste momento, Latour considera que o fato científico foi consolidado, pois os cientistas continuam falando do TRF, mas não precisam mais citar como ele foi construído; já o aceitam como verdade. Pode-se investigar se existe algum processo análogo na consolidação de um conhecimento escolar, por exemplo.

Nesse caso, parece que uma articulação entre a noção de mediação de Latour e a mediação de Vygotsky (VYGOTSKY, 2015) e Wertsch (WERTSCH, 1985; 1992) pode ser uma profícua linha de pesquisa. Latour propõe quatro significados para a mediação (LATOURE, 1999) e entende que nesse processo humanos e não-humanos se medeiam uns aos outros de forma que constituem um novo ator, diferente dos atores antes de serem mediados. Tal visão é muito similar ao que Wertsch propõe com a noção de homem-com-meios-mediacionais (WERTSCH, 1992) e pode ser explorado pelas áreas de pesquisa em Educação em Ciências em analogia aos Estudos da Ciência.

4. Conclusões

Neste trabalho, apresentamos as principais teses ontológicas e epistemológicas de Bruno Latour e exploramos como elas podem ser traduzidas em orientações metodológicas. Enunciamos, ao todo, seis orientações basilares para qualquer pesquisa que tenha como objetivo estar consistente com os Estudos da Ciência de Latour.

A primeira orientação é que atores humanos e não humanos devem ser tratados simetricamente. A segunda orientação é que qualquer ator está em constante estabilização pelos processos de associação de sua rede e não pode ser tratado como um ente objetivo e autônomo. A terceira orientação é que a

pesquisa deve prosseguir no sentido de explicar como a natureza e a sociedade são estabilizadas e não partir de polos ontológicos pré-existentes. A quarta orientação é que conhecimento e crença devem ser tratados simetricamente. A quinta orientação é que não se pode adotar um posicionamento relativista radical, pois é possível hierarquizar proposições pela extensão de seu envelope espaço-temporal de validade. A sexta e última orientação é que não se deve tratar a ciência como se existisse uma história interna e uma externa, devendo-se cruzar as fronteiras entre política e ciência.

Explicitamos, ainda, as possibilidades de métodos de pesquisa a serem explorados, extraíndo-os das obras do próprio Latour. Elencamos, como possibilidades, estudos etnográficos, estudos historiográficos, estudos semióticos e estudos com a TAR, podendo ainda serem utilizadas a Cartografia das Controvérsias e os Métodos Computacionais.

Feita essa reflexão teórica, estreitamos a discussão apenas para problemas de pesquisa da Educação em Ciências. Partimos da visão ator-rede de Bruno Latour, em que a ciência é entendida como um sistema circulatório, que se difunde por diferentes esferas da sociedade. Propomos que a rede da Educação Básica e a rede da Ciência devem ser entendidas como um sistema circulatório, abrindo espaço para o estudo das associações entre ambas de forma simétrica.

Para entender as relações entre a Educação em Ciências e as ciências, dividimos as áreas de pesquisa em quatro grandes grupos: formação de cientistas, Educação em Ciências na Educação Básica, formação de professores, ensino e aprendizagem. A formação de cientistas é um problema típico de Estudos da Ciência (ainda que negligenciado), que se intersecciona claramente com a área de Educação em Ciências. A Educação Básica e a formação de professores, por sua vez, podem ser entendidas como elementos do elo de representação pública da ciência em seu sistema circulatório, permitindo que se investiguem as relações entre sociedade-educação-ciência de forma simétrica (estudando tanto o impacto da ciência na Educação Básica quanto o impacto da Educação Básica na ciência), o que abre espaço para uma série de questões de pesquisa, até então, inexploradas. Indicamos, também, como problemas de ensino e aprendizagem podem ser tratados como processos de mediação entre humanos e não-humanos e serem estudados a partir da Sociologia da tradução ou da Teoria Ator -Rede.

Com essas discussões, esperamos ter fornecidos subsídios teóricos necessários para que se possam prosseguir os Estudos em Educação em Ciência fortemente articulados com os Estudos da Ciência de Bruno Latour. Além da discussão teórica necessária, apresentamos as principais obras em que os diferentes métodos empregados por Latour podem ser estudados. Fornecemos, por fim, uma série de problemas e perguntas de pesquisa que podem ser explorados usando a proposta teórico-metodológica apresentada, expandindo, portanto, a pesquisa original de Latour em direção aos Estudos da Educação em Ciências.

Referências

BACHELARD, G. *A filosofia do não*. São Paulo: Abril Cultural, 1978.

CALLON, M. Éléments por une Sociologie de la Traduction: La domestication des coquilles Saint-Jacques et e marins-pêcheurs dans a baie Saint-Brieuc. *L'Année Sociologique*, v. 36, 1986. Disponível em.

DEMO, P. *Metodologia científica em Ciências Sociais*. 3. ed. São Paulo: Atlas S. A., 1995.

FARIA, E. S.; COUTINHO, F. A. Educação científica em ação: a cartografia de controvérsias como prática de cidadania técnico-científica. *Caderno de Pesquisa*, v. 22, n. 3, p. 133-147, 2015. Disponível em.

KUHN, T. *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1978.

LATOUR, B. A Relativistic Account of Einstein's Relativity. *Social Studies of Science*, v. 18, p. 42, 1988. Disponível em.

LATOUR , B. Pasteur on lactic acid yeast: a partial semiotic analysis. *Configuration*, v. 1, n. 1, p. 129-146, 1992. Disponível em.

LATOUR, B. *The Pasteurization of France* Massachussets: Harvard Univeristy Press, 1993.

LATOUR , B. Pasteur et Pouchet: Hétérogenèse de l'Histoire des Sciences. In: SERRES, M. (Org.). *Éléments d'Histoire des Sciences*. Paris: Bordas, 1994

LATOUR, B. *Pandoras Hope - Essays on the Reality of Science Studies*. Cambridge: Harvard University Press, 1999.

LATOUR, B. *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network Theory*. Oxford: Oxford University Press, 2005.

LATOUR, B. *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. 2. ed. São Paulo: Unesp, 2011.

LATOURE, B. *Jamais Fomos Modernos*. 3. ed. São Paulo: Editora 34, 2013.

LATOURE, B.; FABBRI, P. La rhétorique de la science. *Actes de la recherche en sciences sociales*, v. 13, n. 1, p. 81-95, 1977. Disponível em: <10.3406/arss.1977.3496>.

LATOURE, B.; JENSEN, P.; VENTURINI, T.; GRAUWIN, S.; BOULLIER, D. 'The whole is always smaller than its parts': a digital test of Gabriel Tardes' monads. *Br J Sociol*, v. 63, n. 4, p. 590-615, Dec, 2012. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23240834>>.

LATOURE, B.; WOOLGAR, S. *La vie de laboratoire: la Production des faits scientifiques*. Paris: La Découverte, 1988.

LAW, J. On the Methods of Long Distance Control: Vessels, Navigation, and the Portuguese Route to India. In: LAW, J. (Ed.). *Power, Action and Belief: A New Sociology of Knowledge? Sociological Review Monograph 3*. Henley: Routledge, 1986. p. 234-263.

MODY, C. C. M. Scientific Practice and Science Education. *Science Education*, v. 99, n. 6, p. 1026-1032, 2015. Disponível em.

MOREIRA-DOS-SANTOS, F.; EL-HANI, C. N. Belief, Knowledge and Understanding. *Science & Education*, v. 26, n. 3, p. 215-245, May 01, 2017. Disponível em: <10.1007/s11191-017-9891-5>.

POPPER, K. *Conjecturas e Refutações*. 5. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2008.

REZZADORI, C. B. D. B.; OLIVEIRA, M. A. REDE SOCIOTÉCNICA DE UM LABORATÓRIO DE QUÍMICA DO ENSINO MÉDIO. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 6, n. 3, p. 16-37, 2011. Disponível em.

RICHARD, V.; BADER, B. Re-presenting the social construction of science in light of the propositions of Bruno Latour: For a renewal of the school conception of science in secondary schools. *Science Education*, v. 94, n. 4, p. 743-759, 2010. Disponível em: <10.1002/sce.20376>.

ROTH, W. M.; TOBIN, K. Cascades of inscriptions and the re-presentation of nature: how numbers, tables, graphs, and money come to re-present a rolling ball. *International Journal of Science Education*, v. 19, n. 9, p. 1075-1091, 1997. Disponível em: <10.1080/0950069970190906>.

SLEZAK, P. Sociology of Scientific Knowledge and Science Education Part 2: Laboratory Life Under the Microscope. *Science & Education*, v. 3, p. 329-355, 1994. Disponível em.

TARDE, G. *Monadologie et sociologie*. Paris: Les Empêcheurs de penser en rond, 1999.

VAN EIJCK, M. Addressing the Dynamics of Science in Curricular Reform for Scientific Literacy: The case of genomics. *International Journal of Science*

Education, v. 32, n. 18, p. 2429-2449, 2010. Disponível em: <10.1080/09500690903473399>.

VENTURINI, T. Diving in magma: how to explore controversies with actor-network theory. *Public Understanding of Science*, v. 19, n. 3, p. 258-273, 2009. Disponível em.

VENTURINI, T. Building on faults: How to represent controversies with digital methods. *Public Underst Sci*, v. 21, n. 7, p. 796-812, 2012. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23832559>>.

VIANNA, D. A.; CARVALHO, A. M. P. DO FAZER AO ENSINAR CIÊNCIA: A IMPORTÂNCIA DOS EPISÓDIOS DE PESQUISA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 6, n. 2, p. 111-132, 2001. Disponível em.

VIANNA, D. M.; CARVALHO, A. M. P. BRUNO LATOUR E CONTRIBUIÇÕES DA ANTROPOLOGIA DA CIÊNCIA PARA o ENStNo oAs ctËruct. *Ciência e Ensino*, n. 10, p. 14-19, 2001. Disponível em.

VYGOTSKY, L. *A Formação Social da Mente*. São Paulo: Martins Fontes, 2015.

WEINSTEIN, M. Finding science in the school body: Reflections on transgressing the boundaries of science education and the social studies of science. *Science Education*, v. 92, n. 3, p. 389-403, 2008. Disponível em: <10.1002/sce.20267>.

WERTSCH, J. *Vygotsky and the Social Formation of the Mind*. Massachusetts: Harvard University Press, 1985.

WERTSCH, J. *Voices of the mind: a sociocultural approach to mediated action*. Cambridge: Harvard University Press, 1992.

WHITEHEAD, A. N. *Process and Reality: An Essay in Cosmology*. London: Collier MacMillan Publishers, 1979.

ZEMPLÉN, G. Á. Putting Sociology First—Reconsidering the Role of the Social in ‘Nature of Science’ Education. *Science & Education*, v. 18, n. 5, p. 525-559, 2007. Disponível em: <10.1007/s11191-007-9125-3>.

Parte II – Estudos Empíricos Sobre a Estabilização Ontológica do Fóton Mediada por Diferentes Gêneros do Discurso.

Conforme discutimos na Parte I desta tese, um actante é um rótulo que “esconde” uma rede heterogênea (composta por humanos e não-humanos) de associações e que apresenta um conjunto de *performances*. Assim, quando falamos de fóton, não podemos pensar que existe uma essência do fóton, objetiva, determinada e imutável, que sempre esteve presente na natureza pronta para ser descoberta. Pelo contrário, a essência do fóton é algo que varia com o tempo e que pode se estabilizar ou não, dado o posicionamento dos diferentes actantes que o articulam.

O importante nesse sentido é identificar quais são os actantes responsáveis por tal estabilização ou, pelo menos, em que possíveis contextos essa estabilização pode ocorrer. Novamente, recorrendo ao quadro teórico latouriano, o trabalho científico não acontece unicamente dentro do laboratório; mas se estende por diferentes associações em toda sociedade. Tomando a noção de sistema circulatório da ciência, apresentado no capítulo 4, podemos identificar que a estabilização do fóton depende de quatro fluxos (figura 1): mobilização do mundo, autonomização, representação pública e alianças.

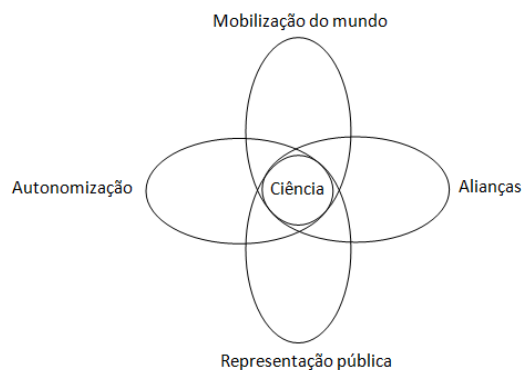


Figura 1. Sistema Circulatório da Ciência

Com a realização de dois estudos preliminares (anexo 1 e anexo 2), pudemos identificar que a Educação em Ciências e, mais especificamente, a rede do Ensino de Física Quântica compõe, pelo menos, três laços do sistema sanguíneo da ciência (mobilização do mundo, autonomização e representação pública). Assim, os estudos apresentados na sequência investigam o papel do

livro didático de Física Quântica em cada um desses laços do sistema sanguíneo da ciência.

O primeiro estudo, apresentado no capítulo 5, intitula-se *The Einstein's Quantum: Testing Latour's Chain of Reference in Theoretical Physics* e foi submetido para a revista *Minerva* com colaboração do Prof. Tommaso Venturini da Universidade de Lyon. Neste trabalho, submetemos o artigo original de Einstein a uma interpretação detalhada, investigando o papel da matemática na articulação do fóton e as estratégias retóricas adotadas por Einstein. Ainda, avaliamos como livros didáticos contemporâneos falam sobre o artigo de Einstein alterando a própria concepção de fóton do autor. Assim, mostramos que os livros didáticos fazem um processo de causação reversa, alterando a gênese do fóton no processo de mobilização do mundo (primeiro laço).

O segundo estudo, apresentado no capítulo 6, é intitulado *O Silenciamento da Articulação Teórica e Matemática no Processo de "Transposição Didática": Uma Análise Sociológica das Narrativas sobre a Física Quântica de Louis De Broglie em Livros de Ensino Superior*. Pretendemos submeter uma versão traduzida do artigo para a revista *Science and Education*. Neste trabalho, resgatamos as premissas teóricas dos trabalhos de de Broglie de 1922 a 1924 sobre o fóton e avaliamos como aspectos contraindutivo são apagados nos livros contemporâneos. Ao fazer isso, mostramos que os livros de Física Quântica do ensino superior têm o papel i de autonomizar a essência do fóton (segundo laço).

O terceiro estudo, apresentado no capítulo 7, é intitulado *Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM2015* e foi publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Nele, avaliamos as perspectivas epistemológicas existentes nos textos sobre Física Quântica presentes nos livros aprovados no PNLDEM2015, ou seja, apresentamos qual é a visão de ciência que é apresentada para a sociedade ao se falar do fóton nos livros didáticos distribuídos nas escolas públicas de todo país. Tais livros, portanto, desempenham o papel de representação pública (terceiro elo). Nesse artigo, o referencial latouriano não aparece explicitamente. Entretanto, os resultados obtidos dão subsídios para a discussão sociológica simétrica apresentada no capítulo subsequente.

O quarto estudo, apresentado no capítulo 8, intitula-se *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*, e foi publicado na Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências com colaboração do aluno de licenciatura em Física da UFRGS Bruno Souza. Esse é o primeiro trabalho em que articulamos a filosofia da linguagem de Bakhtin e a filosofia de Latour. Ainda, é o primeiro trabalho em que se propõe a fazer uma sociologia simétrica da Educação em Ciências, analisando o livro didático, que é um componente da representação pública (terceiro elo).

Desta forma, os quatro próximos capítulos, apesar de independentes, formam em conjunto, uma descrição ator-rede sobre a estabilização do fóton, pois avaliam como esse actante é estabilizado na rede da ciência (seu fluxo sanguíneo). Mais especificamente, os quatro trabalhos apresentam o papel ou a contribuição dos livros didáticos (ensino superior ou médio) nos diferentes elos dos fluxos sanguíneos, evidenciando o fato de que a Educação em Ciências não pode ser pensada como aparta das ciências; mas é elemento de sua rede.

Sem livros didáticos de ensino médio, a representação pública da ciência fica gravemente comprometida. Da mesma forma, sem os livros de ensino superior, a autonomização do fóton fica prejudicada. E, por fim, é a visão apresentada pelos livros que “recria” a mobilização do mundo para articulação do fóton, ocupando um papel mais relevante para a comunidade científica do que o próprio artigo original. Ou seja, sem os livros didáticos, o fluxo sanguíneo da ciência ficaria anêmico!

O único elo que não foi explorado foi o elo das alianças, pois envolve questões políticas e institucionais que demandam um esforço investigativo que ultrapassa o escopo e objetivo deste trabalho. Preferimos, manter-nos circunscritos a aspectos mais próximos do desenvolvimento matemático e conceitual das teorias e da própria sala de aula, não explorando os aspectos políticos e institucionais. Reconhecemos, entretanto, a relevância desses aspectos e pretendemos investigá-los em trabalhos futuros conforme discutimos no capítulo 9.

5. Quarto Artigo Original

The Einstein's Quantum: Testing Latour's Chain of Reference in Theoretical Physics

Abstract

In this paper, we discuss a possible extension of Bruno Latour's notion of chain of reference to the field of theoretical physics. To do so, we examine Einstein's 1905 paper on the nature of light for which he received the Nobel Prize of Physics in 1922 and which is deemed as revolutionary by contemporary textbooks. Using Bakhtin's Philosophy of Language, we analyze Einstein's narrative to trace the mechanisms he has used to articulate a new entity, the *quantum*, without performing any experiment or empirical observation. We have also used Bakhtin's metalinguistic analysis to highlight Einstein's rhetoric strategies. Our results indicate that the concept of chain of reference holds for theoretical physics and that it is also possible to trace a parallel between empirical and theoretical works. Moreover, our analysis challenges the common representation of Einstein's paper as a moment of epistemological rupture and highlights, on the contrary, its translation efforts to articulate new ideas with the dominant paradigm of the time.

Keywords: Science Studies, Quantum Mechanics, Circulating Reference

1. Introduction

Quantum Physics (QP) is today one of the most popular branches of physics. Not only QP terminology is largely present in popular imagery (a phenomenon that Marin, 2009 calls "quantum mysticism"), but contemporary life owes to QP from computers microprocessors to nuclear weapons. Also, QP led to development of what physicists claim to be the most complete theory available to explain matter structure and the one that best predicts empirical experiments (Quantum Electrodynamics). Through the 20th century, its development originated new areas of physics such as quantum field theory (Landau and Lifchitz, 1966; Sakurai, 2013), quantum optics (Glauber, 1963b; Glauber, 1963a), quantum information theory (Benatti, 2009), quantum thermodynamics (Vinjanampathy and Anders, 2016), quantum gravitation (Woodard, 2009), as well as many technological applications in areas like nuclear engineering, semiconductors physics, medicine (Young, 1984) and nanosciences (Hornyak et al., 2008).

While it is not easy to point at the exact starting point of such a broad theory, manuals usually credit Albert Einstein's 1905 paper *On a Heuristic Point of View towards the Emission and Transformation of Light* (Einstein, 1905a) ²⁸. In that paper, the German physicist introduced the idea of a discrete portion of light which he called "quantum" of electromagnetic radiation (and further came to be called *photon*, Lewis, 1926).

At the time he formulated it, Einstein's proposition was anything but consensual. Many actually considered it a regression compared to 1865 Maxwell's Theory of Light, which had overcome Newton's particle-like description and proposed a continuous wave-like model, capable of explaining most optical phenomena. Yet, with his 1905 paper, Einstein managed to explain three phenomena whose understanding was still unclear at that time (ionization of gases by ultraviolet light, photoelectric effect and photoluminescence) and, while the quantum hypothesis remained disputed for several years, Einstein's equation for the Photoelectric Effect was awarded the Nobel Prize for Physics in 1922 (Martins and Rosa, 2014).

Nowadays, physics textbooks (Eisberg and Resnick, 1985; Messiah, 1961; Cohen-Tannoudji et al., 1991) regard Einstein's work on the *quantum* as "revolutionary", claiming it introduced the era of modern physics and established an epistemological rupture with classical physics. However, this description of Einstein's work as a "scientific revolution" (in the sense introduced by Kuhn, 1978) is simplistic. The first goal of this paper is to examine the actual argument of Einstein's paper and to compare its description by contemporary textbooks. By doing so we wish to investigate the process of stabilization of a scientific fact over a longer timespan than the one usually considered by Science and Technology Studies (STS).

Secondly, we hope to counter the tendency of STS of focusing on empirical rather than the theoretical sciences (MacKenzie, 1999). Considering, for instance, Latour's description of scientific facts (Latour, 1999: 98), we are said that that science relies crucially on equipment and instruments to "translate" natural entities (or "non-human actors" in Latour's words) into scientific discourses. None of this

²⁸ Some historians as Freire Jr Freire Jr. O. (2015) *The Quantum Dissidents: Rebuilding the Foundations of Quantum Mechanics (1950-1990)*, Berlin: Springer. discourse about two quantum revolutions. The first started in the beginning of XXth century, with the study of radiation; the second in the sixties, with Quantum Information Theory.

experimental translation can be found in Einstein's 1905 paper, which is purely theoretical and devoid of material equipment. And yet the paper did bring a new entity into the world: the *quantum*. In this paper, we will try to explain how.

In order to achieve both goals, we'll submit Bruno Latour's concept of circulating reference (Latour, 1999), which we introduce in section 2, to a "torsion trial": if Latour's description of science is right, the notion of "reference", which he developed in the context of empirical science, should also work in the context of theoretical science. To perform such a test, we'll analyze Einstein's 1905 paper (section 3), presenting its narrative and mathematical development in the light of Bakhtin's Philosophy of Language (section 2.1), which we found extremely useful to understand the rhetoric strategy deployed by Einstein. No advanced mathematical knowledge is required to understand this paper, but previous acquaintance with differential mathematics can make the reading easier. In section 4, we use Bakhtin's Philosophy of Language to analyze the subtle rhetoric strategies used by Einstein to convince his peers about the existence of the quantum in 1905 and in his subsequent papers. In section 5 and 6, we discuss the role of Einstein's paper in Quantum Physics History and its relation to contemporary scientific textbooks.

2. Our Starting Point: Circulating References and Inscriptions

Our departure point is Latour's notion of the "chain of reference" of science, which he proposed after following a soil science expedition in Brazil (Latour, 1999). Through its ethnography, Latour concluded that scientific knowledge is not acquired by direct contemplation, but, on the contrary, by subjecting natural phenomena to a series of transformations, which make their observation increasingly *indirect*. It's only through this movement that scientific knowledge becomes possible. Thus, in order to "know the forest", it is necessary to take some distance from it, in a scientific version of Saramago's quote: "you have to *leave the island* in order to see *the island*."

Never, not even at the beginning of their research, scientists did perform an unmediated observation of their object. From the onset, several maps mediated their appraisal of the Brazilian forest. It was only through the superposition of different cartographic documents and their Cartesian formalism that the

investigation could be set off. Their subsequent steps were to collect and arrange samples of the forest (rocks, land and plants) using different tools. At each stage, scientists referred simultaneously to the samples, the code, the instruments, the cartographic coordinates and so on, working on objects that were always hybrids of matter and form, object and sign. At each stage, the obtained hybrid was a sign of the previous step, working as “rough matter” for the next one. In each step, scientists released information about the forest, particularly about its particularity, materiality and locality, but they also gathered new information, amplifying the compatibility, transportability and generalization of their results.

Though it is not possible to establish a one-to-one correspondence between the different stages of this process (because each implies information suppression, information gain, material transformation, spatial dislocation, etc.), it always remains possible to retrace the chain of transformation and to reverse it. It is this reversibility (the possibility for peers to retrace and check every step of the process) that determines the soundness of scientific results. Latour calls it “the chain of circulating reference”.

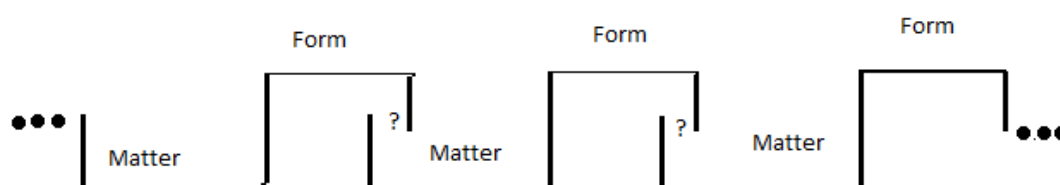


Figure 1. Chain of circulating reference. In each step, a new hybrid of matter and form is produced. Between each step and the next, there is an irreconcilable gap. The chain however is reversible, and it is possible to follow all the steps backwards. The figure is adapted from Latour (1999).

Therefore, the reference of science is not the object-in-itself of Kantian philosophy, but what circulates through the chain of transformations (Latour, 1999), the set of properties that is obtained at each step, in association with the necessary instruments and theories used to articulate these properties. The longer the chain is, the farther we are from the “rough matter”; the more we know about something, and thus, paradoxically, the closer we are to it.

One of these steps however is rather different from the others because it produces the transformation of the samples into a series of signs on a piece of paper (and, more recently, in a digital file). These “inscriptions”, as Latour calls

them (Latour and Woolgar, 1988), can take the form of texts, lists, diagrams, graphics, equations, and many others. What counts is that they are much easier to transport and manipulate than the original samples, replacing them completely.

Important as it is, the road from material samples to paper (or digital) inscriptions do not terminate the transformations of the chain of reference. Quite the contrary, the production of inscriptions is crucial precisely because inscriptions are codified in ways to facilitate their further transformation through textual or mathematical operations. As all researcher knows, the work in the laboratory or in the field does not conclude the research efforts. Once the “empirical” operations are completed (and even before), there is still a great deal of polishing and formatting to be carried out through writing and calculation before findings can be published. While most STS studies have focused on the transformations that lead up to the production of inscriptions, in this article we are most interested to the part of the reference chain that follows their creation.

How is it possible to keep transforming signs on papers and still get information about the “world”? Because this is precisely what Einstein seems to be doing. He starts in a world with continuous wave light and he ends with a world of quanta, without ever entering a laboratory. Nevertheless, does he follow a reversible transformation chain involving gains and losses of information as the previous empirical steps? Or does he develop a different sort of science more rational and formal as common sense would expect from mathematical reasoning (MacKenzie, 1999)?

2.1. Metalinguistic Interpretation

In order to answer these questions, we perform what Russian semiotician and philosopher of language Mikhail Bakhtin calls a metalinguistic interpretation (Bakhtin, 2016; Bakhtin, 2017): the analysis of the discursive characteristics of a text, such as theme, organization and style in order to highlight not only its internal structure but also how it affects the external world. Although Bakhtin has focused his analysis on the relation between verbal communication and human culture, we propose to expand his philosophy to incorporate a broader notion of society as defined by Bruno Latour (Latour, 2005). Through our metalinguistic interpretation, we will try to show how Einstein’s text bring a new *actant* (the

quantum) into existence. This is done by mobilizing Bakhtin's concept of "excess of vision" (section 3) and the connection between lexical and phraseological choices (style) with "extra verbal" context (section 4).

Crucial to our argument is the notion of *exotopy*: the personality of the "hero" of a text is determined not only by the culture in which she lives but also by the author's "excess of vision". Every text, therefore, tells its readers something not only about its hero but also about the author's vision. An attentive analysis of the way Einstein constructs his hero (the quantum) can reveal much about his vision of physics. Furthermore, texts are never produced in a "discursive vacuum", but are always part of a dialogue and directed to a specific audience (Bakhtin, 2016). This discursive context affects the lexical, phraseological and syntactical choices made by the author. In section 4, we analyze the stylistic elements of Einstein's paper and describe how they are used to uphold the quantum existence.

3. Einstein's 1905 paper: *Concerning an Heuristic Point of View Toward the Emission and Transformation of Light*

The controversy about the nature of light in modern science can be traced back to Newton's and Huygens debate in the XVII century. While Newton used a particle-like model to explain geometrical optics, Huygens explained refraction and diffraction using the concept of "wavefront" (the set of points identically affected by a wave at a given moment). Huygen's vision was corroborated in the XIX century, when Fresnel offered empirical and theoretical arguments in favor of the wavelike model and when James Clark Maxwell has proposed his electromagnetic theory and his notion of "continuous electric and magnetic fields".

Through Maxwell's equations, it is possible to show that both electric and magnetic fields satisfy a wave equation in empty space. More specifically, the electromagnetic wave predicted by this mathematical manipulation has an approximant velocity of $3 \cdot 10^8$ m/s, the measured speed of light, which for Physics community represented strong evidence that the light was an electromagnetic wave. When Einstein published his paper in 1905, Newton's particle-like model of light had been long deserted.

On the other hand, by the end of XIX and the beginning of XX century, thermostatics was flourishing. According to this approach, matter is made of

particles (such as atoms and electrons) with properties (like position and velocity) whose mean values could be connected to macroscopic properties like temperature, pressure and so on. When electromagnetic theory and thermostatistics were used together, however, troubles emerged. One example was the explanation of *black body radiation*. In this case, theoretical predictions not only disagreed with the empirical existing data but also conduced to unacceptable physical results such as predicting an infinite energy in a small volume, which became known as the “ultraviolet catastrophe”.

In 1905, three models existed to describe black body radiation (Kuhn, 1978a). The first one was Rayleigh’s model, which was based on electromagnetic and thermodynamics theory and that leded to absurd results. The second one was Wien’s model, which fitted high frequency radiation (ultraviolet light) data well but failed on low frequency radiation. The third model, developed by Max Planck in 1900 and 1901, fitted all the frequencies with a great accuracy, but its physical interpretation was unclear.

In Einstein’s paper we are about to analyze, he makes two very counter-intuitive moves²⁹. First, he proposes a sort of Newtonian particle-like conception of light and, second, he rejects Planck’s model in favor of Wien’s, despite its worse results for low frequency radiation. Yet, without leaving his bedroom, Einstein mobilizes his quanta so effectively to impose his counter-intuitive conception. In the next pages, we will follow each step of Einstein narrative in order to understand how such achievement was possible. Einstein’s paper has an introductory text followed by nine sections, which we gathered in four ‘movements’ without changing the order of the original presentation.

3.1. Presentation of a metaphysical perspective

Einstein begins his text by posing a metaphysical issue. His first considerations are not about empirical data or mathematical formalism, but about the way in which Physics described reality at the time:

²⁹ Counter induction is a concept introduced by Feyerabend (2011) to explain how science can evolve. Instead of evolving through the increasing of empirical consistency as it would argue Popper and Lakatos, to Feyerabend science ‘revolutions’ take place despite of or even against empirical data. In this sense, science sometimes is counter inductive.

A profound formal distinction exists between the theoretical concepts which physicists have formed regarding gases and other ponderable bodies and the Maxwellian theory of electromagnetic processes in so-called empty space (...) According to Maxwellian theory, energy is to be considered a continuous spatial function in the case of all purely electromagnetic phenomena including light, while the energy of a ponderable object should, according to the present conceptions of physicists, be represented as a sum carried over the atoms and electrons (EINSTEIN, 1905, p.132).

While having two kinds of entities in the world (continuous energy and discrete entities) does not imply any logical violation, this distinction bothers Einstein, who, following Parmenides's traditions (Feyerabend, 2010), is convinced that physics should provide a unified description of reality (Isaacson, 2007). In Einstein's most important papers³⁰, this sense of unification seems to be the key element. It is exclusively from this perspective that Einstein decides what is "problematic" and what is not, which direction must be followed, and which must be given up. This can be interpreted as what Mikhail Bakhtin calls "excess of vision" (Bakhtin, 1997), i.e. the fact that the literal identity of the protagonist of a text (the quantum in our example) is determined by elements that are independent from the hero himself, but dependent on the author (who fills the gaps and that translates what he observes). In order to guarantee the unification of Physics, Einstein introduces the following proposition:

In accordance with the assumption to be considered here, the energy of a light ray spreading out from a point source is not continuously distributed over an increasing space but **consists of a finite number** of energy quanta which are localized at points in space, which move without dividing, and which can only be produced and absorbed as complete units. (EINSTEIN, 1905, p.133)

By proposing to consider the light as a finite number of energy quanta, Einstein reunifies the two types of entities, and little matters to him that this conception cannot be conciliated with all observed optical phenomena. He suggests that wave-like phenomena result from statistical interactions of many

³⁰ In another 1905 paper, this one about the Special Theory of Relativity (Einstein,1905b), Einstein discusses the unification Electromagnetic phenomena description in different inertial references. And his 1916 General Relativity paper (Einstein, 1916) deals with the unification of physical description in any referential (Latour, 1988)

quanta and sticks to this position even in his following papers without being able to demonstrate it. In 1986, physical community had empirical evidence that Einstein was wrong (Grangier et al., 1986): one single quantum can present wavelike behavior. Metaphysical and aesthetical insights (his excess of vision) seemed more important to Einstein than empirical data, encouraging him to write a text that is not only counter-intuitive, but also “counter-inductive”, according to Feyerabend’s (2011) idea of how scientific theories can be developed regardless of or even against empirical data.

3.2. Disarticulation of Continuous Light

To proceed with his unification, Einstein had not only to articulate the quanta, but also to disarticulate the continuous light, and, once again, he does not go to the laboratory, relying only on paper and pencil instead. In Section 1, “*Concerning a Difficulty with Regard to the theory of Blackbody Radiation*”, Einstein departs from two equations. The first one was obtained in the context of the kinetic theory of gases, and it is the result of a long chain of transformations that are not reported in his paper.

In order to use an inscription such as equation (1) to “represent” reality, lots of information have been lost in the process (Latour, 1999). Before introducing the equation, Einstein explicitly points out the kinds of losses that are involved in the obtainment of this inscription: he is not considering that electrons interact with each other; he is not considering that part of radiation can be absorbed, and he is considering that electrons are bounded to the body through a simple elastic force. By doing so, he introduces an equation that describes that one third of the electron mean energy (\bar{E}) as a function of the temperature (T) when the electron is in equilibrium with the molecules of the body:

$$\bar{E} = \left(\frac{R}{N}\right) T \quad (1)$$

It is important to notice that the signs of a physics equation do not have a self-evident meaning: they become meaningful only *in relation to* other signs or to other transformations in the chain of reference. In the equation above, for

instance, N and R translate hybrids obtained before the inscription; N is the number of molecules in a gram equivalent, and R is the universal constant of gases. \bar{E} takes its physical meaning (what we will call its “extrinsic meaning”) from its relations to the chain of reference and, therefore, to other signs. In addition, someone can translate the meaning of \bar{E} by using a set of words (“one third of the electron mean energy”) which is by its terms a set of new signs. In order to translate a sign, someone must take hand of a chain of new signs (Bakhtin, 2006; Eco, 1991; Vygotsky, 2015). In the same way in which the referent of a scientific fact is what circulates through the transformation chain, the referent of a sign is what circulates through a chain of signs (Eco, 1991: 30). Thus, after the inscription, the chain of reference keeps moving along, but now through a semiotic chain. Each new sign translates the signs previously collected, but it is not identical to them. Therefore, it seems that, at least from the point of view of semiotics, Latour’s circulating reference keeps being consistent after inscription. However, that is still not enough to explain how Einstein provides new information about the world. To do so, we must observe Einstein’s subsequent steps.

The second equation that Einstein introduces (2) was derived by Planck for dynamic equilibrium between electron oscillators and radiation, under the supposition that the radiation is a random process:

$$\bar{E}_\nu = \left(\frac{L^3}{8\pi\nu^2} \right) \rho_\nu \quad (2)$$

Where \bar{E}_ν = the average energy (per degree of freedom) of an oscillator with eigen frequency ν , L = velocity of light, ν = frequency of the oscillator, $\rho_\nu d\nu$ = the energy per unit volume of that portion of the radiation with frequency between ν and $\nu + d\nu$. Again, Einstein does not explain how Planck obtained this equation: he just informs the readers of its existence. The equation (2), exactly as the previous one, encompasses the entire chain of transformations that precede it and it is representative of an entire network of theories, scientists, empirical data, and so on.

The two equations presented above have been obtained through two different chain of transformations and, so far, are not related to each other. What Einstein does next is to say that black bodies have their electrons in equilibrium

with molecules and with radiation at the same time. Supposing that, he can assume that the electron energy can be described by both equations and that (1) and (2) must be equal:

$$\bar{E}_v = \left(\frac{L^3}{8\pi v^2} \right) \rho_v = \bar{E} = \left(\frac{R}{N} \right) T \quad (3)$$

At this point, two separate transformation chains that had no relation to each other are now connected in one single expression that is not obtained by experimental processes or by a mathematical formal operation or logical deduction. This gives a first insight to answer how theoretical physicists can talk about the world without mobilizing experimental equipment: they connect different transformation chains. Whereas empirical scientists create the linear chains of transformation described by Latour, theoretical physicists may be able to stitch them in a single network. If knowledge comes from the movement through a chain, theoretical physics allows us to know more about the world by increasing the possibility of movement in a network of transformation chains.

Besides their extrinsic meaning, physics equations also have a different semiotic dimension: the mathematical one (which we will call “intrinsic meaning”). ρ_v , for example, has an extrinsic meaning (density of energy), but we can also forget this meaning and treat it as a mathematical function (intrinsic meaning) in order to isolate ρ_v through a trivial manipulation of equation (3):

$$\rho_v = \frac{\left(\frac{R}{N} \right) 8\pi v^2 T}{L^3} \quad (4)$$

Thus, we have an equation that relates the density function with the frequency of the radiation. While the equation (3) emerged from an extrinsic consideration that allowed us to connect different transformation chains, equation (4) deals only with mathematical manipulation. Nonetheless, mathematics has more to offer than tautological manipulations. While empirical scientists transform hybrids by means of material tools, theoretical scientists transform mathematical functions through a sort of “mathematical trial”. In order to perform a mathematical trial, instead of using material tools, we must use “mathematical operators”, i.e.

mathematical objects capable of transforming one another. In order to understand Einstein's mathematical trial, it is necessary to be acquainted with two operators defined in differential calculus: the derivative and the integral. We introduce the main characteristics of both operators as they are applied to a general function $f(x)$ in table 1.

Table 1. Integral and Derivative Operators

Operator	Symbol	Geometrical Description	Interpretation	Operator Interpretation
Derivative	$\frac{d}{dx} f(x)$	If we trace the graphic of $f(x)$ in relation to x , the derivative gives the slope of the curve at each point.	The slope of the curve represents how much the function $f(x)$ is varying with the variation of x . So we are dealing with a rate. The higher is the value of the derivative the more the function vary with x	It is an operator that takes one function $f(x)$ and transforms it in another function $g(x)$. Example: $f(x) = x^3$ $g(x) = \frac{d}{dx} f(x) = 3x^2$
Integral	$\int_a^b f(x)dx$	If we trace the graphic of $f(x)$ in relation to x , the integral gives the area beneath the graphic in the a - b interval	The integral is computing the value of $f(x)$ along the entire interval a to b times the interval.	It is an operator that takes one function $f(x)$ and transforms it in another function $h(x)$. Example: $f(x) = 3x^2$ $h(x) = \int_0^x f(x)dx = x^3$

The derivative and the integral are opposite operators. So, we can take a function $f(x)$ and start to transform it by integration. At each new integral, a new function is generated:

$$f(x) \rightarrow \int f(x)dx \rightarrow g(x) \rightarrow \int g(x)dx \rightarrow h(x) \rightarrow \dots$$

This process can reiterate infinitely, and we will have infinite new functions. If, however, we want to trace the mathematical transformation backwards, it is possible to derivate each function to obtain the previous one:

$$h(x) \rightarrow \frac{dh(x)}{dx} \rightarrow g(x) \rightarrow \frac{dg(x)}{dx} \rightarrow f(x) \rightarrow \dots$$

We thus create a chain of functions, each one different from the others, through a reversible process performed exclusively on their intrinsic mathematical meaning. On the other hand, when we transform a function by integrating it, we also create a new function with a new extrinsic meaning. For example, assuming that the position of an object as a function of time $r(t)$ is known, as our chain is reversible, it is possible to start it by computing the derivative of $r(t)$:

$$v(t) = \frac{dr(t)}{dt}$$

The new function represents intrinsically the rate of variation of the function in relation to the variable t . But if we take hand of the extrinsic meaning, $v(t)$ represent the variation of the position through time, which is the definition of velocity. So, $v(t)$ intrinsically is a function, but extrinsically is a new physical property: “velocity”. Thus, through the transformation chain, we change the function (by integrating or deriving) and we get a new physical property. It means that along this chain we are producing new inscriptions about different properties without having to do any experiment. This possibility explains a second way in which theoretical physicists can talk about the world without entering the laboratory. By exploring the intrinsic meaning of mathematical symbols, using mathematical operators, they create new functions whose meaning can be then interpreted extrinsically.

In this fashion, the integral and the derivative operators work as equipment in a laboratory. This is precisely what Einstein does: computing the integral of the energy density function over all possible frequencies (from zero to infinity), thereby obtaining the energy per unit volume of the radiation:

$$\int_0^{\infty} \rho_v dv \tag{5}$$

= energy per unit volume of the radiation of frequencies going from zero to infinity

We can substitute equation (4) with equation (5). The integral is then computed over all possible values of frequency ν . This integral does not have a finite value though (it diverges):

$$\int_0^{\infty} \frac{\left(\frac{R}{N}\right) T 8\pi\nu^2}{L^3} d\nu = \infty \quad (6)$$

A diverging integral is not a problem in mathematical terms, but it is in physical terms. The integral “is saying” that the density of energy is becoming infinity, which from the point of view of physics is unacceptable: a body cannot have infinite energy, as this would violate the physical postulate of energy conservation. After all the mathematical manipulations, the final result of the transformation chain is unacceptable. What does that mean? It means that something in the transformation chain is not right. It can be any step of the chain. Einstein however assumes that the problem is that we are using the idea of continuous radiation that led Planck to equation (2).

This assumption however is not straightforward and not even consensual. We cannot be sure that the problem comes from the continuous light. The problem could have come, for instance, from the fact that black bodies are not in thermodynamic equilibrium and thus the equality used in equation 4 is not possible, or maybe that the kinetic theory of gases is wrong (which makes equation 1 wrong). If continuous light is blamed for the unacceptable final result, it is only because of Einstein’s “excess of vision” (his pursuit for unification). In pinpointing the problem, he takes his metaphysical belief as an epistemological principle and he assumes that continuous light is responsible for the integral divergence.

We have already answered to one of our questions: “how can Einstein, without even entering a laboratory, speak about the world?” Einstein uses mathematics to connect different transformation chains, allowing scientific reference to circulate through the network formed. Furthermore, he explores the two meaningful dimensions of the physical equation (the extrinsic and the intrinsic one). In order to “know more” about the world, Einstein has transformed equations by using mathematical operators (exploring their intrinsic meaning), and then he

has interpreted the result from the viewpoint of physics (exploring their extrinsic meaning). In the end, only through his excess of vision he is able to determine what is right and wrong in the physical description. We summarize our findings so far in table 2 and 3 below.

Table 2. The Characteristics of physical equations

Characteristics	Description
It is a sign	The equation translates the entire transformation chain it encompasses.
It is composed by other signs	An equation is a sign formed by other signs, each of which represents a transformation chain.
It has an intrinsic dimension	What we have called intrinsic dimension is the mathematical nature of the equation and of its elements.
It has an extrinsic dimension	What we have called extrinsic dimension is the relation of the sign with the transformation physical chain that it translates.

Table 3. How can we know more about the world without going to the laboratory?

Movements	Description
Mathematical transformations	It is possible to transform mathematical signs by exploring their intrinsic dimension by means of mathematical operators in mathematical trials. After that, we use the extrinsic dimension to talk about the world using the new sign.
Physical considerations	It is possible to link different transformation chain by extrinsic consideration. In this case, mathematics translates a worldview.

Association of both movements	By the association of both movements, it is possible to keep moving in a transformation chain or to connect different chains into a network. The transformation produces new hybrids that cannot be reduced to the previous steps. Mathematical operations can be reversed guaranteeing the reversibility of the entire process.
Use of excess of vision	The interpretation of results is performed through the excess of vision of the author.

The second part of disarticulating continuous light consists in showing that Max Planck’s model, which was very successful fitting empirical data, is not associated with continuous light. For the sake of simplicity, we will skip this argument, as it would only provide another (more complex) example of the operations discussed above. Through these operations, Einstein has done half of his work: he destabilized the structures of the continuous light model. Now he has another task: to build up the quantum.

3.3. Articulating the Quantum

What does it mean to articulate the quantum? Again, the parallel between empirical and theoretical sciences holds. When empirical scientists articulate a new entity in their laboratory, they do so by assessing their performance in a series of tests. For instance, when Pasteur articulated microbes, he performed laboratory trials to determine microbe performances. The essence of the microbe in the end is the label that glues all these he determines the electromagnetic radiation entropy using thermodynamic and Wien’s equation, as well as gas entropy using Boltzmann’s thermostatics. By doing so, he finds similar performances that he asserts to be equivalent assuming his first excess of vision. From this new equivalence, he derives a new unexpected performance for the quantum.

In subsections a and b, we show in detail how Einstein articulates the entropy of radiation and of ideal gases by manipulating equations (in terms of

what we have describe in last section). If the reader is not interested in the mathematical details, he can skip to section c, where the quantum performance is articulated.

a. Determination of Radiation Entropy

To determine radiation entropy as a function of other variables, Einstein begins by defining entropy as function of the volume that the radiation occupies and the integral of an unknown function $\phi(\rho, \nu)$ which depends of the radiation density function ρ and the radiation frequency ν . Again, he is using the extrinsic meaning of each sign to explore its intrinsic meaning later on.

$$S = V \int \phi(\rho, \nu) d\nu \quad (10)$$

We want to determine S (entropy) by searching for $\phi(\rho, \nu)$ first and then integrating the result. To do so, Einstein applies the first mathematical transformation in equation (6) by differentiating it:

$$dS = \int_{\nu=0}^{\nu=\infty} \frac{d\phi}{d\rho} d\rho d\nu \quad (11)$$

The extrinsic meaning of dS is the variation of entropy in a unitary volume as function of the variation of the variables. From Thermodynamics (Callen, 1985), we also know that the following relations hold:

$$dS = \frac{1}{T} dE \quad \text{e} \quad dE = \int_{\nu=0}^{\nu=\infty} d\rho d\nu$$

By comparing them with equation (11), we find:

$$\frac{d\phi}{d\rho} = \frac{1}{T} \quad (12)$$

These expressions should hold for any sort of radiation since we have not made any characterization about the frequency of radiation we are dealing with. However, Einstein is not interested in any radiation but the high frequency one. Thus, he departs from the Wien's Equation that works as their representative:

$$\rho = \alpha v^3 e^{-\beta v/T} \quad (13)$$

Equation (12) by itself cannot be directly related to equation (13). Again, it is possible to apply a mathematical operator in order to change equation (13) and to explore intrinsic manipulations. Einstein applies the natural logarithm in both sides of equation (13) and then applies a few tautological manipulations:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{-\beta v} \ln\left(\frac{\rho}{\alpha v^3}\right) \quad (14)$$

By comparing equation (14) and (12), we realize that both deal with the term $1/T$. Since Equation (12) should hold for any radiation, because of extrinsic considerations, we can equate them:

$$\frac{d\phi}{d\rho} = \frac{1}{-\beta v} \ln\left(\frac{\rho}{\alpha v^3}\right) \quad (15)$$

Then, it is possible to find the function ϕ by using the integral operator (the opposite operator of the derivative):

$$\phi(\rho, v) = -\frac{\rho}{\beta v} \left[\ln\left(\frac{\rho}{\alpha v^3} - 1\right) \right] \quad (16)$$

Finally, Einstein can compute entropy:

$$dS = V\phi(\rho, v)dv = -\frac{E}{\beta v} \left[\ln\left(\frac{E}{v\alpha v^3} - 1\right) \right] \quad (17)$$

Using expression (17), we can compute the variation of entropy ($S - S_0$) of monochromatic radiation in two different volumes (V and V_0) using the intrinsic properties of logarithms:

$$S - S_0 = \frac{E}{\beta v} \ln\left(\frac{V}{V_0}\right) \quad (18)$$

By combining intrinsic and extrinsic movements, Einstein has just presented the performance of entropy of radiation in relation to volume variation. That is half of his work: the second half is to determine the entropy of ideal gas.

b. Determination of ideal gas entropy

In order to compute the entropy of an ideal gas, Einstein starts from Boltzmann's postulate: the entropy of a system is a function of the number of states accessible to it (W):

$$S_1 = \phi(W_1) \quad (19)$$

Boltzmann's postulate translates the relation between entropy (a macroscopic function) and the number of microstates accessible to the system (a microscopic function). Einstein does not justify the validity of this postulate: he only uses it. It is also known from thermodynamics that entropy is an additive function, i.e., if we gather two systems (with entropies S_1 e S_2 and number of microstates W_1 e W_2 respectively), the total entropy is the sum of both entropies and, using Boltzmann's postulate, it is a function of number of states of the entire system:

$$S = S_1 + S_2 = \phi(W) \quad (20)$$

But from statistics, it is possible to realize that W is not the sum of W_1 and W_2 , but its product instead (for instance, one dice has 6 possible results; two dices however do not have 12 possible results but 36).

$$W = W_1 \cdot W_2 \quad (21)$$

From the equations (19), (20) and (21), we conclude:

$$\phi(W_1 \cdot W_2) = \phi(W_1) + \phi(W_2) \quad (22)$$

One function that has a performance as it is described in equation (22) is the natural logarithm, which suggests:

$$S = C \ln(W) \quad (23)$$

Where C is the universal constant of gases divided by Avogadro's number (R/N). Now we can imagine an ideal gas inside a volume V_0 . We want to compute the variation of entropy if the n particles of the gas were compressed into a different volume V . In this case, imagine that each of the n particles has a number of accessible states proportional to the volume v . Thus, the total number of accessible states must be proportional to V^n . Then,

$$W = AV^n \text{ and } W_0 = AV_0^n \quad (24)$$

And the variation of entropy can be computed using logarithm properties:

$$S - S_0 = \frac{nR}{N} [\ln AV - \ln AV_0] = \frac{nR}{N} \ln \left(\frac{V}{V_0} \right) \quad (25)$$

Equation (25) expresses thus the entropy variation of an ideal gas when its volume varies, which concludes the second half of Einstein's work to articulate the quantum performance. To achieve his goal, he simply must attach both halves.

c. Articulation of a new performance for the quantum

Equation (25) expresses the variation of entropy for an ideal gas, and equation (18) expresses the variation of entropy of a monochromatic high frequency electromagnetic radiation. Though Einstein has obtained them through very different mathematical operations, they look very similar. Both have the same structure: a constant multiplied by the logarithm of the rate of volumes. From this, all we can say from combining intrinsic and extrinsic meanings is that radiation entropy behaves similarly to gas entropy in relation to volume variation. But Einstein has a deeper metaphysical reading for this result: for him the similarity proves that light consists of quanta in the same way as gas consists of particles. To Einstein, equation (18) and (25) are expressing the same kind of system, which means that both equations should be identical. Thus, by equating them ($\frac{E}{\beta\nu} \ln\left(\frac{V}{V_0}\right) = \frac{nR}{N} \ln\left(\frac{V}{V_0}\right)$), we find that the constant before the logarithm is also equal, which leads us to:

$$E = n \frac{R\beta}{N} \nu \tag{26}$$

Einstein has just stated a new performance for the quantum. By connecting the results of two long chain of transformation through his excess of vision, he concludes that the energy (E) of the quantum should behave as function of its frequency (ν). This performance, despite of being obtained by manipulating classical theory equations, is a novelty in Physics, for which the energy of electromagnetic radiation is related to the amplitude of the electromagnetic field and not the frequency of the radiation. Observe that Einstein has not demonstrated that “quantum exists”: this was *a priori* assumption. By assuming that quantum exists, Einstein interpret two different performances (gas and radiation entropy) as the same performance and from that he finds a new performance for the quantum, relating its energy to its frequency (equation 26). The new performance arises from the possibility of making new connection among old theories.

Einstein supposes that quantum exists from the very beginning, then uses a series of mathematical trails to determine the performances of this entity. These

mathematical trials could not be defined as a rigorous mathematical demonstration, but a creative process in which intrinsic and extrinsic dimensions of mathematical signs are combined. It is necessary now to observe whether the network articulated in this way actually allows a coherent movement through other inscriptions and chains. That is what Einstein does when he takes phenomena to testify.

3.4. Taking phenomena to testify

Having determined the performances of his quanta, Einstein must show that they are consistent with phenomena related to light emission and transformation. He does so by mobilizing the inscriptions from three phenomena in favor of his quantum:

a. Stoke's Rule. Imagine the following experiment: an electromagnetic radiation is submitted to an experimental set up to determine its frequency. Then the same radiation is applied upon a photoluminescent solid (a solid that starts shining after being irradiated) and the radiation emitted by the solid is analyzed. By comparing the inscription that represents the frequency of the incident radiation (ν_1) with the inscription that represents the frequency of the photoluminescent solid radiation (ν_2), we realize that ν_2 is always smaller than ν_1 . The "Stoke's Rule" is what physicists call an empirical rule – a statement about relations among experimental inscriptions. Stoke's Rule does not say why ν_2 is always smaller than ν_1 , it only says that it *is*. What Einstein can provide is precisely this missing explanation:

Each incident energy quantum of frequency ν_1 is absorbed and generates by itself – at least at sufficiently low densities of incident energy quanta – a light quantum of frequency ν_2 ; it is possible that the absorption of the incident light quanta can give rise to the simultaneous emission of light quanta of frequencies ν_3, ν_4 etc., as well as to energy of other kinds, e.g., heat. It does not matter what intermediate processes give rise to this final result. If the fluorescent substance is not a perpetual source of energy, the principle of conservation of energy requires that the energy of an emitted energy quantum cannot be greater than that of the incident light quantum; it follows that $\frac{R\beta}{N}\nu_2 < \frac{R\beta}{N}\nu_1$ and $\nu_2 < \nu_1$. (EINSTEIN, 1905, p. 144) .

b. Photoelectric Effect.

Photoelectric Effect is the name given to the phenomenon of ejection of electrons by a surface when electromagnetic radiation is applied on it. According to the classical electromagnetic theory, electromagnetic waves transport an amount of energy proportional to the amplitude of the electromagnetic field. In contrast with this classic expectation, Einstein's articulation assumes electromagnetic radiation to be composed by quanta whose energy are proportional to their frequency (and not to amplitude):

Energy quanta penetrate into the surface layer of the body, and their energy is transformed, at least in part, into kinetic energy of electrons. The simplest way to imagine this is that a light quantum delivers its entire energy to a single electron: we shall assume that this is what happens. The possibility should not be excluded, however, that electrons might receive their energy only in part from the light quantum. An electron to which kinetic energy has been imparted in the interior of the body will have lost some of this energy by the time it reaches the surface. Furthermore, we shall assume that in leaving the body each electron must perform an amount of work P characteristic of the substance. The ejected electrons leaving the body with the largest normal velocity will be those that were directly at the surface. The kinetic energy of such electrons is given by $\frac{R\beta v}{N} - P$ (EINSTEIN, 1905, p. 144) .

The last equation is a prediction made by Einstein of how the photoelectric effect should behave taking into account his mathematical construction. As we mentioned, it contradicted the classical expectation, for which the energy should be proportional to amplitude and not frequency. Milikian confirmed the validity of the equation empirically in 1921, and Einstein received the Nobel Prize for it in 1922.

c. Ionization by Ultraviolet Light. To explain the ionization of gases by quanta, Einstein suppose that J is the value of energy necessary to ionize 1 gram of gas. Thus, the ionization condition is:

$$R\beta v \geq J$$

By taking Lennard's data on wavelength efficacy for gas ionization, Einstein computes the value of J and compares it with values obtained by Stark through potential difference. He shows that both values are close to each other, which corroborates his ideas. Einstein concludes predicting that if each quantum causes one ionization, the number of molecules ionized in a gram of gas should be (where L is the quantity of absorbed light):

$$j = \frac{L}{R\beta\nu}$$

This concludes the analysis of Einstein's articulation of the quantum. It is interesting to observe that his argument begins with inscriptions about energy and radiation, then he submits them to a series of mathematical transformations to articulate the performances of a new series of actors (the quanta) and finishes it by using the features of these actors to interpret other inscriptions (about the three phenomena we just discussed). This corroborates the idea that the theoretical work deals with intrinsic and extrinsic manipulation of mathematical inscriptions to connect different chains of transformation into a single network. In the next section, we highlight rhetoric strategies used by Einstein to strengthen his mathematical construction.

4. Rhetoric tactics

While the mathematical treatment to which Einstein submit his quanta is brilliant, it is not this treatment that constitutes the main contribution of his paper. After all his mathematical and conceptual articulation, all he can offer is an equation that relates energy to frequency for the monochromatic electromagnetic radiation: the same equation that Planck had obtained four years earlier in the context of electronic oscillations. But Einstein does not merely present the equation, he translates it and provides it with a meaning that is not in the equation itself, but derived from his excess of vision.

We concluded that the equations obtained by Einstein regarding radiation and ideal gas only indicate that both behave similarly in relation to entropy variation. However, it is his first metaphysical perspective – what we have called

his *excess of vision* – that allows Einstein to connect the equations by defining the entropy variation of radiation and ideal gas in addition to derive the performances of his quantum. The problem is that this extra-meaning attributed by Einstein to the equation contradicts several key elements of the widely accepted Maxwell's theory of electromagnetic field. If Einstein proposition goes farther than mathematics can go, how can Einstein persuade his peers?

In this section, we discuss the rhetoric tactics employed by Einstein in his 1905 paper has used to provoke persuasion. Following Gusfield's (1976) and Latour & Fabri's (1977), we searched for textual choices adopted by Einstein to strengthen his assumptions, connecting the paper style with the main content, the *quantum*. In order to do so, we used Bakhtin's Philosophy of Language (Bakhtin, 2016; Bakhtin, 2017; Bakhtin, 1997), which we already mobilized through the notion of "excess of vision".

According to Bakhtin, any piece of communication is a unit in which a variety of elements (theme, structure and style) are mobilized to provoke an intended response from an addressed audience (Bakhtin, 2016). The rhetoric analysis implies to highlight the textual elements used to produce this persuasion. By doing so, we found four different rhetoric strategies adopted by Einstein.

a. Assuming weakness. This first strategy is used as early as the headline of the article, "On a Heuristic Point of View Towards the nature of emission and Transformation of Light". In the title, Einstein introduces the object of his paper "emission and transformation of light" by the expression "On a Heuristic Point of View Towards". This expression does not add any substantial information about the theme or about the theoretical perspective adopted by Einstein (its omission does not change the meaning of the title). *Point of View* expresses a subjective perspective and the word *heuristic* the sense of an argument that is not formal and strict (French, 2009). The expression could have been omitted without altering the meaning of the title substantively: its function seems rather to put the whole paper between "scary quotes". As argued in section 3, the quantum existence is less the result of the mathematical articulation than of a "meta-physical" assumption, and Einstein seemed to be fully aware of that. By explicitly assuming this weakness of his work, Einstein is anticipating criticism. He is

warning the reader of his paper (the community of German physicists) that he is offering just a conjecture, a heuristic point of view.

b. Flattering opposite ideas. In the introductory text of Einstein's paper, we can find the following passage, in which we highlighted some interesting lexical choices:

The wave theory of light, which operates with continuous spatial functions, **has worked well** in the representation of purely optical phenomena, **and will probably never be replaced by another theory**. It should be kept in mind, however, that the optical observations refer to time averages rather than instantaneous values. **In spite of the complete experimental confirmation of the theory applied to diffraction, reflection, refraction dispersion, etc.**, it is still conceivable that the theory of light which operates with continuous spatial functions may lead to contradictions with experience when it is applied to the phenomena of emission and transformation of light.

Einstein may have just said that Electromagnetic Theory refers to time averages, and this can lead to contradiction in the description of isolated phenomena involving emission and transformation of light. Instead he decides to flatter Electromagnetic theory by saying that it “works well and it will probably never be replaced” and that it has “the complete experimental confirmation of the theory applied to diffraction, reflection, refraction dispersion, etc.” By doing so, it seems that Einstein is trying to create an auspicious atmosphere to introduce his idea. Instead of being a cold report of a mathematical articulation, Einstein paper is a very careful communication, full of rhetorical subtleties.

c. Reducing electromagnetic theory to a continuous theory. From the last passage, it is possible to understand how Einstein presents electromagnetic theory as a continuous spatial function. While it is true that Electromagnetic Theory works with continuous spatial functions, it also works with magnetic monopoles and inverse-square law for the Electromagnetic field, using electric unities (the electrons) and so on. Continuous spatial functions are only some of the many attributes of electromagnetic theory.

d. Shifting rhetorical frames. A classic distinction in epistemology opposes an “essentialist” view according to which science describes reality from an “instrumentalist” view according to which sciences merely provide a model of reality. For instance, by taking one position or the other, one can say that science *represents* our system as if the Sun was in the center and the Earth was moving around it or that science asserts that the Sun *is* in the center of the system and Earth is moving around it. Considering this, let us look at three parts of Einstein’s introductory text:

“The wave theory of light, which operates with continuous spatial functions, has worked well in the **representation** of purely optical phenomena”

“It seems to me that the observations associated with blackbody radiation, fluorescence, the production of cathode rays by ultraviolet light, and other related phenomena connected with the emission or transformation of light **are more readily understood if one assumes** that the energy of light is discontinuously distributed in space.”

“In accordance with the assumption to be considered here, the energy of a light ray spreading out from a point source **is** not continuously distributed over an increasing space but **consists** of a finite number of energy quanta which are localized at points in space, which move without dividing, and which can only be produced and absorbed as complete units.”

In the first sentence, Einstein uses an instrumentalist lexical choice to speak about the approach he opposes. In the second, he adopts an instrumentalist framing for his own approach. Finally, in the third sentence, he shifts to an essentialist perspective to present his idea. In these sentences, we can observe two rhetoric strategies. The first is a shift of ontological framing: while Electromagnetic Theory deals only with *representation*, his approach deals with an *essential reality*. Einstein, however, does not make it abruptly: he makes a smooth transition through an intermediary phase in which he uses an instrumentalist perspective to his own idea.

Furthermore, a fifth rhetorical strategy can be found in the following papers published by Einstein to convince a skeptical academic community about the existence of the quanta (Martins and Rosa, 2014). To support his view, Einstein not only connected the quanta to other physical entities and gave them new properties – for instance, giving them the possibility of transferring momentum

(EINSTEIN, 1909) –, but also adopted a new rhetoric strategy in relation to Planck's theory. Even though in the 1905 paper Einstein opposed Planck's theory and preferred Wien's model, he later changed his position and tried to side with Planck. In a 1906 paper, for example, he explained:

This relationship was developed for a range that corresponds to the range of validity of Wien's radiation formula. **At that time it seemed to me that in a certain respect Planck's theory of radiation constituted a counter part to my work.** New considerations, which are being reported in §1 of this paper, showed me, however, that the theoretical foundation on which Mr. Planck's radiation theory is based differs from the one that would emerge from Maxwell's theory and the theory of electrons, precisely because **Planck's theory makes implicit use of the aforementioned hypothesis of light quanta.** (Einstein, 1906)

At the time when Einstein was just beginning his career, Planck was a prestigious theoretical physicist. By connecting his proposal to Planck's ideas in the 1906 paper, in a 1907 paper about the heat of solids (Einstein, 1907) and in two papers in 1909 (Einstein, 1909a; Einstein, 1909b), Einstein tried to make his idea more palatable to the academic community, despite the fact that Planck himself made clear that he had not agreed with the quantum assumption (Einstein, 1909a) and that, as later proved by De Broglie, Einstein's atomistic view of electromagnetic radiation is essentially incompatible with Planck's model (Martins and Rosa, 2014).

5. The quantum hypothesis in textbooks

The painstaking analysis to which we have submitted Einstein's paper may seem exceedingly nit picking. After all, a physicist who would take the time to read Einstein's text with particular attention could observe some of the points that we have discussed so far. But this is precisely the point: there are few physicists who read the original articles of the founders of their discipline and most of them tend to encounter the idea that they contain through the textbook(s) that are employed in their academic education (Kuhn, 1996). For sensible reasons of legibility, these textbooks tend to present the history of science in any simplified way, neglecting most of the complexities of the original arguments on purpose.

For example, the manual by Eisberg and Resnick (1985), when introducing Einstein's theory of light, affirms:

In each case we shall obtain experimental evidence that radiation is particle-like in its interaction with matter, as distinguished from the wavelike nature of radiation when it propagates (Eisberg and Resnick, 1985: 27)

That is exactly the opposite of Einstein's idea, whose main assumption is that light consists *and propagates* in quanta. The view expressed by the authors resemble rather to Planck's original view mixed with the more recent Complementarity Principle (Bohr, 1928), according to which particle-like and wave-like descriptions are complementary frameworks. This interpretation was also defended by prestigious physicists such as Richard Feynman (Feynmann et al., 2008).

The section 2.3 of the same textbook introduces the so-called Born's statistical rule (Born, 1926), according to which the wavelike behavior describes the probability of measuring an event rather than a real wave:

They travel like classical waves, in the sense that calculations based on the way such waves propagate (and in particular the way two component waves reinforce or nullify each other depending on their relative phases) correctly explain measurements of the average way photons travel (Eisberg and Resnick, 1985: 30)

In another passage, in the same section, the authors eventually endorse Einstein's position: "Einstein assumed that such a bundle of energy is initially localized in a small volume of space, and that it remains localized as it moves away from the source with velocity c " (Eisberg and Resnick, 1985: 30).

This illustrates how textbooks do not explain Einstein's work by using its original articulation but by combining multiple further interpretations of Quantum Mechanics. Latour (1999) has called this process "reverse causation". Textbooks do not rely exclusively on the Einstein's original perspective, neither on any pure contemporary perspective. They hybridize their speech (Bakhtin, 1981) through a composition of different interpretations that have been defended along the decades. Textbooks in this sense contribute to the stabilization of a scientific fact by defusing the theoretical controversies. Instead of making explicit that there are different interpretations for quantum performance and stressing the ontological

and epistemological divergences among them, textbooks combine these perspectives, attributing them to Einstein in a way that is glorifying, but historically inexact.

6. Is Einstein's paper revolutionary?

Textbooks also tend to present Einstein's theory of light as a revolution:

at the beginning of the twentieth century, physics was to be marked by the profound upheaval that led to the introduction of relativistic mechanics and quantum mechanics. The relativistic "**revolution**" and the quantum "**revolution**" were, to a large extent, independent since they challenged classical physics on different points (Cohen-Tannoudji et al., 1991: 9)

In fact, science manuals present Einstein's paper as a radical innovation compared to classical physics. Is such view supported by Einstein original paper? In his famous book on *Scientific Revolutions*, Thomas Kuhn (1978b) describe the evolution of science as having two dynamics: "common science" and "scientific revolutions". In common science, scientists struggle to solve specific questions using the conceptual and methodological tools available in the dominant paradigm. Some of the questions, however, remain unsolved despite of all the efforts of the scientific community. At some point, the accumulation of such anomalies generates a crisis. Scientific revolutions, then, are the moment in which a new paradigm is introduced (usually through much turbulence) to re-interpret previous empirical data. In Kuhn's words:

Instead, as we have already seen, normal science ultimately leads only to the recognition of anomalies and to crises. And these are terminated, not by deliberation and interpretation, but by a relatively sudden and unstructured event like the gestalt switch. Scientists then often speak of the "scales falling into the eyes" or of the "lightning flash" that "inundates" a previously obscure puzzle, enabling its components to be seen in new way that for the first time permits its solution (Kuhn, 1996: 122).

Contemporary scientific textbooks tend to present the blackbody radiation, photoelectric effect, fluorescence and gas ionization as the anomalies that brought about the crisis of the classical physics and Einstein's 1905 paper as the "gestalt switch" that introduced a new incommensurable paradigm.

However, as we have shown in section 2, Einstein's construction of the quanta is fully grounded in previous physics (electromagnetic theory, thermodynamics and Boltzmann's principle). Similarly, Einstein's mathematical formalism does not introduce any novelty for Physics at that time. His paper certainly opposes the idea of a continuous electromagnetic field, but this is far from a radical rupture. Quite the contrary it relies on old concepts and on classic mathematical formalism. It is deterministic and realist. It is not even based on Planck's model, but the older one suggested by Wien.

Einstein's 'revolution' is not revolutionary at all. His paper resembles much closer to a "translation" process (Callon, 1986) than to an epistemological rupture. As we have tried to show by our analysis, in his paper from 1905, Einstein made all great mathematical and rhetorical efforts to reassure his readers and convince them that his proposal contains as much continuity as rupture. Recognizing these efforts is crucial to realize that the ideas proposed by Einstein did not imposed themselves by the sheer force of their evidence, but by the relentless work of articulation that the physicist invested to articulate his new ideas with the old paradigm.

We have thus found a second way in which textbooks contribute to the stabilization of the scientific fact: they create a virtual epistemological rupture. This rupture suggests to next generation of scientists that the truth of the quantum conception is so manifest that can "hold by itself". In this sense, textbooks contribute to establish the ontological autonomy of the scientific fact.

7. Final Remarks

In this paper, we have extended Latour's notion of the "chain reference" presented on his work of empirical sciences by applying it to theoretical physics through the analysis of Einstein's 1905 paper on the nature and transformation of light. Our goal was to understand how Einstein could speak about the world without mobilizing laboratory experiments or empirical observations.

We described how Einstein mobilized extrinsic considerations (what we have called his "excess of vision", according to the ideas of Mikhail Bakhtin) to connect different pre-existing experimental chains of reference in a single network and thus to allow us to move from one to another. We also found out that Einstein uses mathematical operators in a way that is similar to the way in which empirical

scientists use laboratory equipment: through a sort of mathematical trials, Einstein explores two dimensions of his equations, their mathematical dimension (what we have called intrinsic meaning) and their physical dimension (what we have called the extrinsic meaning).

We also have shown that Einstein employs different rhetoric strategies to back his assumptions and to make his position more acceptable. Much of these strategies are devoted to creating continuity between his proposal and the established paradigm of classic physics. Unlike what textbooks often affirm, Einstein paper contains as much continuity as rupture, in a way that it is better described as a translation process rather than an epistemological revolution.

References

- Bakhtin M. (1981) *The Dialogic Imagination*, Austin: University of Texas.
- Bakhtin M. (1997) *A Estética da Criação Verbal*, São Paulo: Martins Fontes.
- Bakhtin M. (2006) *Marxismo e Filosofia da Linguagem*, São Paulo: HUCITEC.
- Bakhtin M. (2016) *Os Gêneros do Discurso*, São Paulo: Editora 34.
- Bakhtin M. (2017) *Notas sobre Literatura, Cultura e Ciências Humanas*, São Paulo: Editora 34.
- Benatti F. (2009) Quantum Information Theory. 255-315.
- Bohr N. (1928) The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory. *Nature* 121: 580-590.
- Born M. (1926) Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge. *Zeitschrift für Physik* 37: 863-867.
- Callen HB. (1985) *Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics*, New York: John Wiley and Sons.
- Callon M. (1986) Éléments pour une Sociologie de la Traduction: La domestication des coquilles Saint-Jacques et e marins-pêcheurs dans a baie Saint-Brieuc. *L'Année Sociologique* 36.
- Cohen-Tannoudji C, Diu B and Laloë F. (1991) *Quantum Mechanics*, Berlin: Wiley-VCH.
- Eco U. (1991) *Semiótica e Filosofia da Linguagem*, São Paulo: Editora Atica.
- Einstein A. (1905a) Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik* 17:132-149
- Einstein A. (1905b) Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik* 17: 891-914.

- Einstein A. (1906) Zur Theorie der Lichterzeugung und Lichtabsorption. *Annalen der Physik* 20: 199-206.
- Einstein A. (1907) Die Plancksche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme. *Annalen der Physik* 22.
- Einstein A. (1909a) über die Entwicklung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung. *Physikalische Gesellschaft* 7: 482-500.
- Einstein A. (1909b) Zum gegenwärtigen Stand des Strahlungsproblems. *Physikalische Gesellschaft* 10: 181-193.
- Einstein A. (1916) *The Foundation of the General Theory of Relativity*. Available at: <http://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol6-trans/158>.
- Eisberg R and Resnick R. (1985) *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles*, New York: John Wiley & Sons.
- Feyerabend P. (2010) *Adeus à Razão*, São Paulo: UNESP.
- Feyerabend P. (2011) *Contra o Método*, São Paulo: Unesp.
- Feynmann R, Leighton R and Sands M. (2008) *Lições de Física de Feynmann*, Porto Alegre: Bookman.
- Freire Jr. O. (2015) *The Quantum Dissidents: Rebuilding the Foundations of Quantum Mechanics (1950-1990)*, Berlin: Springer.
- Glauber R.J. (1963a) Photon Correlations. *Physical Review Letters* 10: 84-86.
- Glauber R.J. (1963b) The Quantum Theory of Optical Coherence. *Physical Review* 130: 2529-2539.
- Grangier P, Roger G and Aspect A. (1986) Experimental Evidence for a Photon Anticorrelation Effect on a Beam Splitter: A New Light on Single Photon Interference. *Europhysics Letters* 1: 173-179.
- Gusfield J. (1976) The Literary Rhetoric of Science: Comedy and Pathos in Drinking Driver Research. *American Sociological Review* 41: 16-34.
- Hornyak GL, Dutta J and Tibbals HF. (2008) *Introduction to Nanoscience*, New York: CRC Press.
- Isaacson W. (2007) *Einstein: sua vida, seu universo*, São Paulo: Companhia das Letras.
- Kuhn T. (1978a) *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity: 1894-1912*, Oxford: Oxford University Press.
- Kuhn T. (1978b) *A Estrutura das Revoluções Científicas*, São Paulo: Perspectiva.
- Kuhn T. (1996) *The Structure of Scientific Revolution*, Chicago: Chicago University Press.
- Lakatos I. (1984) *La Metodología de los programas de investigación científica*, Salamanca: Alianza Universidad.
- Landau LL and Lifchitz E. (1966) *Théorie du Champ*, Moscou: Mir.

- Latour B. (1988) A Relativistic Account of Einstein's Relativity. *Social Studies of Science* 18: 42.
- Latour B. (1999) *Pandora's Hope - Essays on the Reality of Science Studies*, Cambridge: Harvard University Press.
- Latour B. (2005) *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network Theory*, Oxford: Oxford University Press.
- Latour B and Fabbri P. (1977) La rhétorique de la science. *Actes de la recherche en sciences sociales* 13: 81-95.
- Latour B and Woolgar S. (1988) *La vie de laboratoire: la Production des faits scientifiques*, Paris: La Découverte.
- Lewis GN. (1926) The Conservation of Photons. *Nature* 118: 874.
- MacKenzie D. (1999) The Sociohistory of a Mathematical Proof. *Social Studies of Science* 29: 7-6.
- Marin JM. (2009) 'Mysticism' in quantum mechanics: the forgotten controversy. *European Journal of Physics* 30: 807-822.
- Martins RdA and Rosa PS. (2014) *História da teoria quântica - a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie*, São Paulo: Livraria da Física.
- Messiah A. (1961) *Quantum Mechanics*, Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Popper K. (2008) *Conjecturas e Refutações*, Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- Sakurai JJ. (2013) *Advanced Quantum Mechanics*, Park Ridge: Albert Whitman & Company.
- Vinjanampathy S and Anders J. (2016) Quantum thermodynamics. *Contemporary Physics* 57: 545-579.
- Vygotsky L. (2015) *A Formação Social da Mente*, São Paulo: Martins Fontes.
- Woodard RP. (2009) How far are we from the quantum theory of gravity? *Reports on Progress in Physics* 72: 126002.
- Young SW. (1984) *Nuclear Magnetic Resonance: Basic Principles*, New York: Raven Press.

6. Quinto Artigo Original

O Silenciamento da Articulação Teórica e Matemática no Processo de Transposição Didática: Uma Análise Sociológica das Narrativas sobre a Física Quântica de Louis De Broglie em Livros de Ensino Superior

Resumo: Neste trabalho apresentamos uma síntese das premissas teóricas dos trabalhos desenvolvidos por de Broglie sobre a natureza da radiação eletromagnética e outras partículas a partir de um estudo dos seus artigos publicados de 1922 a 1924 e interpretações subsequentes. Mostramos que a derivação da relação entre momento e comprimento de onda de de Broglie é feita em uma abordagem relativística para partículas com massa. Nessa abordagem, fótons inclusive têm massa, viajando a uma velocidade inferior à da luz. Na sequência, mostramos como livros de ensino superior se referem à construção de de Broglie, apagando a hipótese de fóton com massa e reduzindo seu trabalho à especulação. Discutimos esses resultados à luz da sociologia contemporânea, principalmente os Estudos da Ciência de Bruno Latour. Mostramos que os livros optam por não mostrar os aspectos da teoria que não foram mantidos pela comunidade nas décadas subsequentes, optando por uma abordagem simplista das produções científicas.

Palavras Chave: Estudos da Ciência, fóton, metalinguística

Abstract: In this work, we present a synthesis of theoretical premises developed in De Broglie's Works about the electromagnetic radiation and particles. We analyze De Broglie's papers published from 1922 to 1924 and subsequent interpretations. We show that the derivation of the relation between momentum and de Broglie's wavelength is performed in a relativistic approach for particles with mass. In this approach, photons also do have mass, traveling below the velocity of light. In the sequence, we show how undergraduate textbooks speak about de Broglie's construction, erasing the hypothesis of photon with mass and reducing his work to speculation. We discuss these results under the light of contemporary sociology, chiefly Bruno Latour's Science Studies. We show that textbooks decide not to show aspects of the theory that were not sustained by the community in the subsequent decades, choosing a oversimplified approach to the scientific production.

Keywords: Science Studies, photon, metalinguistics

1. Introdução

Física Quântica (FQ) é, atualmente, uma das áreas mais populares da Física. Além do movimento de misticismo quântico, que importou a terminologia da FQ para interpretações idealistas da realidade (Marin, 2009), o mundo contemporâneo presencia as implicações da FQ seja nos microprocessadores americanos ou nas armas nucleares da Coreia do Norte. Ademais, FQ é considerada pelos físicos a teoria mais completa para explicar a estrutura da matéria, atingindo alto grau de precisão em suas previsões experimentais. Ao longo do século XX, seu desenvolvimento conduziu à formação de novas áreas da Física como Teoria Quântica de Campos (Landau & Lifchitz, 1966; Sakurai, 2013), Ótica Quântica (Glauber, 1963a, 1963b), Teoria da Informação Quântica (Benatti, 2009) Termodinâmica Quântica (Vinjanampathy & Anders, 2016), Gravitação Quântica (Woodard, 2009) entre outras, além do desenvolvimento de diferentes aplicações tecnológicas nas áreas já mencionadas, como Engenharia Nuclear e Física de Semicondutores, mas também em outras áreas como Medicina (Young, 1984) e em muito das nanociências (Hornyak, Dutta, & Tibbals, 2008).

De uma forma geral, pode-se pensar que o termo Física Quântica refere-se a dois grandes movimentos na Física (Freire Jr., 2015): o primeiro envolve os estudos sobre a natureza da radiação e sobre a estrutura da matéria da primeira metade do século XX, culminando na proposição da Equação de Schrödinger e na física matricial de Heisenberg; e o segundo envolve o isolamento de objetos quânticos individuais, emaranhamento quântico e Teoria da Informação Quântica, que foram desenvolvidos na segunda metade do século XX e no século XXI.

No contexto do primeiro movimento, a proposição da dualidade onda-partícula pode ser pensada como um tema central, ou até mesmo, o único mistério da FQ (Feynmann, Leighton, & Sands, 2008). Do ponto de vista histórico, entretanto, não existe uma única interpretação do que seja a dualidade onda-partícula (Jammer, 1974). Sua primeira proposição aparece em um artigo de Einstein em 1909 (Einstein, 1909) para o quantum e, depois, tal concepção é generalizada por De Broglie. Entretanto, após o desenvolvimento da equação de

Schrödinger (Schrodinger, 1928), da Regra de Correspondência desenvolvida por Born (Born, 1926), e da Intepretação de Copenhagen, há, claramente, diferentes interpretações para tal princípio (Jammer, 1974; Pessoa Jr., 2003).

Sua importância conceitual e histórica o coloca em uma posição de destaque em muitos trabalhos de pesquisa em Ensino de Física (Cheong & Song, 2014; Giorgio, 2011; Marshman & Singh, 2017). No contexto da sala de aula, usualmente, futuros físicos e professores de Física em formação são apresentados a tal conceito em disciplinas de Física Básica (normalmente, no quarto semestre do curso de graduação) ou em disciplinas de Introdução à Física Quântica (ou Física Moderna) em que os estudos sobre radiação das duas primeiras décadas do século XX são apresentados. Nessas disciplinas, não se costuma apresentar aos alunos os artigos originais da Física Quântica. Ao invés disso, a prática comum é o uso de livros didáticos, de tal forma que é possível, hoje, um físico obter seu diploma de graduação sem nunca ter tocado em um artigo de Planck, Einstein, de Broglie, Bohr ou Schrödinger.

Esse procedimento parece natural para quem recebeu tal formação. Entretanto, alguém imaginaria um letrista formado nunca ter lido uma única obra original de Machado de Assis; mas apenas livros didáticos sobre Machado de Assis? Físicos não são letristas. Entretanto, traçar tal paralelo é válido visto que tanto físicos quanto letristas, em suas carreiras, dependem profundamente de duas atividades: ler e escrever textos específicos de suas respectivas áreas (Latour, 2011; Latour & Woolgar, 1988). Por que, então, usam-se livros didáticos para ensinar Física para futuros físicos e não os artigos originais?

Colocando o problema em termos de Filosofia da Linguagem do Círculo de Bakhtin (2016), o texto científico e o texto didático não coincidem visto que atuam em diferentes campos da atividade humana (ou seja, pertencem a diferentes gêneros do discurso³¹): enquanto os artigos científicos são escritos por cientistas para serem lidos por outros cientistas, os livros didáticos apresentam o conhecimento científico para cientistas ainda em formação, o que, certamente, demanda uma transformação intencional da linguagem, do formalismo e dos exemplos a serem ministrados.

³¹ Gênero do discurso é o rótulo dado ao conjunto de enunciados com temas, estruturas e estilos relativamente estáveis e que pertencem a um determinado campo da atividade humana.

A diferença de objetivo e das condições do uso de cada gênero do discurso justifica a necessidade da distinção estilística entre o que seria um texto científico e um texto científico didático. Entretanto, apesar de serem diferentes ambos os gêneros estão interconectados. Os livros didáticos se remetem aos enunciados do gênero científico, e os cientistas formados lendo livros didáticos são os produtores do futuro conhecimento científico. Um gênero depende do outro através de complexas relações dialógicas. Ao tomar um texto didático sobre Física Quântica, ele pode nos remeter aos trabalhos de De Broglie, entretanto, obviamente, haverá elementos do texto didático que não estavam presentes no artigo original e elementos do artigo original que não foram mantidos no texto didático.

A escolha intencional, entretanto, do que foi mantido (refletido), transformado (refratado) ou omitido (silenciado) do artigo original depende do que Bakhtin chama de voz³², o que, nesse caso, está ligado à concepção didática, epistemológica e ontológica adotada pelo autor do livro didático. Por exemplo, um autor com viés empirista pode privilegiar explicações fenomenológicas, omitindo construções teóricas; enquanto que um autor com viés teórico pode privilegiar demonstrações matemáticas formais, omitindo discussões experimentais. Tais variações afetam, primeiramente, a própria construção conceitual daquilo a que o aluno está sendo apresentado; mas, também, a sua concepção epistemológica, uma vez que cada discurso científico didático subjaz uma noção do que seria a prática científica.

É importante que Físicos e Educadores da área de Física questionem quais transformações discursivas os enunciados originais (artigos científicos) foram submetidos no processo de construção do texto didático. Isto é, devemos questionar que elementos do enunciado original foram refletidos, refratados ou silenciados; identificando, por fim, a que possíveis projetos de fala tais enunciados podem ser associados; pois isso reflete, irrevogavelmente na visão de Física Quântica (no presente caso) mas também de ciência que os futuros cientistas terão.

Assim, apesar de reconhecermos a necessidade do texto didático como uma ferramenta que viabiliza o domínio semiótico do aprendiz, propomos uma

³² Voz é a personalidade falante, a consciência falante. A voz sempre tem uma vontade ou desejo por trás de si, seu próprio “timbre” e “sobretom” (Bakhtin, 1981, p. 434).

reflexão sobre a que vozes, ou seja, a que concepções de mundo (visão epistemológica, ontológica e didática) a construção dos enunciados didáticos usados, atualmente, no ensino de Física Quântica serve e se temos o interesse de seguir alinhados ideologicamente a tal projeto de ciência e de ensino.

O objetivo principal do presente trabalho é traçar as relações dialógicas entre enunciados do gênero didático e do gênero científicos, tomando o tema da dualidade onda-partícula estritamente no contexto da formulação feita por De Broglie de 1922 a 1924. Nosso material de análise envolve os artigos originais (De Broglie, 1922, 1923, 2006) e interpretações oferecidas por fontes secundárias (Brown & Martins, 1984; Martins & Rosa, 2014; Strnad & Kuhn, 1985) (o que usamos para caracterizar o gênero científico) e quatro livros didáticos de ensino superior usado em disciplinas de Física 4 ou Introdução à Física Quântica (Eisberg & Resnick, 1985; Halliday, Resnick, & Walker, 2009; Nussenzveig, 2014; Tipler & Llewellyn, 2012) (o eu usamos para caracterizar o gênero didático). O referencial teórico que subsidia nossa análise é a Filosofia da Linguagem de Bakhtin (Bakhtin, 1981, 1997, 2016, 2017), cujos principais conceitos são brevemente discutidos na seção 2 e cujo desdobramento metodológico é discutido na seção 3.

Partindo de tal concepção teórica, apresentamos, primeiramente, uma narrativa sobre a teoria quântica de de Broglie, a partir dos artigos originais e de fontes secundárias bem como de interpretações de artigos científicos subsequentes, discutindo as premissas teóricas subjacentes, suas implicações, corroborações e problematizações contemporâneas (seção 4). Nosso objetivo em tal seção é, partindo dos trabalhos originais, apresentar uma narrativa contemporânea sobre a construção de de Broglie de forma a dialogar com experimentos e discussões teóricas. Assim, nossa narrativa hibridiza intencionalmente elementos dos artigos originais com discussões contemporâneas.

Na seção 5, apresentamos uma interpretação metalinguística sobre os enunciados dos livros didáticos que relatam como De Broglie chegou à sua equação do comprimento de onda, tomando como elemento dialógico a narrativa construída na seção 4. Indicamos vozes epistemológicas, ontológicas e didáticas subjacentes aos enunciados dos autores livros didáticos. A partir dos resultados obtidos, apresentamos uma reflexão sobre o papel do livro didático na formação

de cientistas e professores de ciência à luz de discussões contemporâneas de sociologia da ciência (Latour, 1999, 2005, 2011, 2013; Latour & Woolgar, 1988) e discutimos as razões subjacente às escolhas feitas no processo de “transposição didática” (Chevallard, 1998).

2. Referencial Teórico: A Filosofia da Linguagem de Bakhtin

Esse trabalho é fundamentado na concepção de linguagem proposta por Mikhail Bakhtin (Bakhtin, 1981, 2016, 2017). Antes de apresentar os desdobramentos metodológicos que advêm de tal concepção, em consonância com o que vem sendo utilizado na pesquisa em Educação em Ciências (Lima, Antunes, Ostermann, & Cavalcanti, 2017a, 2017b; Lima, Ostermann, & Cavalcanti, 2017; Veneu, Ferraz, & Rezende, 2015), apresentamos os principais conceitos utilizados não só na análise propriamente; mas, também, para subsidiar a concepção de pesquisa qualitativa e, por consequência, no *design* da análise realizada.

A Filosofia da Linguagem de Bakhtin se caracteriza por analisar os processos de comunicação discursiva em sua ocorrência concreta, isto é, no evento social da interação verbal; e não engessados em uma forma determinada pelas regras gramaticais: “Ela (a linguagem) é um produto da vida social, a qual não é fixa nem petrificada: a linguagem encontra-se em um perpétuo devir e seu desenvolvimento segue a evolução da vida social” (Voloshinov, 1930, p. 1). Essa visão da linguagem faz a teoria bakhtiniana contrastar com as diferentes teorias linguísticas que lhe eram contemporâneas, nas quais a linguagem era vista ou como fruto da expressão individual livre ou como materialização do sistema abstrato da língua (Bakhtin, 2006).

Para Bakhtin, toda expressão linguística é voltada ao outro, mesmo quando esse outro se encontra fisicamente ausente. Quando um professor ministra sua aula, por exemplo, ele espera causar uma certa reação em seus alunos, seja de concordância, espanto ou interesse. Mesmo que a plateia não responda verbalmente imediatamente, cada ouvinte terá uma reação que resultará em uma resposta, ainda que essa seja proferida apenas mentalmente. Por isso, embora, do ponto de vista externo, se presencie um monólogo, o processo comunicativo está se dando na forma de um diálogo.

Esse caráter dialógico do discurso, isto é, sua inevitável orientação a alguém que seja capaz de compreender e dar uma resposta (real ou virtual) é chamado, na teoria bakhtiniana, de orientação social do discurso (Voloshinov, 1930). Todo locutor, em maior ou menor medida, é consciente da resposta que deseja causar e, portanto, organiza seu enunciado (escolhendo o seu tema, fazendo opções composicionais, lexicais e fraseológicas) com o objetivo de atingir o resultado desejado. É nesse sentido que se pode afirmar que a dialogia do discurso resulta sua não-neutralidade, isto é, todo enunciado é intencional (Bakhtin, 2006, 2016).

Ainda, em nossa análise, devemos notar que cada enunciado é concreto (existe apenas em um evento da interação social) e único (seu significado depende do contexto extra-verbal em que é realizado). Isso quer dizer que o significado de um dado enunciado não depende apenas de sua parte verbal, mas também do contexto em que tal enunciado é proferido. Por exemplo, uma construção verbal proferida em uma situação séria pode ser repetida em outra situação com tom de deboche e escárnio. Ainda que a parte verbal seja idêntica nos dois casos, o contexto muda seu significado. Dessa forma, mesmo que um determinado locutor tente copiar integralmente o enunciado proferido por outro locutor, essa cópia nunca será perfeita, pois não será realizada no mesmo contexto extra-verbal. Isso permite, por exemplo, que uma mesma obra tenha seu sentido ressignificado ao longo da história, não porque seu texto mudou; mas por que a rede de enunciados utilizados para interpretar aquela obra muda com o passar dos séculos (Bakhtin, 2017). Vamos denominar essa “impossibilidade de cópia integral” como primeira restrição sobre o enunciado.

Apesar de cada enunciado ser único (jamais poder ser integralmente copiado) seu conteúdo temático, seu estilo (seleção de recursos lexicais, fraseológicos e gramaticais) e sua construção composicional refletem as condições específicas e as finalidades do campo de atividade humana em que são realizados (BAKHTIN, 2016). Ao escrever um artigo científico para ser submetido a uma revista de física teórica, por exemplo, um sujeito deverá escolher um tema que seja de relevância àquela comunidade científica, deverá usar predominantemente uma linguagem técnica, impessoal e objetiva, e deverá construir o artigo seguindo uma sequência esperada (introdução, objetivos, métodos, resultados e conclusões), sendo permitida uma pequena margem para

variações de estilo individual. Se o mesmo sujeito decidir escrever um texto de cunho religioso, o tema, o estilo e a construção composicional terão outras características.

Dessa forma, podemos dizer que cada campo de utilização da língua elabora seus tipos relativamente estáveis de enunciados, os quais são denominados gêneros do discurso (BAKHTIN, 2016). A noção de que cada enunciado, ainda que único, resguarda similaridades aos enunciados do mesmo gênero do discurso, coloca o enunciado bakhtiniano como uma unidade elementar, ainda que complexa, no meu estilo da mônadas Leibnitz (Bakhtin, 2016). Isso traz sobre o enunciado uma segunda restrição: nenhum enunciado pode ser considerado uma combinação absolutamente livre da língua (BAKHTIN, 2016), pois, uma vez escolhido o gênero do discurso – o enunciado estará restringido em suas possibilidades. Essas restrições aparecem porque o sujeito não constrói seu enunciado a partir de um vazio absoluto, mas o faz a partir de enunciados anteriores que já presenciou.

Ademais, todo falante é por si mesmo um respondente em maior ou menor grau: porque ele não é o primeiro falante, o primeiro a ter violado o eterno silêncio do universo, e pressupõe não só a existência do sistema de língua que usa mas também de alguns enunciados antecedentes – dos seus alheios – com os quais o seu enunciado entra nessas ou naquelas relações (baseia-se neles, polemiza com eles, simplesmente os pressupõe já conhecidos do ouvinte). Cada enunciado é um elo na corrente complexamente organizada de outros enunciados. (BAKHTIN, 2016, p.26)

Assim, um enunciado nunca pode ser uma cópia integral de um enunciado anterior; mas, também, não pode estar totalmente apartado da cadeia de comunicação verbal. Ele está sempre em diálogo com enunciados anteriores. Tal concepção de discurso é fundamental para a presente pesquisa. Qualquer enunciado que se remeta a outros enunciados jamais poderá lhe ser uma cópia fiel (primeira restrição), tão pouco lhe estar totalmente apartado (segunda restrição); mas estar posicionado em um “espectro contínuo” de possibilidades. Um discurso que mantenha muitas características do enunciado original, valendo-se de citações diretas, por exemplo, certamente, está mais próximo de

uma cópia total (ainda que nunca atinja tal *status*) do que somente citações indiretas e livres. Podemos dizer que o primeiro discurso reflete muitas características do enunciado original, enquanto que o enunciado mais livre, que hibridiza o enunciado original com outras visões, refrata as características do enunciado original. Representamos isso na figura 1.

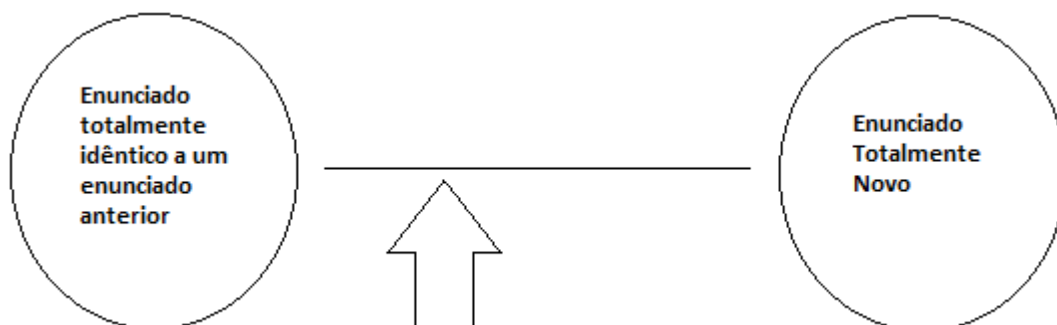


Figura 1. Um enunciado pode estar posicionado em um espectro contínuo entre ser um enunciado totalmente novo ou totalmente idêntico a um enunciado anterior sem, entretanto, nunca poder atingir tais polos. A flecha indica um enunciado que reflete mais características do enunciado original do que a refrata.

No caso dos livros didáticos, seus temas são os enunciados proferidos por cientistas. Se eles copiassem os artigos originais, *ipsis literis*, o enunciado didático estaria muito próximo do polo à esquerda. Entretanto, é de se esperar, pela necessidade do campo de ação humana em que está inserido, que refrações sejam realizadas. A natureza de tais refrações, entretanto, como discutimos, não é neutra; mas depende da intencionalidade do autor. Tomando os artigos originais como referência e valendo-se do método de análise do estilo do discurso que propomos, pretendemos analisar como que os enunciados didáticos se afastam do polo da esquerda em direção ao polo da direita. Que opções os autores fazem para realizar tal afastamento? As etapas utilizadas para realizar tal pesquisa são descritas na próxima seção.

3. **Design de Pesquisa**

Seguimos as quatro etapas propostas por Veneu, Ferraz e Rezende (2015) para efetuar uma análise bakhtiniana do discurso.

3.1. Identificação do Enunciado

Para Bakhtin (2016), a unidade da comunicação verbal é o “enunciado”. Suas delimitações são marcadas pelas fronteiras do próprio discurso, ou seja, quando um locutor começa a falar seu enunciado começa, quando o outro começa a responder, termina-se um enunciado e começa-se outro. No caso de enunciados escritos, pode-se tomar como critérios para identificação dos limites do enunciado não a alternância de sujeitos falantes (visto que essa não acontece explicitamente), mas pela identificação de elementos estilísticos de conclusibilidade. Isto é, cada gênero do discurso tem formas peculiares de concluir seus enunciados. No caso de livros didáticos, podemos pensar que cada seção do livro é um enunciado, pois cada seção tem um tema próprio e finaliza seu discurso de forma peculiar, a apresentação de exercícios, através dos quais o aluno deve dar a sua “resposta”. Ou seja, ao final de cada seção o autor espera uma resposta do aluno e, portanto, os exercícios servem como uma marcação de conclusibilidade (Lima, Ostermann, et al., 2017)

3.2. Leitura preliminar do enunciado.

Uma vez feita a identificação dos enunciados, realiza-se uma primeira leitura, na qual são identificados alguns elementos estruturais, tais como tema, estrutura composicional e estilo. No caso do texto didático, podemos verificar ainda, quais conceitos são utilizados, quais trabalhos científicos são mencionados, qual a abordagem usada pelo autor, qual formalismo matemático empregado, visão epistemológica, entre outros. No presente trabalho, queremos analisar as relações dialógicas entre os trabalhos de de Broglie e os livros. Na primeira leitura, portanto, identificamos quais elementos da obra de de Broglie são mencionados.

3.3. Descrição do Contexto Extraverbal

A partir da leitura realizada na etapa 2, na qual se identificou os elementos da obra de De Broglie citadas nos livros, buscamos os artigos originais de de Broglie sobre tal assunto (De Broglie, 1922,1923, 2006), bem como referências

secundárias (Brown & Martins, 1984; Martins & Rosa, 2014; Strnad & Kuhn, 1985).

A partir de uma leitura cuidadosa dos artigos originais e dos comentários e interpretações feitas por outros físicos e historiadores, podemos formar uma compreensão sobre os trabalhos originais de De Broglie. Além disso, buscamos artigos científicos subsequentes que trouxessem implicações físicas dos trabalhos originais. Assim, formamos um panorama não somente das obras de De Broglie mas de suas implicações para a Ciência³³. A partir do panorama formado, o qual pode ser pensado como um contexto extraverbal para a produção dos textos didáticos, podemos passar para a última etapa da análise bakhtiniana.

3.4. Análise Bakhtiniana do Enunciado

A última etapa do dispositivo analítico consiste em articular os elementos linguísticos (escolha lexical, sintaxe, estilo, construção composicional, unidade temática, relação com o falante/outros participantes), o contexto extraverbal e os conceitos bakhtinianos envolvidos para responder às questões de pesquisa. No caso dessa pesquisa, analisamos como que os enunciados didáticos se reportam à obra de De Broglie, o que eles mantem, o que eles omitem, o que eles modificam, quais termos eles usam para fala de De Broglie, que tipo de narrativa eles privilegiam. Tais resultados, de caráter mais descritivo, são apresentados na seção 5. Na sequência, na seção 6, discutimos os resultados obtidos em um contexto mais amplo, traçando paralelos entre as questões sociológicas evidenciadas nos livros didáticos e a literatura já existente em sociologia da ciência.

4. A Dualidade Onda-Partícula de Louis De Broglie (Contexto Extraverbal para Análise Bakhtiniana)³⁴

³³ A descrição do contexto extra-verbal é feita na seção 4.

³⁴ Não existe uma forma única de se fazer uma apresentação do contexto extraverbal. Poderíamos, por exemplo, fazer uma narrativa historiográfica. Entretanto, isso já foi feito na literatura (Martins & Rosa, 2014). Optamos, portanto, por construir uma narrativa didática, baseada nos artigos originais. A partir dos artigos selecionados, construímos uma narrativa organizada que sintetiza a visão de De Broglie. Nessa narrativa, optamos por explicitar as premissas teóricas, a derivação matemática da relação entre momento e comprimento de onda e, por fim, as implicações de tal construção para a Física Contemporânea. Conforme discutido na seção 2, o presente texto é uma construção discursiva e, portanto, não pode ser idêntico aos trabalhos originais. Nosso objetivo, entretanto, é manter-se próximo ao polo da esquerda, trazendo, em um discurso organizado e didático, a maior quantidade possível de elementos dos textos originais. A presente seção foi escrita de forma a poder ser usada em uma disciplina de Física Moderna ou

Nesta seção, apresentamos uma construção teórica da dualidade onda-partícula para todos os objetos quânticos (quanta, elétrons, etc.) baseando-se nos trabalhos de Louis de Broglie bem como comentários de fontes secundárias. Nosso objetivo, como já foi mencionado, não é fazer uma reconstrução historiográfica. Partindo apenas de duas teses, discutimos o que é a dualidade onda-partícula para de Broglie e demonstramos a obtenção da equação que relaciona o momento da partícula com o comprimento de onda da onda associada. Nessa construção, explicitamos as premissas conceituais que subjazem a proposta de Louis De Broglie e evidenciamos que inovações teóricas são introduzidas pelo físico francês com relação ao desenvolvimento teórico da época.

Para fins didáticos, primeiramente, introduzimos uma subseção de contexto teórico (4.1) em que as principais equações usadas na articulação de De Broglie são apresentadas. Se o leitor está familiarizado com as equações da relatividade restrita e da quantização de Einstein ele pode passar diretamente para a seção 4.2, na qual apresentamos as duas teses que sintetizam a proposta dual de Louis De Broglie e as implicações conceituais e fenomenológicas dessas teses.

4.1. Contexto Teórico

A proposta dual de Louis De Broglie utiliza o corpo teórico estabelecido nas duas primeiras décadas do século XX. A Teoria da Relatividade Restrita (TRR) desempenha papel central na construção do formalismo matemático que foi utilizado para descrever não somente os quanta de luz como outras partículas elementares. Para que se possa compreender tal articulação teórica, apresentamos, primeiramente, uma revisão sobre os postulados TRR e as implicações que serão utilizadas na apresentação da proposta de Louis De Broglie. Expressamos os dois postulados propostos por Einstein (1905b) em sua forma original:

- i) **Primeiro Postulado:** As mesmas Leis da Eletrodinâmica e da ótica são válidas para todos os referenciais em que as equações da Mecânica são válidas.

Física 4. Sugere-se, apenas, que os alunos tenham já estudado Teoria da Relatividade Restrita e a quantização de Einstein.

- ii) **Segundo Postulado:** A luz sempre se propaga no espaço vazio com uma velocidade definida c , a qual é independente do estado de movimento do corpo emissor.

A partir desses dois postulados, todas as demais famosas consequências da TRR (contração do espaço, dilatação do tempo, etc.) podem ser derivadas. Não iremos apresentar tais derivações, pois isso já foi feito exaustivamente na literatura e pode ser encontrado em livros de Física Básica (Nussenzveig, 2014). Apresentaremos, apenas, os resultados que são utilizados na próxima seção

a) Transformação de Lorentz e Frequência Relativística

É possível mostrar que, para satisfazer o segundo postulado, o Princípio da Relatividade de Galileu deve ser transformado. Buscando-se uma transformação linear da Transformação de Galileu que satisfaça tal condição, obtém-se as Equações de Lorentz, que relacionam as três coordenadas espacial e a coordenada temporal em dois referenciais (S' e S) quando S' se movem com uma velocidade v em relação a S ao longo do eixo x :

$$x' = \gamma(x - vt) \quad (1.1)$$

$$y' = y \quad (1.2)$$

$$z' = z \quad (1.3)$$

$$t' = \gamma \left(t - \frac{vx}{c^2} \right) \quad (1.4)$$

Em que

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (2)$$

E

$$\beta = v/c \quad (3)$$

Das equações de Lorentz, é possível obter a equação da dilatação temporal. Consideremos como intervalo de tempo próprio (t_0) a medida de tempo entre dois eventos em um mesmo lugar do espaço. Nesse caso, a equação 1.4 toma a seguinte forma:

$$t' = \gamma t_0 = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (4)$$

Ou seja, a medida de tempo realizado em um referencial não próprio é maior do que aquela realizada no referencial próprio. Por outro lado, se compararmos as frequências de dois relógios nos diferentes referenciais, obtemos as seguintes relações:

$$\frac{1}{t_0} = \frac{\gamma}{t'} \rightarrow \nu' = \frac{\nu_0}{\gamma} = \nu_0 \sqrt{1 - \beta} \quad (5)$$

A frequência medida em um referencial não próprio é menor do que a frequência medida no referencial próprio.

b) Momento Relativístico

Na TRR, o momento também deve ser corrigido, de forma que ele pode ser expresso como o momento clássico vezes o fator de Lorentz (γ):

$$G = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \beta}} \quad (6)$$

Deve-se notar que a expressão do momento relativístico tende à expressão do momento clássico, quando o fator de velocidade (β) tende à zero. Por outro lado, para partículas com velocidade próxima à velocidade da luz, a expressão relativística passa a ser necessária.

Uma questão relevante é como a expressão de momento relativístico pode ser usado para o quantum (de luz). Para luz, de acordo com o segundo postulado da TRR, $\beta=1$, de forma que o denominador da equação 6 é nulo. Entretanto, Einstein

já havia associado o quantum à noção de momentum em 1917. Nesse caso, para que se possa ter um momento limitado, os quanta devem compulsoriamente ter uma massa nula.

c) Relação entre energia e massa

É possível, também, relacionar o valor de massa de uma partícula com energia associada a ela. Quando essa relação é feita no referencial próprio da partícula (em repouso em relação a ela), obtém-se:

$$E_0 = m_0 c^2 \quad (7)$$

Quando a energia é medida em outro referencial, deve-se, também, levar em conta a correção relativística³⁵:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (8)$$

d) Energia Cinética Relativística

Para um observador no referencial próprio, a energia cinética do corpo é nula. Em um outro referencial, entretanto, a energia cinética deve ser a energia total do corpo excluindo-se a energia associada à massa de repouso (considerando-se que não há potenciais de interação envolvidos). Nesse caso, a expressão relativística da energia cinética pode ser expressa:

$$W = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) \quad (9)$$

e) Relação entre energia, momento e massa

³⁵ Observa-se que estamos utilizando a notação de massa de repouso e massa relativística. Tal notação não é original do trabalho de Einstein e pode implicar problemas conceituais (Ostermann & Ricci, 2004). Apesar disso, utilizamo-la visto que de Broglie a utiliza.

Combinando-se as equações 6, 7 e 8, pode-se relacionar energia, momentum e massa de repouso:

$$E^2 = p^2c^2 + m_0^2c^4 \quad (10)$$

As equações 1-10 sintetizam as expressões de TRR que são necessárias para entender a proposta de Louis de Broglie. Ainda, entretanto, é necessário se lançar mão da equação que relaciona energia e frequência na Teoria Quântica.

f) Relação entre energia e frequência

A equação que relaciona energia (E) e frequência (ν) na Teoria Quântica foi obtida de formas independentes por Planck e Einstein (1905a):

$$E = h\nu \quad (11)$$

O significado auferido a tal expressão também divergia entre os dois autores. Enquanto para Planck, a equação expressava a energia dos osciladores dentro da matéria, para Einstein, a relação se refere à energia dos quanta de luz. Para Einstein, cada quantum é um corpúsculo com posição definida no espaço e com energia $h\nu$. Entretanto, como um corpúsculo pode ser associado a uma frequência não foi explicado por Einstein³⁶. Como veremos, não só o significado da expressão matemática é redefinido por de Broglie, como a relação entre partícula e onda é explicada por Louis de Broglie.

4.2. A proposta de Louis De Broglie

Tendo em mente os conceitos definidos no âmbito da TRR e da Teoria Quântica, é possível entender a proposta quântica de Louis De Broglie bem como as inovações que ela traz. Neste trabalho, apresentamos duas teses que

³⁶ No artigo de 1905, Einstein propõe que as propriedades ondulatórias da radiação aparecem apenas em casos em que a grandeza medida se refere a uma média estatística de um conjunto de quanta (Einstein, 1905a). Em 1909, Einstein adota uma visão diferente, especulando que a radiação deveria ser composta por corpúsculos e por um campo vetorial associado (Einstein, 1909). Einstein nunca conseguiu, entretanto, formalizar tal visão.

sintetizam tal concepção. Como veremos, as duas teses avançam no sentido de prover uma teoria generalizada para os objetos quânticos. Ao invés de precisar de uma teoria para falar de radiação eletromagnética e outra para falar de elétrons, por exemplo, a proposta de De Broglie coloca todos os entes em quânticos em pé de igualdade ontológica. De acordo com a concepção desenvolvida pela teoria da relatividade restrita, como mencionamos, luz não pode ter massa. Ainda hoje, a visão hegemônica concorda com tal concepção e estabelece uma distinção entre o que seria a quântica para partículas clássicas (Equação de Schrodinger), para partículas relativísticas (Equação de Klein-Gordon), partículas com spin (Equação de Dirac) e para fótons (Segunda Quantização). Hoje, não podemos aplicar a equação de Schrödinger ou de Klein-Gordon para fótons. Veremos, entretanto, que essa não é a visão defendida por De Broglie.

A primeira tese que apresentamos estende a noção de quantum como partícula (e, portanto, ontologicamente idêntica a outras partículas de matéria) e a segunda tese associa a todas as partículas um fenômeno ondulatório, generalizando a noção de que todo ente quântico é composto por uma partícula e uma onda associada. Com isso, ressaltamos três elementos da Teoria de de Broglie: primeiro, ela se refere a todos os entes do mundo, segundo ela é uma teoria simetricamente dual (não é que existam partículas que se comportem como matéria e ondas que se comportam como partículas, todos os entes são compostos por partícula e um fenômeno oscilatório) e, terceiro, ela é uma teoria relativística.

Tese 1. Quanta são átomos (partículas indivisíveis) de luz com massa de repouso diferente de zero. Todos os quanta, no referencial próprio, são idênticos.

Ao analisar a equação 6, discutimos que os *quanta* obrigatoriamente deveriam ter massa de repouso nula para garantir que o valor do momentum e da energia fossem limitados. Ao assumir, entretanto, que fótons tenham massa; deve-se modificar o segundo postulado da TRR. A velocidade c deve ser tomada como uma velocidade limite para corpos com massa. Os quanta, por terem uma massa muito pequena, devem ter uma velocidade levemente inferior a c (a luz

não se propaga na “velocidade da luz”). Vamos apresentar as próprias palavras de Broglie:

A massa dos átomos de luz é suposta, conforme as fórmulas da Mecânica Relativística, igual a $\frac{hv}{c^2}$, razão da energia pelo quadrado da velocidade da luz. Sua quantidade de movimento é $\frac{hv}{c} = \frac{W}{c}$ (Louis De Broglie, 1922, p. 422)

Nota-se que, interessantemente, de Broglie continua chamando c de velocidade da luz, e ele utiliza a expressão de momentum relativístico advindo da equação (11) quando a massa é nula. Isso não contradiz a hipótese de que os átomos de luz tenham massa visto que o valor da massa proposta por de Broglie é muito pequeno. De forma que, para fins experimentais, a velocidade dos fótons é c e o momento $\frac{hv}{c}$.

Para mensurar como a velocidade dos átomos de luz é afetado pela existência de massa, podemos derivar uma relação (Louis De Broglie, 1922, p. 428) a partir das equações (8) e (11):

$$\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} = hv \quad (12)$$

Tomando o quadrado dois lados da equação e usando (3), temos:

$$\frac{m_0^2 c^4}{1 - \beta^2} = \frac{m_0^2 c^4}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = h^2 v^2 \quad (13)$$

Isolando a velocidade, obtemos:

$$v^2 = c^2 - \frac{m_0^2 c^6}{h^2 v^2} \quad (14)$$

$$v = \sqrt{c^2 - \frac{m_0^2 c^6}{h^2 v^2}} \cong c - \frac{c^3 m_0^2}{2 h^2 v^2} \quad (15)$$

Em que, na última igualdade, foi usada a expansão em Série de Taylor $\sqrt{1-x^2} = 1 - \frac{x^2}{2}$. Observa-se que a velocidade dos átomos de luz é igual a c menos um termo que depende do quadrado de sua massa, cujo valor não é sugerido por De Broglie no artigo de 1922. Em outros trabalhos, entretanto, especulam-se valores da ordem de grandeza de 10^{-50} g (L. De Broglie, 1923).

Outra característica interessante da equação (15) é a relação entre velocidade e frequência. Quanto maior a frequência da radiação, maior sua velocidade. Representamos na figura 1, como se comporta o parâmetro de velocidade em relação à frequência da radiação eletromagnética. Observa-se que se precisaria produzir uma radiação eletromagnética de baixíssima frequência para que sua velocidade fosse significativamente perceptível abaixo da velocidade da luz.

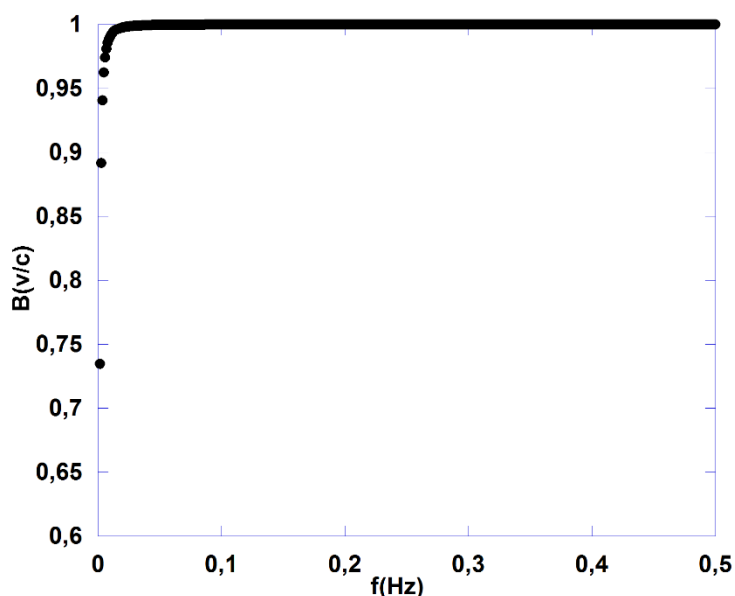


Figura 1. Parâmetro de velocidade para fótons em relação à sua frequência.

Com relação à tese 1, observa-se que ela ainda não é, isoladamente, uma proposta dual. Ela simplesmente avança na proposta de Einstein de entender os *quanta* como corpúsculo. De Broglie leva tal concepção às últimas consequências, dotando os quanta de massa como qualquer outra partícula. Isso cria uma primeira simetria entre quanta e outras partículas. A questão resolvida pela tese dois é a de como associar a tais partículas uma natureza ondulatória.

Para propor tal relação, podemos partir da equação 14, no caso em que estamos no referencial próprio do átomo de luz (o que é possível, visto que ele

possui massa). Nesse caso, obtem-se que há uma frequência associada à energia de repouso do átomo de luz:

$$h\nu = m_0c^2 \quad (16)$$

Ou seja, no repouso, o átomo de luz possui um movimento oscilatório cuja frequência pode ser associada à sua massa de repouso. Conforme propusemos, entretanto, não há nada que distinga átomos de luz de outras formas de partícula. Além disso, De Broglie tinha razões teóricas para inferir que luz e matéria podem ser idênticos. Ambos se propagam obedecendo um princípio de minimização. A luz obedece ao princípio de Fermat e as partículas ao princípio de minimização da ação. Em 1924, De Broglie mostrou que ambos podem ser unificados em único formalismo (L. De Broglie, 2006). Ademais, a regra de quantização do elétron de Bohr guarda grande semelhança a quantização dos modos de vibração de uma onda estacionária, o que foi abordado por De Broglie em 1923 (L. De Broglie, 1923). E, por fim, Stark já havia calculado frequência associada à massa de repouso do elétron em 1907 usando a relação (14) (Martins & Rosa, 2014, p. 72).

Tese 2. A toda partícula é associado um fenômeno periódico. No referencial próprio, tal fenômeno tem frequência ν_0 , de forma que $h\nu_0$ corresponde à energia de repouso associada à partícula. Em outro referencial (diferente do referencial próprio) tal fenômeno é interpretado como um grupo de ondas de fase com frequência similar.

Deve-se observar que os quanta já foram considerados por De Broglie como partículas. De forma que a tese 2 é referente a todos os corpos (sem distinção entre radiação e matéria). Ao fazer, entretanto, a associação de uma frequência ν_0 com a massa de qualquer partícula, De Broglie generaliza a equação (11), a qual foi obtida estritamente no contexto de quanta. A equação de Planck e Einstein passa, então, a ser usada para todo objeto quântico.

Para analisar a consistência e as implicações da segunda tese³⁷, vamos supor um movimento periódico no referencial próprio (tal qual uma oscilação harmônica):

$$\Psi(t_0) = A \cos w_0 t_0 \quad (17)$$

Em outro referencial, do qual a partícula é vista sem movendo com velocidade v , tem-se, utilizando a equação (1.1), que o movimento oscilatório é descrito por

$$\Psi(x, t) = A \cos w_0 \gamma \left(t - \frac{vx}{c^2} \right) \quad (18)$$

Comparando-se essa equação com a função de uma onda

$$\Psi(x, t) = A \cos(wt - kx) \quad (19)$$

Chega-se nas seguintes relações:

$$w = w_0 \gamma \quad e \quad k = w_0 \gamma v / c^2 \quad (20)$$

Pode-se, ainda, calcular a velocidade com que tal onda se propaga:

$$V = \frac{w}{k} = \frac{c^2}{v} = \frac{c}{\beta} \quad (21)$$

Como β é sempre menor do que 1, temos que a velocidade da onda é maior do que a velocidade da luz. Devido ao segundo postulado da teoria da relatividade restrita, tal onda não pode transportar energia. Devido a isso, De Broglie a chamou, em um primeiro momento, de onda fictícia, abandonando tal termo em artigos subsequentes (Martins & Rosa, 2014). Da equação (20) ainda podemos expressar a frequência angular do movimento em termos do parâmetro de velocidade:

$$w = \frac{w_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (23)$$

Comparando-se essa expressão com a equação 5, observa-se que a frequência da onda associada não é transformada como a frequência do relógio.

³⁷ Seguimos, ao longo dessa argumentação, elementos do artigo original (L. De Broglie, 1923) bem como comentários de Roberto Martins e Rosa (2014) e de e Brown e Martins (1984).

Pelo contrário, o fator de Lorentz aparece invertido em ambas equações. A expressão (21), entretanto, é covariante com a energia da partícula:

$$E = h\nu = \frac{h\omega}{2\pi} = \frac{h\omega_0}{2\pi\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{h\nu_0}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (24)$$

De onde se obtém

$$v = \frac{m_0c^2}{h\sqrt{1-\beta^2}} \quad (25)$$

Assim, podemos afirmar que a frequência da onda associada à partícula é equivalente à frequência associada à energia da partícula para qualquer referencial inercial. O fato de a energia e frequência serem covariantes é um ponto positivo para a consistência da teoria. Entretanto, deve-se, ainda, resolver o problema de por que a transformação da frequência não segue a transformação usual da frequência.

Para tanto, deve-se levar em conta de que na tese 2, afirma-se que a partícula não é associada a uma única onda, mas a um grupo de ondas com frequências similares. Vamos mostrar que, embora cada onda tenha velocidade $\frac{c}{\beta}$, a velocidade do grupo é βc (a velocidade da partícula) e embora a frequência de cada onda de fase não seja covariante com a transformação da frequência, a frequência do batimento do grupo é. Para demonstrar isso, usamos a expressão da velocidade de grupo (U) usada por De Broglie³⁸:

$$\frac{1}{U} = \frac{d\left(\frac{\nu}{v}\right)}{d\nu} \quad (26)$$

Isolando β na equação (24), obtemos:

³⁸ A expressão mais usual, atualmente, seria $U = \frac{d\omega}{dk}$. Ambas expressões são equivalentes.

$$\beta = \frac{\sqrt{v^2 h^2 - m_0^2 c^4}}{h v} \quad (27)$$

Substituindo (27) na (21)

$$V = \frac{c}{\beta} = \frac{c h v}{\sqrt{v^2 h^2 - m_0^2 c^4}} \quad (28)$$

Podemos agora calcular $\frac{v}{V}$

$$\frac{v}{V} = v \frac{\sqrt{v^2 h^2 - m_0^2 c^4}}{c h v} = \frac{\sqrt{v^2 h^2 - m_0^2 c^4}}{c h} \quad (29)$$

Efetuada a derivação de (29) em relação a v e substituindo em (26):

$$\frac{1}{U} = \frac{d\left(\frac{v}{V}\right)}{dv} = \frac{h v}{c \sqrt{v^2 h^2 - m_0^2 c^4}} = \frac{1}{\beta c} \quad (30)$$

O que fornece finalmente,

$$U = \beta c \quad (31)$$

Para calcular a frequência do batimento, pode-se partir de (23):

$$v = \frac{v_0}{(1 - \beta)^{1/2}} \rightarrow v^2 = \frac{v_0^2}{(1 - \beta)} = \frac{v_0^2}{(1 - c^2/V^2)} \quad (32)$$

Ainda, podemos usar a relação válida para todas ondas $V = \lambda v$ em (32):

$$\frac{V^2}{\lambda^2} \left(1 - \frac{c^2}{V^2}\right) = v_0^2 \quad (33)$$

Isolando V^2 :

$$V^2 = c^2 + v_0^2 \lambda^2 \quad (34)$$

Por fim, podemos calcular a frequência do batimento (Brown & Martins, 1984):

$$v' = \frac{\partial V}{\partial \lambda} = \frac{v_0^2 \lambda}{V} = \frac{v_0^2 \lambda}{\lambda v} = \frac{v_0^2}{\frac{v_0}{(1-\beta)^{1/2}}} = v_0(1-\beta)^{1/2} \quad (35)$$

O que fornece uma expressão covariante com a equação (5). Com isso, conseguimos explicar as propriedades das ondas associadas às partículas previstas na tese 2. Relacionamos as características da onda e fase e do grupo de onda na tabela 1.

Tabela 1. Características das ondas de fase e do grupo de onda.

Características	Onda de Fase	Grupo de onda
Velocidade	$V = \frac{c}{\beta}$	$U = \beta c = v$
Relação com Energia	$E = \frac{h\nu_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$	
Transformação da frequência	$v = \frac{v_0}{(1-\beta)^{1/2}}$	$v' = v_0(1-\beta)^{1/2}$

Uma vez garantida a consistência interna da proposta de De Broglie, podemos avançar em nosso conhecimento teórico sobre esse sistema onda-partícula. Vamos investigar como o momento da partícula se relaciona com o comprimento de onda associado. Partimos da equação (8):

$$E^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = m_0^2 c^4 \quad (36)$$

Podemos reorganizar os termos:

$$E^2 c^2 - m_0^2 c^4 = E^2 v^2 / c^2 \quad (37)$$

Ainda, podemos combinar $V = \lambda v$ e $V = \frac{c^2}{v}$ para escrever v como função do comprimento de onda e da frequência:

$$v = \frac{c^2}{\lambda \nu} \quad (38)$$

Substituindo (38) em (37) e utilizando (10):

$$p^2 c^4 = h^2 v^2 c^4 / \lambda^2 v^2 \quad (39)$$

Simplificado a expressão obtemos:

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad (40)$$

Tal expressão relaciona o momento de qualquer partícula com o comprimento de onda associado a ela. λ , nesse contexto, normalmente, é chamado de comprimento de onda de de Broglie. Deve-se observar que ele é válido para todas as partículas (fótons, elétrons, prótons, etc.) e foi obtido a partir de uma derivação relativística. A mesma relação poderia ser obtida, somente para fótons, assumindo a noção de massa nula, utilizando (10) e (11). Entretanto, não é isso que de Broglie fez. Ele chega nessa relação para todas partículas (e não só para fótons) sem ter que assumir massa nula para nenhuma partícula e sem limitar sua derivação ao caso não-relativístico. Nesse processo, entretanto, assumimos a existência de ondas imateriais com velocidade supraluminal associadas.

5. A narrativa dos livros didáticos

Na seção anterior apresentamos uma narrativa sobre a dualidade onda-partícula de De Broglie apoiada nos artigos originais e comentários especializados. Tal narrativa tinha por objetivo apresentar uma visão organizada e sintética da proposta de De Broglie, explicitando suas premissas e inovações. Conforme mencionamos na seção de referencial teórico, podemos analisar as vozes subjacentes a um enunciado comparando-o com formas distintas de se fazer uma dada proposição. Nesta seção, vamos analisar os enunciados de quatro livros didáticos sobre a proposta dual de de Broglie. Contrastando tais enunciados com a narrativa apresentada na seção 4, pretendemos explicitar algumas características discursivas dos livros didáticos. Nessa seção, fazemos

uma apresentação mais descritiva dos resultados e, na seção 6, os interpretamos à luz da sociologia da ciência e da Teoria da Transposição Didática.

a) Livro Curso de Física Básica Volume 4 – Ótica, Relatividade e Física Quântica

A teoria de de Broglie é apresentada por Nussenzveig (2014) na seção “As Ondas de de Broglie”, após uma seção sobre o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Compton. De acordo, com o autor

Em 1923, o físico francês Louis de Broglie, que estava preparando sua tese de doutoramento, sugeriu uma série de ideias especulativas, baseada nos resultados até então obtidos para fótons, na teoria de Bohr, e na analogia ótico-mecânica. (Nussenzveig, 2014, p. 224)

O primeiro elemento que se destaca na narrativa de Nussenzveig (2014) é a escolha de um léxico que desmerece a produção de de Broglie, resumindo-a a “uma série de ideias especulativas”. O trabalho de de Broglie era especulativo na mesma medida em que a proposição do *quantum* por Einstein em 1905 também o era e na mesma medida de toda inovação teórica. Deve-se ter clareza, entretanto, que essa “especulação” não aparece na teoria de de Broglie como um “lampejo de genialidade” como se costuma desenhar na descrição popular das descobertas científicas (French, 2009). Como discutimos na seção anterior, as ideias de De Broglie são fortemente atadas por um formalismo matemático robusto, baseado principalmente nos postulados e consequências da Teoria da Relatividade Restrita. O termo “especulação” parece esconder a articulação da ideia de de Broglie com o restante da Física, o que, no mínimo, é uma postura injusta. A inovação (e não especulação) de de Broglie está em utilizar a relação $E = h\nu$ (deduzida para fótons por Einstein) para todas as partículas. Entretanto, como já mencionamos, ele não foi o primeiro a fazer isso. Stark calculara a frequência associada à massa de repouso do elétron em 1907 (Martins & Rosa, 2014, p. 72). Então, a contribuição de de Broglie não está nem mesmo nessa inovação, mas em tê-la levado às últimas consequências. Assim, parece mais adequado pensar na obra de de Broglie não como uma especulação, mas como a articulação matemática e conceitual de ideias já presentes em sua época.

Além disso, Nussenzveig (2014) limita as origens da proposta de de Broglie aos resultados sobre o fóton, o que não está em consonância com os dados historiográficos primários. Apesar de a equação $E = h\nu$ ter sido deduzida para fótons, o desenvolvimento teórico de de Broglie é para partículas com massa (inclusive, mas não somente, fótons). Ademais, o autor dá entender que os resultados obtidos para fótons foram obtidos por Bohr, o que, também, não está em consonância com os dados historiográficos primários. Embora Bohr tenha quantizado os níveis de energia do átomo de hidrogênio (Bohr, 1913), não se encontra em seu artigo uma só menção a fótons ou quanta. Esse primeiro trecho demonstra, portanto, não só uma desvalorização do trabalho de de Broglie mas uma série de confusões sobre as origens de sua teoria. O autor prossegue afirmando que

Para fóton, como vimos no tratamento do Efeito Compton, manifestam-se efeitos que os caracterizam como partículas, mas que ao mesmo tempo dependem de suas propriedades ondulatórias, como a relação entre a magnitude do momento p do fóton e o seu comprimento de onda λ : $p = \frac{h}{\lambda}$
(Nussenzveig, 2014, p. 225)

Tal trecho menciona a derivação do momento para fótons (sem massa). Na sequência, Nussenzveig (2014) relaciona essa equação com a proposta de de Broglie:

O aparecimento de números inteiros na condição de quantização de Bohr para as órbitas dos elétrons no átomo de H foi uma pista importante. (...). Assim, a contrapartida das propriedades corpuscular da luz, antes considerada como onda, seria a existência de propriedades ondulatórias dos elétrons (mais geralmente, de outras partículas), até então tratados como corpúsculos. Por analogia com $p = \frac{h}{\lambda}$, De Broglie postulou que o comprimento de onda associada à partícula (não relativísticas) de momento $p=mv$ seria: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$
(Nussenzveig, 2014, p. 225)

Ou seja, segundo Nussenzveig (2014), a partir de uma pista importante sobre a natureza ondulatória de elétrons, De Broglie teria usado uma equação derivada para partículas sem massa para falar de todas partículas. Certamente,

essa teria sido uma teoria bastante especulativa se tivesse sido proposta assim. Tal narrativa, além de reduzir significativamente a proposta de de Broglie, sugere que, enquanto Einstein e Bohr falavam de fótons, de Broglie passou a falar de outras partículas. Da leitura dos artigos originais, isso não pode ser sustentado. Ainda, com a omissão da construção teórica no livro didático, não fica claro para o leitor se a teoria de de Broglie é relativística ou clássica e, ainda, qual o significado físico da onda associada.

b) Livro Fundamentos de Física – Volume 4 – Ótica e Física Moderna (Halliday et al., 2009)

O livro de Halliday et al (2009) segue a mesma estruturação do livro anterior. Após discutir o efeito fotoelétrico e o efeito Compton, os autores apresentam a seguinte narrativa sobre a teoria de de Broglie:

Em 1924, o físico francês Louis de Broglie propôs a seguinte linha de raciocínio: um feixe luminoso é uma onda, mas transfere energia e momento a partículas de matéria apenas em eventos pontuais, através de “pacotes” chamados de fótons. Por que um feixe de partículas não pode ter as mesmas propriedades? Em outras palavras, por que não podemos pensar em um elétron, ou qualquer outra partícula como uma onda de matéria que transfere energia e momento a outras partículas de matéria em eventos pontuais? (...) Em particular, de Broglie sugeriu que $p = \frac{h}{\lambda}$ fosse aplicada, não só aos fótons, mas também a elétrons. (...) A ideia de de Broglie era usá-la na forma $\lambda = \frac{h}{p}$ para atribuir um comprimento de onda λ a uma partícula de momento. (Halliday et al., 2009, p. 189).

Novamente, encontramos a noção de que de Broglie estendeu resultados obtidos para fótons para outras partículas. Ou seja, todo trabalho de de Broglie é resumido ao fato de assumir simetria ontológica entre partículas e ondas. Ainda que essa seja uma ideia importante no trabalho de de Broglie, por si só, ela não justificaria a possibilidade de usar $p = \frac{h}{\lambda}$ para partículas com massa. Para que se possa atribuir tal equação a qualquer partícula é necessária toda articulação teórica que desenvolvemos na seção anterior.

Nesse sentido, é consistente afirmar que o livro didático, apesar de apresentar o resultado correto obtido por de Broglie, o faz por argumentos logicamente incorretos ou inconsistentes. A extensão que o livro faz é inaceitável cientificamente. Além disso, os autores valem-se de uma escolha lexical simplista, beirando o tom jornalístico como em “propôs a seguinte linha de raciocínio” seguida de três linhas. Há, portanto, uma intensa simplificação da produção científica.

c) Livro *Modern Physics* (Tipler & Llewellyn, 2012)

Os autores seguem a mesma estrutura composicional dos livros anteriores e narram que

Em 1924, um estudante francês de pós-graduação, Louis de Broglie, propôs sua tese de doutorado, que o comportamento dual, isto é, corpuscular e ondulatório que até então era conhecido para fótons, era também característica da matéria, em particular, elétrons. Essa sugestão era altamente especulativa, uma vez que não havia nenhuma evidência experimental para nenhum aspecto ondulatório de elétrons ou qualquer outra partícula. O que o levou para tal ideia aparentemente estranha. Ela foi “tirada da cartola,” assim como “pensamento feliz” de Einstein que o levou ao princípio da equivalência. (Tipler & Llewellyn, 2012, p. 193)

Tipler e Llewellyn afirmam que o comportamento dual do fóton já havia sido estabelecido. Isso, entretanto, não é uma afirmação consensual. A proposta de Einstein e de Compton para fótons considerava-os como partículas. Ou seja, antes de de Broglie havia uma dicotomia na descrição da radiação: em escala individual, a radiação era tratada como partículas, enquanto que em escala macroscópica ela era tratada como contínua. Isso não é dualidade.

A dualidade quântica surge na medida em que o mesmo ente assume tanto comportamento corpuscular quanto ondulatório (Martins & Rosa, 2014). A primeira pessoa a propor tal ideia foi o próprio De Broglie, tanto para os fótons como para outras partículas. A dualidade é inaugurada com sua teoria e, portanto, não é consistente com os dados historiográficos primários afirmar que ele estendeu a dualidade onda-partícula, visto que essa ainda não existia. A

reinterpretação de um trabalho científico do passado à luz do conhecimento presente, ressignificando-o, é um fenômeno já descrito no âmbito da Sociologia da Ciência e denominado *causação reversa do passado* (Latour, 1999). Os autores usam a noção de dualidade onda partícula, aceito hoje, para falar dos trabalhos de Einstein e Compton que não eram duais. Ao fazer isso, entretanto, criam um argumento logicamente inconsistente. Na sequência, eles introduzem o comprimento de onda de de Broglie, assumindo que o cientista francês apenas estendeu os trabalhos anteriores:

De Broglie declarou sua proposta matematicamente com as seguintes equações para a frequência e comprimento de onda dos elétrons, o qual são referidas como relações de De Broglie: $f = E/h$ e $\lambda = h/p$. Onde E é a energia total, p é o momentum e λ é chamado de comprimento de onda de Broglie *de Broglie da partícula*. Para fóton, essas equações resultam diretamente da quantização da radiação $E = hf$ e da equação para uma partícula com energia de repouso nula, $E = pc$ como segue: $E = pc = hf = hc/\lambda$. (Tipler & Llewellyn, 2012, p. 193)

Novamente, encontramos a explicação da relação através de fótons sem massa. Ou seja, por supor que a dualidade onda partícula para fótons já existia, os autores reduzem a proposta de de Broglie a estender propriedades de fótons, o que não é possível sem a articulação que fizemos na seção anterior. Na sequência, entretanto, os autores assumem que existe uma derivação mais complexa:

Por um método mais indireto, usando mecânica relativística, de Broglie foi capaz de demonstrar que essas equações também se aplicam para partículas com massa. Ele apontou que essas equações levam a uma interpretação física da quantização de Bohr do momento angular do elétron no átomo de hidrogênio, isto é, que a quantização é equivalente a uma condição de onda estacionária. (Tipler & Llewellyn, 2012, p. 194)

Os autores, nesse caso, pelo menos reconhecem a necessidade do uso da mecânica relativística na teoria de de Broglie e na possibilidade de estender as equações para partículas com massa. Isso, entretanto, não é mostrado e cabe ao aluno aceitar tal afirmação sem ter nenhum indício de sua veracidade.

Enquanto os dois livros anteriores apenas omitiam a necessidade de tal articulação, o terceiro livro estudado a reconhece, mas não a mostra.

d) Livro Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas (Eisberg,)

O último livro analisado segue a mesma estrutura composicional dos demais livros. Após falar do Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton, os autores afirmam

Maurice de Broglie era um físico experimental que, desde o princípio, apoiou a visão de Compton sobre a natureza corpuscular da radiação. Seus experimentos e discussões impressionaram tanto seu irmão Louis com seus problemas filosóficos naquele tempo que Louis mudou sua carreira de história para Física. Em sua tese de doutorado, apresentada em 1924, na Faculdade Ciências da Universidade de Paris, Louis de Broglie propôs a existência de ondas de matéria. O rigor e a originalidade de sua tese foram imediatamente reconhecidos, mas devido à aparente falta de evidência experimental as ideias de de Broglie não foram consideradas como tendo alguma realidade física. Foi Albert Einstein quem reconheceu sua importância e a validade chamando a atenção dos físicos. Cinco anos depois, de Broglie ganhou o prêmio nobel de Física, suas ideias tiveram dramática confirmação experimental. (Eisberg & Resnick, 1985, p. 56)

Após essa breve introdução histórica, em tom jornalístico ou de divulgação científica, os autores aprofundam a proposta teórica de de Broglie:

A hipótese de de Broglie era que o comportamento dual (corpuscular e ondulatório) da radiação se aplica igualmente para a matéria. Assim como fótons tem uma onda de luz associada que governa seu movimento, da mesma forma uma partícula material (como um elétron) tem uma onda de matéria que governa seu movimento. Uma vez que o universo é composto inteiramente por matéria e radiação, a sugestão de de Broglie é essencialmente uma declaração sobre uma grande simetria da natureza. Na verdade, ele propôs que os aspectos ondulatórios da matéria estão relacionados às partículas da mesma forma quantitativa que para radiação. (Eisberg & Resnick, 1985, p. 56)

Tal trecho apresenta uma interpretação sobre a natureza da onda, tanto que pode ser associada a fótons quanto a outras partículas, que não aparece nos artigos originais. A interpretação dos autores não só é diferente da visão de de Broglie como é incompatível com ela. Tal incompatibilidade, entretanto, só pode ser percebida quando estudamos a articulação teórica e matemática dos artigos originais. Segundo os autores, o fóton é associado a uma onda de luz, e as partículas a uma onda de matéria. Antes de De Broglie, só se tem menção de um campo vetorial que guia os fótons em trabalho de Einstein (Martins & Rosa, 2014). Tal campo vetorial, entretanto, não é uma onda luminosa, visto que os fótons é que compõem a luz. No trabalho de De Broglie, a onda que acompanha toda partícula possui velocidade superior a velocidade da luz e, portanto, não pode ser uma onda material. Por isso, de Broglie a chamou no primeiro trabalho de onda fictícia. O fato de não estudarem a forma como de Broglie articula sua teoria faz com que os autores interpretem erroneamente o significado do comprimento de onda de Broglie. Somente mediante a avaliação da construção teórica e matemática de De Broglie é que podemos perceber que a interpretação dos autores do livro didático é conceitualmente inconsistente. Por fim, os autores somente apresentam a equação sobre o comprimento de onda de Broglie sem discutir sua derivação:

De acordo com de Broglie, para matéria e radiação, a energia total da entidade se relaciona com a frequência da onda associada pela equação $E=hf$ e o momento da entidade é relacionado com o comprimento de onda da onda associada pela equação $p = h/\lambda$. Aqui os conceitos corpusculares, energia E e momento p são conectados pela constante de Planck com conceitos ondulatórios frequência e momentum. (Eisberg & Resnick, 1985, p. 56)

Mais uma vez não temos nenhuma menção à Teoria da Relatividade Restrita, o que impossibilita o aluno de saber se a teoria é ou não relativística.

e) Síntese dos Resultados sobre os enunciados dos livros didáticos

Podemos sintetizar a análise dos livros didáticos em cinco resultados:

i) Omitem a contribuição da relatividade na teoria de de Broglie: Apenas o livro de Tipler e Llewellyn (2012) admitem que de Broglie vale-se formalismo da teoria da relatividade em sua construção teórica e, mesmo assim, não a mostram. Os demais livros sequer mencionam tal articulação.

ii) Omitem a articulação matemática: Não só a teoria da relatividade é silenciada, mas toda e qualquer forma de articulação matemática.

iii) Estendem resultados obtidos para fótons sem massa para partículas com massa: A equação do comprimento de onda de de Broglie ou não é derivada ou é derivada para fótons sem massa. Quando isso é feito, os autores estendem tal resultado para partículas com massa sem nenhuma justificativa teórica.

iv) Omitem a hipótese de fótons com massa: Uma parte significativa da construção teórica de de Broglie reside na simetria entre fótons e outras partículas. Isso é feito mediante a proposição de que fótons devem ter uma massa não nula. Isso é omitido por todos os livros.

v) Assumem que havia dualidade para fótons antes de de Broglie, sugerindo que ele a estendeu para partículas: Os livros fazem uma releitura dos trabalhos originais, assumindo que a dualidade onda-partícula já existia para fótons e que de Broglie a estendeu para partículas. Da leitura dos trabalhos originais, vemos que a proposta verdadeiramente dual só surge para de Broglie tanto para fótons quanto partículas.

vi) Por não apresentar a articulação teórica e matemática de De Broglie, os autores ou não discutem a natureza ondulatória de partículas ou lhe atribuem uma realidade material totalmente inconsistente com a proposta de de Broglie: a maioria dos livros não discutem o que seria essa onda que acompanha a partícula. O único que lhe atribui um caráter ontológico é o livro de Eisberg e Resnick, o qual a interpreta como uma onda de matéria. Em princípio, poderia se pensar que essa é apenas uma variação da proposta original de de Broglie. Entretanto, quando estudamos a articulação teórica e matemática de de Broglie, percebemos que tal visão é fisicamente impossível, visto que a onda de Broglie tem velocidade superior a c . Ou seja, ao negligenciar a articulação

de de Broglie, os autores assumem uma interpretação fisicamente impossível para sua proposta. Este resultado é muito importante do ponto de vista epistemológico, pois ele indica que o descolamento de um resultado científico de sua articulação teórica pode conduzir a inconsistências físicas.

6. Discussão Epistemológica e Didática: o silenciamento da articulação teórica e matemática nos livros didáticos

Conforme discutimos na seção 2, é previsto que todo texto apresente variações discursivas em relação aos textos a que se refere. Isto é, esperamos que o texto didático seja diferente do texto científico visto que eles são produzidos em diferentes campos de ação humana. Após fazer uma apresentação própria sobre os trabalhos originais de de Broglie, enfatizando suas premissas teóricas, articulação matemática e inovações, (seção 4), fizemos uma descrição de quais são as variações existentes nos livros didáticos (seção 5). Nesta seção, discutimos tais resultados a partir de reflexões da Sociologia da Ciência. Queremos propor uma explicação de por que os livros adotam tal postura e qual as implicações epistemológicas e didáticas advindas dessa escolha.

Para tanto, remetemo-nos à descrição do processo de articulação de um fato científico realizada por Latour e Woolgar (1988), segundo a qual os cientistas tendem a apagar os rastros de suas criações. Isto é, quanto mais incerta é uma nova proposição científica, mais informações um cientista precisa fornecer sobre o processo de sua “criação”. A proposta de uma nova substância, por exemplo, para explicar alguma atividade humana ainda não compreendida, exige que os cientistas não somente falem da substância, mas explicitem a articulação teórica e empírica para poder a propor, tal como resultados obtidos em microscopia eletrônica, em cromatografia, espectro de absorção no infra-vermelho, entre outros. Na medida em que a comunidade científica passa a aceitar a existência de tal substância, os artigos subsequentes não precisam mais retomar a apresentação de como a substância foi “descoberta”, apenas toma-se a substância como algo dado por si só.

Tal processo pode ser considerado como algo natural. Seria impraticável, em um artigo, científico ter que se remeter à articulação teórica e empírica de

cada fato científico utilizado. Para que isso fosse feito, hoje, um artigo de poucas páginas seria transformado em um tratado de muitos tomos. Tal noção resguarda um certo paralelismo com o processo de esquecimento discutido pela análise de discurso francesa (Orlandi, 1995). Quando falamos, usamos palavras, expressões e visões de mundo que nos foram apresentadas em algum momento. Entretanto, ao falar, esquecemo-nos das origens de nosso discurso e o proferimos como se fosse uma criação própria. De forma análoga, os fatos científicos após serem articulados e aceitos passam a ter “existência autônoma”, independentemente de todos os instrumentos e teorias que foram utilizados para gerá-lo. Tal processo, de fato, pode ser mensurado discursivamente. Latour e Woolgar (1988) mostraram que se pode medir, por exemplo, o número de artigos ao longo do tempo que mencionam uma substância criada em seu *abstract* e o número de artigos ao longo do tempo que fazem referência ao artigo original que propôs tal substância. Os autores encontraram duas distribuições cujos padrões são representados na figura 2. Embora o número de menções à substância siga crescendo, o que indica sua aceitação pela comunidade científica e, portanto, o estabelecimento de um fato científico, o número de referências ao artigo original, em que sua articulação empírica e teórica é apresentada, primeiro aumenta (demonstrando o interesse da comunidade e a articulação dessa proposta em outros trabalhos) e, depois, diminui tendendo a zero. O alto número de menções à substância com o baixo número de citação ao artigo original indica que a substância “virou autônoma”, ou seja, ela passou a ser um fato científico.

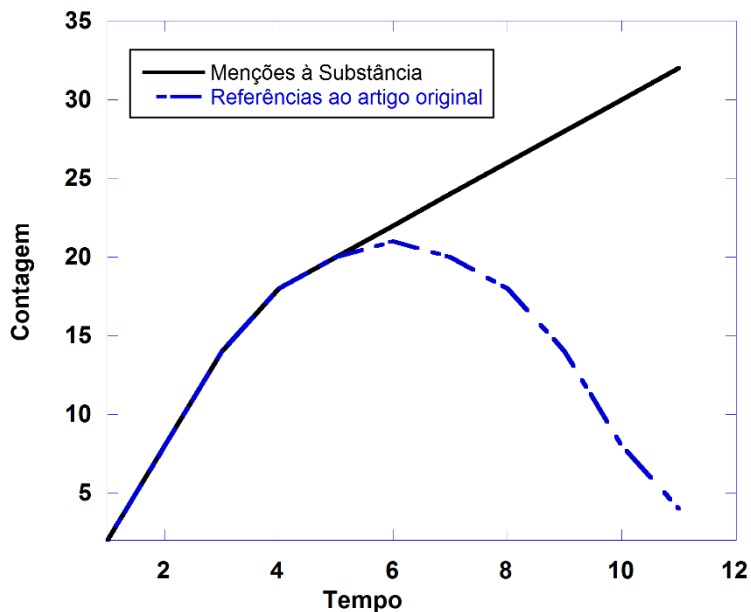


Figura 2. Gráfico ilustrativo sobre o comportamento do número de menções a uma substância “descoberta” e do número de referências ao artigo original que a propõe.

A autonomização dos fatos científicos, apesar de ser um processo discursivo natural assim como é o esquecimento discursivo, traz consequências epistemológicas que merecem uma discussão aprofundada. Colocando o problema em termos bachelarianos (Bachelard, 1978, 1996), o processo de autonomização do fato científico faz um elemento pertencente ao “real científico” e, portanto, dependente de uma “fenomenotécnica”, parecer ser um elemento do “real dado” e, portanto, independente da rede técnica que o cria. Adota-se, assim, uma concepção ontológica vulnerável sobre os fatos científicos, entendendo-os como fatos autônomos, objetivos e universais. Tal concepção pode funcionar bem enquanto os cientistas se mantêm circunscritos aos limites de validade daquela construção. Entretanto, a autonomização pode levar ao uso de determinado fato em um contexto inapropriado e incoerente.

No contexto didático, a Teoria da Transposição Didática (Chevallard, 1998) é, com certeza, uma das mais reconhecidas e utilizadas teorias para discutir a relação entre textos didáticos e conhecimento científico. Ela propõe algumas características que um certo saber deve ter para ser incluído no contexto didático. Uma dessas características é “ser consensual” (Brockington & Pietrocola, 2005, p. 395), isto é, “não se deve ter dúvidas” sobre a correção do saber ensinado. Dialogando com a descrição latouriana da estabilização dos fatos científicos, isso

significa que, pelo menos, o saber já deve estar no extremo direito do gráfico representado na figura 2, isto é, o fato já deve ter sido autonomizado.

Essa sugestão de Chevallard, entretanto, aponta apenas o critério para escolher os temas que devem constar em um livro didático, mas não como deve ser sua abordagem. Assim, um autor de livro didático poderia escolher um fato científico já autônomo, mas mostrar seu processo de articulação e estabilização. Por que, então, isso não é feito?

Valendo-se dos resultados obtidos sobre a narrativa didática dos trabalhos de de Broglie, percebemos a seguinte situação: De Broglie chegou a um resultado que, hoje, é amplamente aceito pela comunidade científica (a relação entre o comprimento de onda associado à partícula e seu momento); mas ele chegou em tal resultado valendo-se de premissas que não são aceitas (como fótons com massa e ondas imateriais). Tal fenômeno é o que Feyerabend (2011) denomina conraindução. Ou seja, partindo de premissas que contrariam o corpo de conhecimento estabelecido pela ciência, De Broglie chegou em um resultado que, futuramente, foi amplamente aceito e empiricamente corroborado. De acordo com Feyerabend (2011), a ciência não evolui pelo aumento do conteúdo empírico como propunham os racionalistas (Lakatos, 1984; Popper, 2008), mas contra a empiria estabelecida. Esse é o caso, por exemplo, de quando Einstein propõe a quantização da radiação eletromagnética (Einstein, 1905a) apesar de todos os resultados compatíveis com uma ótica ondulatória (Lima, Venturini, Ostermann, & Cavalcanti, 2018). No caso de de Broglie, sua relação é obtida a partir da noção de fótons com massa e da noção de ondas com velocidade supralumiar, o que não encontra, até hoje, nem um respaldo empírico. A proposta de de Broglie, assim como a de Einstein e a de muitas propostas científicas revolucionárias, é conraindutiva.

Isso significa que, se os livros didáticos quiserem mostrar a articulação da Física Moderna, eles, obrigatoriamente, têm que abandonar uma visão de ciência linear, indutiva. Não há como mostrar a articulação matemática e teórica da Física Quântica sem, obrigatoriamente, passar por noções que já foram abandonadas (Einstein defendia, por exemplo, que um fóton não interferiria consigo mesmo) ou, mesmo, que nunca foram aceitas (como fótons com massa). Deve-se fazer uma escolha, entre uma visão de ciência linear ou a “construção teórica-matemática” da ciência.

Se optarmos pela linearidade e por esconder a articulação teórico-matemática, estamos escolhendo mostrar a ciência como um corpo de conhecimentos organizado, objetivo, e de validade universal. Isto é, estamos optando por retirar o fato do “real científico” e deixá-lo, equivocadamente, no “real dado”. Quando isso é feito, entretanto, corre-se o risco de cometer erros conceituais, como propor a noção de uma “onda material” ou deduzir a relação entre momento e comprimento de onda para fótons sem massa e, simplesmente, supor que isso pode ser estendido para qualquer partícula. A linearidade exige que se adote uma visão instrumentalista do uso da matemática, noção já criticada na literatura (Karam & Krey, 2015). Isto é, usa-se a matemática simplesmente no sentido de substituir valores definidos por problemas simplistas em equações prontas. A matemática, por outro lado, como apresentamos na seção 3 define a própria estrutura da teoria de de Broglie e não pode ser omitida. A equação final $p = h/\lambda$ não tem significado intrínseco. O momento usado é relativístico ou clássico? O comprimento de onda é de uma onda material ou imaterial? A equação, sozinha, não responde isso. Só sabemos que o momento é, sim, o relativístico, pois acompanhamos a articulação da equação na seção 3. E só sabemos que a onda não pode ser material pela explicitação das premissas adotadas. Tornar a matemática uma mera ferramenta de aplicacionismo acrítico abre as portas para uma formação científica incapaz de formar cientistas.

Outro caminho a ser seguido pelo Ensino de Física Quântica seria abandonar uma visão de ciência linear. Assim, a ideia de consensualidade de Chevallard pode ser adotada, reconhecendo-se que a ciência chega a consensualidades contingentes através de ideias, muitas vezes, contraindutivas. Isso significa reconhecer que a prática científica é complexa e se desenvolve pela articulação de conhecimentos empíricos e teóricos, exigindo não somente a compatibilidade com premissas teóricas anteriores, mas, também, às vezes, rupturas e contraposições a dados empíricos. A ciência pode avançar por processos de indução; mas, também, por contraindução, como nos casos de Einstein e de Broglie. Reconhecida e aceita essa natureza complexa, podemos permitir que o processo didático explicita as premissas das teorias, mesmo quando elas foram rejeitadas ou abandonadas pela comunidade. Assim, embora os livros didáticos possam falar de fatos científico já autonomizados pela comunidade científica, eles podem desautonomizar tais fatos, apontando como

eles foram articulados. Para que isso seja feito, é necessária adoção de uma visão epistemológica que aceite a complexidade da prática científica.

Parece paradoxal, mas a defesa de uma ciência universal, objetiva e absolutista, termina por empobrecer o ensino da própria ciência. O Ensino de Física é instrumentalista pois essa é a única forma de esconder a contraindução, as rupturas epistemológicas, as premissas metafísicas, etc. Ao fazer isso, se paga o preço de não se entender a própria ciência do ponto de vista conceitual e não somente epistemológico. Se abandonarmos a noção ingênua de ciência que resiste na educação em ciências (Kincheloe & Tobin, 2009) nos permitiremos a ensinar e a fazer uma ciência “melhor”, mais realista, mais rica e mais complexa. Parafrazeando a famosa frase de Carl Rogers³⁹, não podemos contribuir verdadeiramente para o desenvolvimento da ciência enquanto não aceitarmos o que é a ciência. Enquanto idealizarmos uma ciência positivista e irrefutável, será isso que continuaremos ensinando. Seguiremos formando cientistas para uma ciência que não existe.

7. Considerações Finais

Neste trabalhamos apresentamos uma discussão sobre a narrativa de livros didáticos de ensino superior sobre a dualidade onda partícula de de Broglie. Para tanto, partimos de concepções da Filosofia da Linguagem de Bakhtin, segundo a qual é esperado que todo texto apresente variações quando se refere a textos anteriores. Investigamos, portanto, quais variações estão presentes em tais livros didáticos.

Para efetuar tal análise, apresentamos a proposta dual de de Broglie, sintetizando-a em duas teses. Apresentamos o contexto teórico em que o trabalho foi articulado e derivamos a equação que relaciona momento e comprimento de onda associado à partícula. Nessa construção teórica, discutimos que de Broglie é o primeiro a propor uma teoria dual tanto para fótons quanto para outros objetos quânticos. Tal proposta foi construída, primeiramente, considerando que fótons, assim como qualquer partícula, tem massa não nula e, por consequência, velocidade inferior à velocidade limite da teoria da relatividade

³⁹ “Não podemos mudar, não podemos nos afastar do que somos, enquanto não aceitarmos profundamente o que somos”

restrita; e, além disso, associando-se a cada partícula ondas com velocidade de fase acima da velocidade da luz e que, portanto, não são ondas materiais. Assim, mostramos que as premissas usadas por de Broglie (fótons com massa e ondas imateriais) não são bem aceitas, hoje, pela comunidade científica, mas o resultado final obtido (o comprimento de onda de de Broglie) é amplamente difundido. Tal fato é um exemplo do que Feyrabend (2011) chama de contraindução, isto é, o estabelecimento de um novo fato científico contrariando o arcabouço teórico e empírico de sua época.

Ao fazer a análise metalinguística dos livros didáticos constatamos que suas narrativas ignoram a construção teórica de de Broglie. Mais especificamente, eles silenciam a relação de sua proposta com a Teoria da Relatividade Restrita; assumem que Einstein já tinha proposto a dualidade onda-partícula para o fóton e que de Broglie a estendeu para outras partículas; silenciam a proposta de fótons com massa; derivam a relação entre momento e comprimento para fótons sem massa e estendem o resultado para partículas com massa; omitem qualquer tipo de derivação matemática; não discutem a natureza da onda associada à partícula ou a consideram uma onda material.

Interpretamos esse resultado considerando reflexões de Latour e Woolgar (1988) sobre o processo de apagamento da construção dos fatos científicos, o que é natural em todo processo de estabilização de uma nova “descoberta”. Assim, assumindo que a descrição da Transposição de Chevallard esteja de acordo com o que é praticado por autores de livros didáticos, esses escrevem seus livros sobre temas que já estão “autonomizados”, isto é, cuja referência à sua construção já não é mais necessária na comunidade científica. Ao sustentar tal apagamento na obra didática, entretanto, os autores tornam artificialmente um objeto do real científico em objeto do real dado, aparatando-o de sua fenomenotécnica. É por causa dessa descontextualização conceitual, que os mesmos autores acabam adotando interpretações equivocadas ou inconsistentes sobre o trabalho de de Broglie. Isso acontece na medida em que os autores buscam reificar a noção de uma ciência irrefutável, objetiva e consensual.

A opção didática alternativa ao que os livros didáticos fazem hoje seria trazer à tona a construção teórica por que passam os fatos científicos. Isso envolve, entretanto, obrigatoriamente, abandonar uma visão de ciência linear. Uma vez que a Ciência também avança por contraindução, como no caso do

trabalho de de Broglie, o autor do texto didático tem que estar disposto a tangenciar construções científicas que não permaneceram hegemônicas ou mesmo que nunca foram aceitas. Isso exige que vejamos a Ciência de uma forma mais complexa, aceitando que, para chegar na suposta consensualidade, a ciência passa por trajetórias não consensuais. Somente a partir de tal reconhecimento, será possível propor um Ensino de Física Quântica que traga à tona a articulação matemática e conceitual das teorias, avaliando suas premissas e limitações. Tal mudança didática representa a mudança de um paradigma instrumentalista, que só apresenta equações para ser usadas em problemas simplistas, para um paradigma epistemologicamente consistente.

Referências

- Bachelard, G. (1978). *A filosofia do não*. São Paulo: Abril Cultural.
- Bachelard, G. (1996). *A Formação do Espírito Científico*. Rio de Janeiro: Contraponto.
- Bakhtin, M. (1981). *The Dialogic Imagination*. Austin: University of Texas.
- Bakhtin, M. (1997). *A Estética da Criação Verbal* (2 ed.). São Paulo: Martins Fontes.
- Bakhtin, M. (2006). *Marxismo e Filosofia da Linguagem* (12 ed.). São Paulo: HUCITEC.
- Bakhtin, M. (2016). *Os Gêneros do Discurso*. São Paulo: Editora 34.
- Bakhtin, M. (2017). *Notas sobre Literatura, Cultura e Ciências Humanas*. São Paulo: Editora 34.
- Benatti, F. (2009). Quantum Information Theory. 255-315. doi:10.1007/978-1-4020-9306-7_6
- Bohr, N. (1913). On the Constitution of Atoms and Molecules. *Philosophical Magazines*, 26, 1-24.
- Born, M. (1926). Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge. *Zeitschrift für Physik*, 37, 863-867.
- Brockington, G., & Pietrocola, M. (2005). Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna? *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(3), 387-404.

- Brown, H. R., & Martins, R. d. A. (1984). De Broglie's relativistic phase waves and wave groups. *American Journal of Physics*, 52(12), 1130-1140. doi:10.1119/1.13743
- Cheong, Y. W., & Song, J. (2014). Different Levels of the Meaning of Wave-Particle Duality and a Suspensive Perspective on the Interpretation of Quantum Theory. *Science & Education*, 23(5), 1011-1030. doi:10.1007/s11191-013-9633-2
- Chevallard, Y. (1998). *La Transposición Didáctica: Del Saber Sabio al Saber Enseñado* (3 ed.). Buenos Aires: Aique.
- De Broglie, L. (1922). Rayonnement noir et quanta de lumière. *Le Journal de Physique et le Radium*, 3(6), 422-428.
- De Broglie, L. (1923). Ondes et quanta. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 117, 507-510.
- De Broglie, L. (2006). XXXV. A Tentative Theory of Light Quanta. *Philosophical Magazine Letters*, 86(7), 411-423.
- Einstein, A. (1905a). Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik*, 17(132).
- Einstein, A. (1905b). Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, 17, 891-914.
- Einstein, A. (1909). Zum gegenwärtigen Stand des Strahlungsproblems. *Physikalische Gesellschaft*, 10, 181-193.
- Eisberg, R., & Resnick, R. (1985). *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles* (2 ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Feyerabend, P. (2011). *Contra o Método* (2 ed.). São Paulo: Unesp.
- Feynmann, R., Leighton, R., & Sands, M. (2008). *Lições de Física de Feynmann* (Vol. 3). Porto Alegre: Bookman.
- Freire Jr., O. (2015). *The Quantum Dissidents: Rebuilding the Foundations of Quantum Mechanics (1950-1990)*. Berlin: Springer.
- French, S. (2009). *Ciência: conceitos-chave em filosofia*. Porto Alegre: Artmed.
- Giorgio, M. (2011). On the presentation of wave phenomena of electrons with the Young–Feynman experiment. *European Journal of Physics*, 32(3), 733.
- Glauber, R. J. (1963a). Photon Correlations. *Physical Review Letters*, 10(3), 84-86. doi:10.1103/PhysRevLett.10.84
- Glauber, R. J. (1963b). The Quantum Theory of Optical Coherence. *Physical Review*, 130(6), 2529-2539. doi:10.1103/PhysRev.130.2529

- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2009). *Fundamentos de Física: ótica e física moderna* (8 ed. Vol. 4). Rio de Janeiro: LTC.
- Hornyak, G. L., Dutta, J., & Tibbals, H. F. (2008). *Introduction to Nanoscience*. New York: CRC Press.
- Jammer, M. (1974). *The Philosophy of Quantum Mechanics*. New York: John Wiley and Sons.
- Karam, R., & Krey, O. (2015). Quod erat demonstrandum: Understanding and Explaining Equations in Physics Teacher Education. *Science & Education*, 24(5), 661-698. doi:10.1007/s11191-015-9743-0
- Kincheloe, J. L., & Tobin, K. (2009). The much exaggerated death of positivism. *Cultural Studies of Science Education*, 4(3), 513-528. doi:10.1007/s11422-009-9178-5
- Lakatos, I. (1984). *La Metodologia de los programas de investigacion científica*. Salamanca: Alianza Universidad.
- Landau, L. L., & Lifchitz, E. (1966). *Théorie du Champ*. Moscou: Mir.
- Latour, B. (1999). *Pandora's Hope - Essays on the Reality of Science Studies*. Cambridge: Harvard University Press.
- Latour, B. (2005). *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network Theory*. Oxford: Oxford University Press.
- Latour, B. (2011). *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora* (2 ed.). São Paulo: Unesp.
- Latour, B. (2013). *Jamais Fomos Modernos* (3 ed.). São Paulo: Editora 34.
- Latour, B., & Woolgar, S. (1988). *La vie de laboratoire: la Production des faits scientifiques*. Paris: La Découverte.
- Lima, N. W., Antunes, E., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. (2017a). A História do Fóton em Livros de Física. *Enseñanza de las Ciencias, extra*, 1953-1957.
- Lima, N. W., Antunes, E., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. (2017b). Uma Análise Bakhtiniana dos Enunciados Sobre o Efeito Fotoelétrico em Livros Didáticos do Ensino Superior. *Enseñanza de las Ciencias, extra*, 1947-1951.
- Lima, N. W., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. (2017). Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM2015. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(2), 435-459.
- Lima, N. W., Venturini, T., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. J. H. (2018). Einstein's quantum: Testing Bruno Latour's Circulating Reference. *Social Studies of Science, em revisão*.

- Marin, J. M. (2009). 'Mysticism' in quantum mechanics: the forgotten controversy. *European Journal of Physics*, 30(4), 807-822. doi:10.1088/0143-0807/30/4/014
- Marshman, E., & Singh, C. (2017). Investigating and improving student understanding of quantum mechanics in the context of single photon interference. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), 010117.
- Martins, R. d. A., & Rosa, P. S. (2014). *História da teoria quântica - a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie*. São Paulo: Livraria da Física.
- Nussenzveig, H. M. (2014). *Curso de Física Básica* (Vol. 4). Rio de Janeiro: Editora Blucher.
- Orlandi, E. P. (1995). *Análise do Discurso: Princípios e Procedimentos*. São Paulo: Campinas.
- Ostermann, F., & Ricci, T. d. S. F. (2004). Relatividade restrita no ensino médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 21(1), 83-102.
- Pessoa Jr., O. (2003). *Conceito de Física Quântica*. São Paulo: Livraria da Física.
- Popper, K. (2008). *Conjecturas e Refutações* (5 ed.). Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- Sakurai, J. J. (2013). *Advanced Quantum Mechanics*. Park Ridge: Albert Whitman & Company.
- Schrodinger, E. (1928). *Collected Papers on Wave Mechanics* London and Glasgow: Backie & Son Limited.
- Strnad, J., & Kuhn, W. (1985). On the de Broglie waves. *European Journal of Physics*, 6(3), 176.
- Tipler, P. A., & Llewellyn, R. A. (2012). *Modern Physics* (6 ed.). New York: W. H. Freeman and Company.
- Veneu, A., Ferraz, G., & Rezende, F. (2015). Análise De Discursos No Ensino De Ciências: Considerações Teóricas, Implicações Epistemológicas E Metodológicas. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 17(1), 126-149. doi:10.1590/1983-211720175170106
- Vinjanampathy, S., & Anders, J. (2016). Quantum thermodynamics. *Contemporary Physics*, 57(4), 545-579. doi:10.1080/00107514.2016.1201896
- Voloshinov, V. N. (1930). *Estrutura do Enunciado*.
- Woodard, R. P. (2009). How far are we from the quantum theory of gravity? *Reports on Progress in Physics*, 72(12), 126002.

Young, S. W. (1984). *Nuclear Magnetic Resonance: Basic Principles*. New York: Raven Press.

7. Sexto Artigo original

Física Quântica no Ensino Médio: Uma Análise Bakhtiniana de Enunciados em Livros Didáticos de Física Aprovados no PNLDEM2015

Resumo

Neste trabalho, apresentamos uma análise dos enunciados sobre Física Quântica presentes nas quatorze obras de Física aprovadas pelo Plano Nacional do Livro Didático do Ensino Médio em 2015. Utilizamos a Filosofia da Linguagem de Mikhail Bakhtin como referencial teórico metodológico com o objetivo de avaliar quais são as abordagens utilizadas pelos autores para introduzir a Física Quântica, quais os conceitos apresentados e quais visões epistemológicas são veiculadas nessas apresentações. Nossos resultados indicam que todos os livros optam por uma abordagem histórica, restringindo-se à velha Física Quântica. Os conceitos apresentados e a sequência de apresentação em treze livros são praticamente idênticos aos encontrados em livros de Física Moderna utilizados no ensino superior, cometendo, inclusive, os mesmos erros historiográficos. Isso sugere que os autores veiculam os enunciados que aprenderam em suas formações sem um aprofundamento crítico. Todos os livros apresentam uma escolha lexical que pode ser associada à epistemologia positivista e treze livros apresentam uma estrutura composicional que se alia à mesma visão, a qual é considerada epistemologicamente ultrapassada. A apresentação simplista presente nos livros didáticos atuais indica a necessidade de uma reforma do ensino de Física Quântica.

Palavras chave: Física Quântica, Livro Didático, Bakhtin

Abstract

In this work we present an analysis of Quantum Physics texts present in the fourteen books approved by the National Textbook Plan for High School in 2015. We used Bakhtin's Philosophy of Language as a theoretical and methodological

framework. Our aim was to evaluate which approaches are used by textbook authors to introduce Quantum Physics as well as which concepts and epistemological views are stated in these presentations. Our results show that all books present a historical approach, limited to the Old Quantum Physics. Concepts and presentation sequences are very similar to what can be found in Modern Physics undergraduate textbooks, containing even the same historiographic mistakes. This suggests that authors state what they have learned during undergraduate courses without any further critical review. All books present lexical choice that can be associated to positivist epistemology and thirteen books present a compositional structure allied to the same view, which is considered epistemologically outdated. The oversimplified textbook presentation indicates the necessity of a reform in Quantum Physics Education.

Key Words: Quantum Physics, Textbook, Bakhtin

1. Introdução

Física Quântica (FQ) é um tópico de extrema relevância presente em currículos de licenciatura e bacharelado em Física. Além de ser um marco na formação acadêmica e um símbolo da cultura da Física, os temas abordados em disciplinas de FQ estão mais próximos das teorias e técnicas utilizadas na pesquisa contemporânea do que os assuntos vistos nas disciplinas iniciais (JOHANSSON et al., 2016).

Reconhecendo a importância dessa teoria para a comunidade científica e para a sociedade, a literatura vem apontando a necessidade da sua abordagem, também, no Ensino Básico (SILVA; ALMEIDA, 2011; TELICHEVSKY, 2015), o que traz como benefício a aproximação entre o conhecimento escolar e os debates da academia. Além disso, a terminologia da FQ permeia o discurso fora das universidades (HILGER; MOREIRA, 2012) – o que reitera a necessidade de uma formação científica e crítica em FQ.

Não existe consenso, entretanto, sobre qual seria a melhor abordagem para a introdução desse tópico seja em nível básico ou superior. É possível identificar três principais caminhos (OSTERMANN; MOREIRA, 2000): a primeira possibilidade é partir das limitações dos modelos clássicos para chegar à teoria

quântica (escola espanhola de GIL et al. (1988)); a segunda possibilidade é partir de uma apresentação direta do formalismo quântico, evitando-se analogias clássicas (escola alemã de Fischler e Lichtfeldt (1992), e, por fim, pode-se apenas apresentar alguns tópicos introdutórios e genéricos para gerar familiarização dos alunos com o assunto (ARONS, 1990). Países como Portugal, Espanha, Itália e Finlândia seguem, em seus currículos escolares, a abordagem espanhola, enquanto que Reino Unido, Dinamarca, Suécia, Canadá e Austrália apresentam a FQ pelo problema de fenda dupla (LOBATO; GRECA, 2005).

Deve-se ter em mente que, em toda apresentação de tópicos de Física, adote ela uma abordagem histórica, postulacional ou fenomenológica, veicule-se, implícita ou explicitamente, uma determinada visão de ciência, isto é, apresenta-se uma definição do que é ciência, qual sua validade, qual seu objetivo, como se dá a sua prática. É importante que, em uma apresentação didática, tenha-se clareza de qual é a visão de ciência veiculada, visto que a literatura (MCCOMAS et al,1998; MATHEWS, 1995) tem apontado, há mais de duas décadas, a importância de trazer o debate epistemológico para dentro da sala de aula.

No Brasil, a maioria dos professores de Física não é formada em Física (BRASIL, 2015). Essa deficiência faz com que o livro didático ganhe um papel extremamente relevante no contexto do Ensino Básico, pois ele não somente pauta a estruturação da disciplina de Física bem como é a fonte dos enunciados sobre ciência, influenciando, portanto, de forma substancial, a construção das visões epistemológicas dos alunos de Ensino Médio (EM).

Há mais de uma década, os livros didáticos utilizados nas escolas públicas são aqueles aprovados pelo Plano Nacional do Livro Didático, cuja última edição ocorreu em 2015. No entanto, há pouca produção acadêmica sobre FQ em livros didáticos do EM, sendo possível encontrar um só artigo sobre o tema (em publicações brasileiras classificadas como A1 e A2 pelas CAPES - classificação de 2014), o qual traz a visão dos autores sobre a inserção de Física Moderna em seus livros aprovados pelo PNLD EM 2012 (DOMINGUINI, 2012). Trabalhos publicados em periódicos não classificados nos extratos superiores mostram que a Física Moderna vem ganhando maior importância nos livros didáticos aprovados no PNLD (DOMINGUINI, 2011; MAXIMIANO, J. R.; CARDOSO; DOMINGUINI, 2012a, MAXIMIANO, J. R.; CARDOSO, L.; DOMINGUINI, L,

2013), e indicando ainda que a apresentação se restringia à velha Física Quântica no PNLDEM2012 (MAXIMILIANO; CARDOSO; DOMINGUINI, 2012b).

A maioria das publicações existentes sobre Pesquisa em Ensino de FQ refere-se à bibliografia de consulta para professores, conforme já apontaram Pereira e Ostermann (2009). Apesar disso, nos últimos anos, tem aumentado o número de propostas implementadas em sala de aula, principalmente para o Ensino Superior, o que engloba a construção de unidades didáticas (GRECA; MOREIRA; HERSCOVITZ, 2011); e o uso de softwares para mediação do ensino – Sales et al (2008) utilizaram um programa para o cálculo da constante de Planck; Pereira, Ostermann Cavalcanti (2015) utilizaram um Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder para discutir a dualidade onda-partícula e Trindade, Filhoais e Gil (2005) usaram um software para representação de orbitais atômicos. Com relação à implementação da FQ no Ensino Médio, Hiegler e Girebler (2013) apresentaram a aplicação e avaliação de uma unidade didática sobre a nova FQ e Pagliarini e Almeida (2016) apresentaram uma proposta de leitura de textos de cientistas sobre o início da FQ.

Reconhecendo a necessidade de se aprofundar a pesquisa em Ensino de FQ no Ensino Médio, principalmente, em relação a questões relacionadas a implementações pedagógicas em sala de aula e identificando o livro didático como um componente importante da aula de FQ, o objetivo principal desse trabalho é fazer uma análise bakhtiniana (BKHTIN, 2016) dos enunciados de FQ presentes nos catorze livros aprovados no Plano do Nacional do Livro Didático de 2015. Com isso, pretende-se responder às seguintes perguntas de pesquisa: quais constructos (conceitos, teorias, afirmações) são privilegiados e quais abordagens (espanhola, americana ou alemã) são adotadas pelos livros didáticos? Como que os elementos do enunciado (tema, estrutura composicional e estilo) são empregados para veicular uma visão de ciência? Como essas escolhas dialogam com o paradigma educacional proposto pelo Plano Nacional do Livro Didático e com as pesquisas na área de Ensino de Física?

2. Referencial Teórico-Methodológico: A Filosofia da Linguagem de Bakhtin

Esse trabalho apresenta uma análise qualitativa fundamentada na Filosofia da Linguagem de Mikhail Bakhtin, que se caracteriza por analisar os

processos de comunicação discursiva em sua ocorrência concreta, isto é, no evento social da interação verbal; e não engessados em uma forma determinada pelas regras gramaticais: *Ela (a linguagem) é um produto da vida social, a qual não é fixa nem petrificada: a linguagem encontra-se em um perpétuo devir e seu desenvolvimento segue a evolução da vida social* (VOLOSHINOV, 1981, p.1). Essa visão da linguagem faz a teoria bakhtiniana contrastar com as diferentes teorias linguísticas que lhe eram contemporâneas, nas quais a linguagem era vista ou como fruto da expressão individual livre ou como materialização do sistema abstrato da língua (BAKHTIN, 2006).

Para Bakhtin, toda expressão linguística é voltada ao outro, mesmo quando esse outro se encontra fisicamente ausente. Qualquer discurso tem sua estrutura composicional e estilo elaborados no formato de um diálogo. Quando um palestrante faz um discurso, por exemplo, ele espera causar uma certa reação em seus interlocutores, seja de concordância, espanto ou interesse. Mesmo que a plateia não responda verbalmente imediatamente, cada ouvinte terá uma reação que resultará em uma resposta, ainda que essa seja proferida apenas mentalmente. Por isso, embora, do ponto de vista externo, se presencie um monólogo, o processo comunicativo está se dando na forma de um diálogo.

Podemos, também, reconhecer que mesmo o discurso interno, totalmente privado, resguarda as características estilísticas de um diálogo. Quando se está prestes a tomar uma decisão, esse aspecto fica ainda mais visível – o sujeito realiza um debate interno, em que vozes com ideias opostas se contrapõem até chegar a uma conclusão. Nessa situação, o sujeito cria um ouvinte virtual (cuja “personalidade” representa as ideias predominantes do grupo social em que está inserido) com quem dialoga. Esse caráter dialógico do discurso, isto é, sua inevitável orientação a alguém que seja capaz de compreender e dar uma resposta (real ou virtual) é chamado, na teoria bakhtiniana, de orientação social do discurso (VOLOSHINOV, 1981). Em outras palavras, podemos falar que todo discurso apresenta **direcionalidade** (SOUZA; REZENDE; OSTERMANN, 2016), isto é, o discurso é sempre direcionado a um interlocutor imaginado, que pode coincidir parcialmente com um interlocutor real (VENEU; FERRAZ; REZENDE, 2015). Dessa forma, podemos entender que o discurso é sempre dialógico, sempre realizado dentro de uma interação social com o objetivo de provocar uma resposta e, portanto, nunca é neutro (BAKHTIN, 2006;2016).

Para demarcar a diferença de sua análise da linguagem em sua realização concreta com relação à análise puramente linguística, Bakhtin propõe o conceito de **enunciado** como a unidade do processo de comunicação discursiva, em oposição a unidades gramaticais tradicionais, como a oração ou a palavra, por exemplo. Um enunciado não tem correspondência direta com unidades gramaticais e pode ser desde uma resposta monossilábica em um diálogo (somente no caso em que essa resposta expresse toda ideia do locutor e permita o surgimento de uma resposta) até um romance completo. O que determina os limites do enunciado é a situação concreta em que ocorre (tal aspecto será abordado detalhadamente na sequência do texto).

Ainda, devemos notar que cada enunciado é concreto (existe apenas em um evento da interação social) e único (apresenta aspectos estilísticos que são próprios do autor), mas seu conteúdo temático, seu estilo (seleção de recursos lexicais, fraseológicos e gramaticais) e sua construção composicional refletem as condições específicas e as finalidades do campo de atividade humana em que são realizados (BAKHTIN, 2016). Ao escrever um artigo científico para ser submetido a uma revista de física teórica, por exemplo, um sujeito deverá escolher um tema que seja de relevância àquela comunidade científica, deverá usar predominantemente uma linguagem técnica, impessoal e objetiva, e deverá construir o artigo seguindo uma sequência esperada (introdução, objetivos, métodos, resultados e conclusões), sendo permitida uma pequena margem para variações de estilo individual. Se o mesmo sujeito decidir escrever um texto de cunho religioso, o tema, o estilo e a construção composicional terão outras características. Dessa forma, podemos dizer que cada campo de utilização da língua elabora seus tipos relativamente estáveis de enunciados, os quais são denominados **gêneros do discurso** (BAKHTIN, 2016).

Portanto, nenhum enunciado pode ser considerado uma combinação absolutamente livre da língua (BAKHTIN, 2016), pois, uma vez escolhido o gênero do discurso – o enunciado estará restringido em suas possibilidades. Essas restrições aparecem porque o sujeito não constrói seu enunciado a partir de um vazio absoluto, mas o faz a partir de enunciados anteriores que já presenciou.

Ademais, todo falante é por si mesmo um respondente em maior ou menor grau: porque ele não é o primeiro falante, o primeiro a ter violado o eterno silêncio do universo, e pressupõe não só a existência do sistema de língua que usa mas também de alguns enunciados antecedentes – dos seus alheios – com os quais o seu enunciado entra nessas ou naquelas relações (baseia-se neles, polemiza com eles, simplesmente os pressupõe já conhecidos do ouvinte). Cada enunciado é um elo na corrente complexamente organizada de outros enunciados. (BAKHTIN, 2016, p.26)

Assim, um enunciado está sempre em diálogo com enunciados anteriores, característica denominada de **responsividade** (SOUZA; REZENDE; OSTERMANN, 2016) e que é responsável, em parte, pela expressão do próprio discurso bem como pelos recursos linguísticos utilizados. De forma mais explícita, quando fazemos uma citação direta, percebemos a inserção de enunciados alheios em nosso próprio enunciado; mas, de forma mais sutil, qualquer enunciado é permeado por uma série de palavras e tonalidade dialógicas de outros autores, e, por isso, o enunciado é representado como a confluência de ecos distantes que reverberam no discurso do autor. Bakhtin (2016) descreve esse fenômeno em termos de **veiculação de vozes**, isto é, todo enunciado veicula vozes de enunciados precedentes. Devemos ter em mente que voz é a personalidade falante ou consciência falante (WERTSCH, 1993). Assim, em um enunciado, podemos perceber a veiculação de diferentes vozes, com diferentes visões ontológicas, políticas e epistemológicas. Por conta disso, entendemos que a orientação social do discurso se dá de forma dupla: primeiro, porque é voltado ao outro (direcionalidade); e, segundo, porque é motivado pelos discursos de terceiros (responsividade).

Entendendo esse quadro geral da Filosofia da Linguagem de Bakhtin, precisamos, ainda, aprofundar a identificação e a estruturação de enunciados, para que possamos utilizar os conceitos da teoria dentro de um método de análise de enunciados.

2.1. Identificação de Enunciados

Como mencionado, a unidade da comunicação discursiva e, portanto, o objeto de nossa análise são os enunciados concretos. Souza (2002) identifica

três particularidades constitutivas do enunciado concreto: **alternância dos sujeitos falantes**, acabamento específico do enunciado (**conclusibilidade**) e relação do enunciado com o próprio locutor e com os outros parceiros da comunicação verbal (**expressividade**).

Cada enunciado deve ser entendido como um elo na cadeia da comunicação discursiva, sempre respondendo a enunciados anteriores e se direcionando aos outros sujeitos para suscitar novos enunciados. Portanto o que delimita sua estrutura é justamente, como num diálogo, a alternância dos sujeitos falantes.

Desse modo, a alternância dos sujeitos do discurso, que emoldura o enunciado e cria para ele a massa firme, rigorosamente delimitada dos outros enunciados a ele vinculados, é a primeira peculiaridade constitutiva do enunciado como unidade da comunicação discursiva, o que o distingue da unidade da língua. (BAKHTIN, 2016, p.35)

A segunda particularidade de um enunciado (intimamente ligada à primeira) é a conclusibilidade, cujo principal critério de reconhecimento se dá pela possibilidade de responder ao enunciado. Para que um enunciado possa ser respondido ele deve exprimir “tudo” que o locutor quer dizer (BAKHTIN, 2016). Para que essa plenitude acabada do enunciado seja atingida, três elementos devem estar presentes na totalidade orgânica do enunciado: a exauribilidade semântica-objetiva, o projeto de discurso do falante e as formas típicas da composição e do acabamento do gênero do discurso.

Por fim, a terceira particularidade de um enunciado é sua expressividade, isso é, a relação subjetiva emocionalmente valorativa entre o sujeito e o objeto do discurso. No discurso oral, essa expressividade é facilmente reconhecida na tonalidade adotada pelo locutor. Em um texto, conseguimos imaginar a tonalidade expressa a partir da construção composicional e do contexto em que o enunciado se encontra. Essa expressividade indica a relação valorativa não só entre o objeto e o locutor isoladamente, mas também reflete o valor compartilhado pelos outros sujeitos que são participantes do gênero do discurso em questão.

Esses três aspectos (alternância dos sujeitos, conclusibilidade e expressividade) caracterizam um enunciado e o diferenciam de elementos gramaticais da língua. Eles servem, portanto, primeiramente como balizadores

para que possamos identificar os limites de um enunciado (principalmente a partir dos dois primeiros aspectos) e a relação de valor que esse guarda com relação ao gênero do discurso a que pertence. Uma vez feito isso, podemos avançar na análise do enunciado, entendendo sua estruturação.

2.2. Estruturação de Enunciados

Todo enunciado é composto por uma parte verbal e uma parte extra-verbal, não expressa, mas subentendida (VOLOSHINOV, 1981). Se não considerarmos a dimensão extra-verbal do enunciado, a dimensão verbal não pode ser compreendida: imagine, por exemplo, uma expressão verbal como “Que maravilha!”. Essa expressão pode adotar diferentes sentidos dependendo da situação em que está sendo expresso, podendo indicar felicidade (após o sujeito receber um presente de que gostou), ironia (após o sujeito ficar sabendo que vai receber visita de alguém com quem não simpatiza), descontentamento (após o sujeito derrubar café sobre o seu livro).

Uma análise de discurso passa, portanto, inevitavelmente por um profundo reconhecimento do contexto extra-verbal do enunciado, que pode ser entendido como sendo formado pela situação (efetiva realização na vida concreta, de uma determinada formação, de uma determinada variação da relação de comunicação social) e pelo auditório (aqueles que fazem parte da situação) cuja peso social e hierárquico aparece expresso naquilo que chamamos, anteriormente, de orientação social do enunciado (VOLOSHINOV, 1981).

A situação pode ainda ser entendida como constituída por três elementos: o espaço e o tempo do evento, o objeto ou o tema do enunciado, e a posição dos interlocutores diante do fato. Essa situação pode ser entendida em três níveis: o primeiro é o contexto direto, o diálogo imediato, presencial, o segundo é contexto social e do tempo histórico, e o terceiro é contexto social e cultural mais amplo e do “grande tempo” (VENEU; FERRAZ; REZENDE, 2015).

Assim, quando analisamos um enunciado, temos que levar em conta o auditório e a situação nesses três níveis, para que possamos compreendê-lo de uma forma mais profunda. Ao avaliar um texto, por exemplo, devemos identificar para quais outros enunciados o autor responde (o que demanda não somente conhecer o contexto extra verbal imediato, mas o contexto social mais amplo, como a formação do autor). Além disso, devemos identificar a quem o autor

direciona o seu discurso, quem são os membros do seu suposto auditório. Quais as posições o autor presume que o auditório vai adotar? Qual o conhecimento que o autor supõe que o auditório já possua? Qual resposta ele quer produzir?

As respostas a todas essas perguntas aparecem atadas à inteireza orgânica do enunciado concreto – o gênero do discurso, o tema, o estilo, a estrutura composicional, todos estão vinculados às intenções do locutor bem como à relação que ele guarda com o auditório, com a situação e ao valor que atribui ao objeto do enunciado e não podem ser analisados isoladamente. Na próxima seção apresentaremos um dispositivo que viabilize o uso dos conceitos da Filosofia da Linguagem em um método de análise de enunciados.

3. Dispositivo Analítico Bakhtiniano Detalhado

Veneu, Ferraz e Rezende (2015) apresentaram um dispositivo para análise de enunciados, descrito em quatro etapas. Partimos dessa ideia detalhando a quarta etapa (análise do enunciado) explicitando os conceitos da Filosofia da Linguagem que utilizamos em nossa estratégia metodológica. Os quatro passos do dispositivo analítico são os seguintes:

3.1. Identificação do Enunciado

Os critérios principais que utilizamos para demarcação dos limites do enunciado são a alternância de locutores e a conclusibilidade, isto é, a possibilidade de responder ao enunciado, a qual passa, necessariamente pela **exauribilidade semântica-objetiva**.

3.2. Leitura preliminar do enunciado.

Na primeira leitura dos enunciados, identificamos como que a Física Quântica é apresentada nos livros didáticos: qual abordagem é utilizada e quais acontecimentos históricos, ideias, teorias e experimentos são privilegiados no processo de enunciação.

3.3. Descrição do Contexto Extraverbal

Fizemos uma pesquisa sobre a formação acadêmica de todos os autores bem como sua participação na comunidade acadêmica do Ensino de Física e de Ciências Exatas e da Terra com o intuito de compreender com que outros enunciados os autores dialogam em suas obras. Além disso, analisamos o edital

do PNLDEM 2015 que se configura como um elemento importante do contexto extra-verbal comum a todos os autores.

3.4. Análise Bakhtiniana do Enunciado

A última etapa do dispositivo analítico consiste em articular os elementos linguísticos (escolha lexical, sintaxe, estilo, construção composicional, unidade temática, relação com o falante/outros participantes), o contexto extraverbal e os conceitos bakhtinianos envolvidos para responder às questões de pesquisa. No caso dessa pesquisa, elaboramos um roteiro de análise que consiste nas seguintes perguntas sequenciais, que conduzem gradualmente ao entendimento do texto e às respostas das questões de pesquisa. 1) Com qual gênero do discurso estamos lidando? 2) A partir da definição do gênero do discurso e do conhecimento do contexto extraverbal, podemos inferir qual é o auditório do enunciado, isto é, para quais supostos interlocutores o autor fala? 3) Qual o tema do enunciado? 4) A partir do conhecimento extraverbal, podemos inferir a quais outros enunciados o texto responde? Com que visões ele dialoga, problematiza, se contrapõe? 5) Como que a estrutura composicional do enunciado se articula com as características do gênero do discurso? Essa articulação, de alguma forma, implica a sustentação de uma visão de ciência implícita? 6) A escolha lexical ao longo do texto evidencia, de forma explícita, a veiculação de uma visão epistemológica? Essa visão explícita está de acordo com o que foi inferido a partir da análise estrutura composicional? 7) A formação dos autores influencia na visão de ciência veiculada nos enunciados?

4. Resultados e Discussão

No caso da presente pesquisa, podemos indicar que todos os enunciados avaliados pertencem ao mesmo **gênero do discurso** – texto didático. E, uma vez que todos foram submetidos e aprovados pelo mesmo edital (que exige dos livros um conjunto definido de características), podemos ser ainda mais específicos: os 14 enunciados avaliados pertencem ao subgênero de livros didáticos aprovados no PNLDEM2015 (BRASIL, 2013). Isso significa que eles têm similaridades tanto em estrutura composicional quanto em estilo, guardadas as variações estilísticas individuais dos diferentes autores.

4.1. Identificação dos enunciados

Em cada livro didático, identificamos que os tópicos associados à Física Quântica formam um único enunciado. Isso pode ser percebido, pois a construção composicional dos textos se dá de forma que cada seção precisa da próxima para concluir o tema que está abordando. Uma das características da **conclusibilidade** (condição para identificação dos limites do enunciado) é a **exauribilidade semântica-objetiva** e essa só é alcançada ao fim de toda a discussão da Física Quântica, e não em cada seção interna. Dessa forma, nosso estudo analisou 14 enunciados sobre Física Quântica referente aos 14 livros didáticos aprovados no PNLDEM 2015.

4.2. Primeira Leitura

Uma vez identificados os enunciados, fizemos uma primeira leitura dos textos, já tendo em mente os conceitos da Filosofia da Linguagem de Bakhtin bem como as questões de pesquisa apresentadas na seção de introdução desse artigo. Chamou-nos atenção a semelhança entre os diferentes enunciados com relação à sua composição e estilo, além do que esperaríamos normalmente de diferentes elementos do mesmo gênero discursivo.

Nessa etapa, mapeamos os tópicos (teorias, ideias, experimentos) que são apresentados nos textos didáticos. A frequência relativa de enunciação de cada tópico está apresentada na figura 4.1 em termos percentuais (sendo que o valor 100% representa que o tópico foi apresentado em todos os 14 enunciados). Alguns subtópicos foram absorvidos por ideias mais amplas (alguns textos, por exemplo, apresentam uma seção só para o átomo de Bohr, mas isso foi incluindo no tópico Modelos Atômicos).

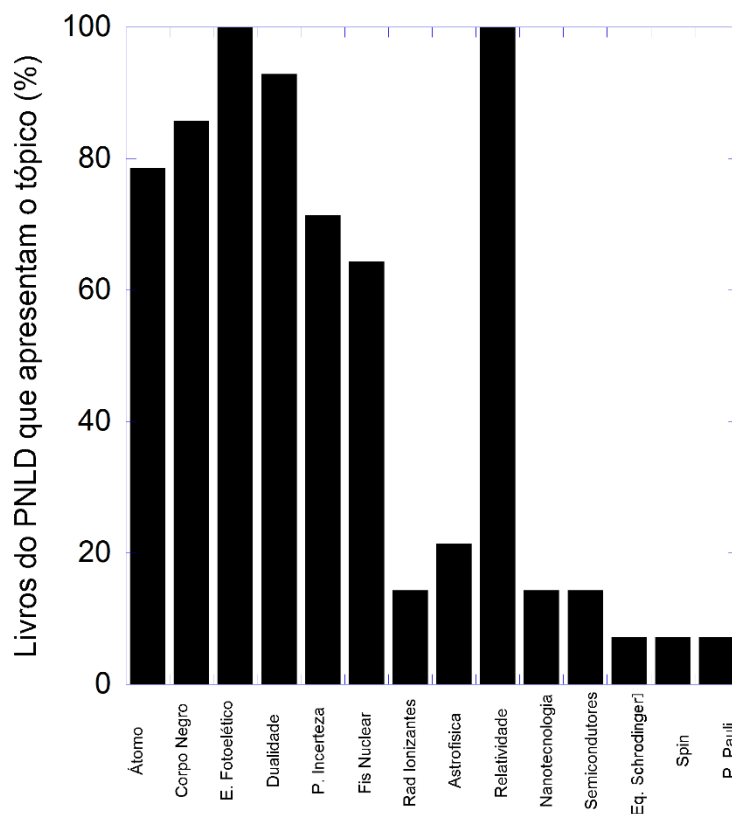


Figura 4.1. Frequência relativa de enunciação de cada tópico em termos percentuais (sendo que o valor 100% representa que o tópico foi apresentado em todos os 14 enunciados).

A figura 4.1 evidencia a grande uniformidade com relação à estrutura composicional dos enunciados mencionada anteriormente. Todos os textos optam pela abordagem da escola espanhola, em que a Física Quântica é apresentada sob um viés histórico. Deve-se ter em mente, conquanto isso, que a história da ciência é um fenômeno extremamente complexo - existe um número muito grande de fatos históricos que a compõem e que dialogam entre si, de tal forma que não existe uma única forma de contar essa história, nem mesmo uma escolha “natural”.

Ao decidir fazer um enunciado sobre a história da Física Quântica, um autor sempre terá que fazer recortes, isto é, terá que privilegiar certos fatos históricos, ideias, teorias e experimentos em detrimento de todo o resto. Apesar disso, 13 dos 14 enunciados, produzidos por diferentes locutores, apresentam quase exatamente o mesmo recorte histórico, privilegiando praticamente as mesmas ideias e cometendo, inclusive, os mesmos erros de historicidade (o que será discutido em detalhe no item 5.4).

Apesar dessa hegemonia temática, deve-se constatar que dois livros (ARTUSO; WUBLEWSKI, 2013; OLIVEIRA et al, 2013) trazem uma rápida discussão sobre o Interferômetro de Mach-Zehnder (IMZ). Essas inserções indicam um diálogo entre os enunciados dos livros didáticos e as publicações na área de Ensino de Física que trazem o IMZ como uma ferramenta para abordagem da nova FQ (SILVA NETO; CAVALCANTI; OSTERMANN, 2015; SILVA NETO; OSTERMANN; PRADO, 2011; PEREIRA; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2009; BETZ; MUSSATO, 2009).

4.3. Contexto extraverbal

Para entender o contexto de produção dos enunciados, analisamos o edital do PNLD e a formação dos autores.

4.3.1. Edital do PNLD

O edital do PNLD do Ensino Médio de 2015 (BRASIL, 2015) apresenta os requisitos necessários para que as obras sejam aprovadas e, portanto, passíveis de ser adotadas nas escolas públicas brasileiras. É importante notar que o PNLD surge em um contexto de reforma educacional, após a promulgação da Lei de Diretrizes e Bases em 1996. Essa reforma pós ditadura militar tentou romper (pelo menos normativamente) com pressupostos pedagógicos do período anterior, como tecnicismo, pragmatismo e comportamentalismo, os quais chegam ao Brasil por acordos de cooperação com os Estados Unidos como o MEC-USAID em 1966 (MARTINS, 2014).

Com relação à inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea, da qual a Física Quântica faz parte, o PNLDEM2015 faz a seguinte exigência: “[o livro] trata de forma adequada e pertinente, considerando os diversos estudos presentes na literatura atual da área, tópicos usualmente classificados como de Física Moderna e Contemporânea e que sejam considerados importantes ou mesmo imprescindíveis para o exercício da cidadania ativa, crítica e transformadora, bem como para a inserção ativa, crítica e transformadora no mundo do trabalho”.

Além disso, destacamos dois requisitos da ficha de avaliação que abordam as visões de ciência e interessam, portanto, a essa pesquisa: o livro “propõe discussões sobre as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, promovendo a formação de um cidadão capaz de apreciar e de posicionar-se criticamente diante das contribuições e dos impactos da ciência e da tecnologia sobre a vida social e individual” e o livro “utiliza abordagens do processo de construção das teorias físicas, sinalizando modelos de evolução dessas teorias que estejam em consonância com vertentes epistemológicas contemporâneas.”

De acordo com o edital, se o livro didático não atende a qualquer um dos requisitos transcritos, ele não poderia ser aprovado no PNLD (BRASIL, 2015).

4.3.2. Quem são os autores dos livros didáticos?

Com base nas informações fornecidas pelos livros didáticos e pela plataforma Lattes, analisamos a formação acadêmica (graduação, mestrado e doutorado) dos autores (tabela 4.1) bem como sua produção acadêmica na área de “Ciências Exatas e da Natureza” e de Ensino de Física (tabela 4.2). Os resultados da tabela 4.1 estão em percentual com relação ao número total de autores de todos os livros (47 autores) – sendo que o somatório da primeira coluna ultrapassa 100% visto que existe uma porção significativa de autores com mais de um curso de graduação. Nenhum autor apresenta, entretanto, mais de um mestrado ou doutorado.

Tabela 4.1. Formação Acadêmica dos autores dos livros didáticos aprovados no PNLDEM2015. Percentual dado em relação ao número total de autores. Diversos autores possuem mais de uma graduação.

	Graduação	Mestrado	Doutorado
Lic. Física	64%	-	-
Bac. Física	28%	-	-
Engenharia	19%	6%	4%
Pedagogia	9%	0%	0%
Lic. Matemática	6%	-	-
Bac. Matemática	6%	-	-
Outros	6%	4%	0%

Física	-	15%	4%
Ensino /Educação	-	21%	4%
Epistemologia	-	4%	2%
Não possui	0%	50%	86%

Tabela 4.2. Número de artigos publicados em Física e em Ensino de Física (somatório sobre a contribuição de todos os autores por livro didático).

Ref.	Nº de autores	Nº de artigos Ciências Exatas	Nº artigos Ensino
Gaspar (2013)	1	0	18
Artuso, Wublewski (2013)	2	12	2
Oliveira et al. (2013)	4	0	38
Yamamoto e Fuke (2013)	2	0	0
Guimarães, Piqueira e Carron (2013)	3	124	0
Barreto Filho e Silva (2013)	2	0	0
Luz e Álvares (2013)	2	0	0
Bonjorno et al. (2013)	6	0	0
Gonçalves Filho e Toscano (2013)	2	0	4
Biscuola, Boas e Doca (2013)	3	0	0
Menezes et al. (2013)	6	0	81
Stefanovits (2013)	6	48	1
Sant'Anna et al. (2013)	4	6	0
Torres et al. (2013)	4	0	0

É interessante notar que uma porção significativa dos autores não possui licenciatura (36%), metade dos autores não possui mestrado, e a grande maioria não possui doutorado (86%). Além disso, podemos notar que autores de apenas 3 coleções apresentam produção significativa (mais de dez artigos) em Ensino de Física, e de 3 coleções apresentam produção significativa em Ciências Exatas e da Natureza.

4.4. Análise Bakhtiniana

Nessa seção, apresentamos a última etapa da análise bakhtiniana, que consiste na articulação dos conceitos da Filosofia da Linguagem, as perguntas de pesquisa e o objeto de estudo. Ao longo dessa seção, repetimos as perguntas apresentadas no item 3.4 em itálico para facilitar a leitura.

A primeira pergunta que norteou nossa análise foi *com qual gênero do discurso estamos lidando*. Como mencionado anteriormente, todos os enunciados analisados pertencem ao gênero discursivo livro didático, mas podemos ser ainda mais específicos, identificando-os como pertencendo ao subgênero de livros didáticos aprovados no PNLDEM 2015.

A partir disso, aprofundamos a visão sobre a relação do gênero com o auditório: *a partir da definição do gênero do discurso e do conhecimento do contexto extraverbal, podemos inferir qual é o auditório do enunciado, isto é, para quais supostos interlocutores o autor fala?* Os enunciados, por se tratarem de textos didáticos presentes no terceiro volume das respectivas coleções, têm como membros do auditório alunos do terceiro ano do Ensino Médio bem como os seus professores. Além disso, esses livros foram submetidos ao edital do PNLDEM 2015, o que indica que os locutores também tomam como auditório os avaliadores do programa. Assim, devemos ter em mente que o enunciado tem uma dupla direcionalidade: ele dialoga com membros da comunidade escolar (alunos e professores) e com membros da comunidade acadêmica, que têm por objetivo identificar se os livros atendem aos requisitos do edital em questão.

A terceira pergunta realizada foi *qual o tema dos enunciados*. Treze dos quatorze enunciados analisados tem como tema a origem da Física Quântica. O único livro que foge a essa classificação é o livro de Oliveira et al (2013), cujo tema é a natureza da luz. Essa distinção deve ser feita visto que os autores das treze coleções fragmentam a Física conceitualmente, como se o estudo da Física Quântica partisse unicamente da solução do problema do corpo negro e não dialogasse com os demais conteúdos da Física, como se fosse um estudo independente e acabado em si mesmo.

Ainda que essa abordagem pareça realçar a ruptura conceitual entre Física Clássica e Quântica (conforme preconiza a escola espanhola), esse recorte muito estreito da história da ciência cria a falsa noção de que as teorias surgem do nada, por atos de genialidade, a partir da observação direta do experimento ou de um problema específico (no caso, o problema da radiação de

corpo negro), sem aprofundar o contexto teórico em que as teorias são produzidas e as relações dialógicas extremamente complexas que existem na construção científica. Trata-se de uma espécie de deformação da abordagem histórica, na qual reconhecemos um forte viés positivista, visão que considera a ciência como um método neutro, fundado em conhecimento empírico e livre de metafísica (PACKER, 2011; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2011)

Notamos que existe, apesar de se tratarem de abordagens históricas, uma diminuição ou esquecimento do papel das teorias anteriores, como nas seguintes passagens: “Para explicar a distribuição espectral da radiação térmica, Planck introduziu hipóteses totalmente novas, revolucionárias (...)” (GUIMARÃES; PIQUEIRA; CARRON, 2013). “Modificando algumas equações conhecidas à época, Planck conseguiu que as curvas teóricas e experimental coincidissem” (STEFANOVITS, 2013) Na primeira passagem, os autores falam de hipóteses totalmente novas, revolucionárias. Do ponto de vista da análise bakhtiniana, tal posicionamento é totalmente impossível: ninguém jamais consegue dizer algo totalmente novo. Ainda que se admita a existência de rupturas epistemológicas, essas não podem negar a construção da ciência, a qual se dá através do encadeamento de enunciados. De fato, é sabido que o método empregado por Planck era uma extensão do que fora desenvolvido por Boltzmann (KUHN, 1978) e, portanto, não pode ser denominado de “totalmente” novo.

Na segunda citação, o passado da Física é sintetizado na expressão “*algumas equações conhecidas à época*”. Além de colocar toda a Física Clássica em uma “caixa preta”, o locutor minimiza a complexidade do fato histórico e social que envolve o advento da Física Quântica. Deve-se lembrar que, no primeiro artigo em que Planck propôs sua equação o fez por uma interpolação dos modelos de Wien e Rayleigh e, somente depois, usou argumentos de mecânica estatística para derivar a mesma expressão. Quando Einstein publicou seu primeiro artigo sobre a discretização da radiação, em 1905, imaginava que o modelo de Planck era incompatível com a sua hipótese do quantum de luz (EINSTEIN, 1906). Foi somente no ano seguinte que Einstein começou a defender que o modelo de Planck conduzia à hipótese do quantum. Conquanto isso, Planck manteve-se contrário à quantização da radiação até pelo menos 1909 (EINSTEIN, 1909).

Essa fragmentação da história, nos livros didáticos, indica uma assimetria epistemológica na abordagem do tema: os autores apresentam os tópicos da Física Quântica (dentro do enunciado) sob um viés histórico (com um modelo de evolução linear), mas não colocam a própria Física Quântica num debate histórico mais amplo. Ainda que assimétricas, ambas abordagens veiculam um viés positivista, pois simplificam ao extremo as complexas relações dialógicas de construção da ciência.

A abordagem simplista sobre a História da Ciência em livros didáticos não é algo novo e configura-se como um obstáculo à inserção de História e Filosofia da Ciência no Ensino já retratado em diferentes pesquisas (MARTINS, 2007; HOTTECK; SILVA, 2011; VIDAL; PORTO, 2012). Oliveira et al (2013) fogem dessa abordagem simplista, pois, ao falar da natureza da luz, incorporam os debates entre Newton e Huygens, Poisson e Fresnel, a busca pelo éter, a relatividade restrita e, por fim, o início da Física Quântica num único enunciado. Os outros livros fragmentam esses temas, mostrando a relatividade, por exemplo, como uma teoria alheia a esse debate (uma exceção parcial a isso é o livro de Biscuola, Boas e Doca (2013) que introduz relatividade entre as seções sobre a história da quântica, antes de entrar na teoria de De Broglie).

Outros textos mencionam a recorrência do debate entre natureza corpuscular e ondulatório da luz na história da Física, mas o fazem de maneira periférica, a título de contextualização do problema como o caso de Yamamoto e Fuke (2013) e Luz e Álvares (2013) – como se a história e a ciência não conversassem entre si. Esse tipo de contextualização simplória, não problematizada, abre uma dúvida sobre o domínio do assunto pelos próprios autores e sobre a intenção que está por trás dessa enunciação. Uma das exigências do edital é que os livros apresentem contextualização histórica, então, nessas passagens, temos a impressão de que os autores estão direcionando o enunciado aos avaliadores do PNLD, respondendo às exigências do edital de maneira superficial.

A partir do conhecimento extraverbal, podemos inferir a quais outros enunciados, o texto responde? Com que visões ele dialoga, problematiza, se contrapõe? Primeiramente, uma vez que os livros foram submetidos ao edital do PNLD, é natural esperar que eles respondam ao edital – conforme notamos já ao responder à questão 3. Além disso, vimos que a maioria dos autores não possui

pós graduação em Ensino de Física ou mesmo em Física. Isso significa que, provavelmente, seu contato com Física Moderna e Física Quântica se deu em disciplinas introdutórias de graduação, em que, normalmente se usam os livros de Eisberg e Resnick (1994), Tipler e Llewellyn (2008) e Halliday e Resnick, 2010. Podemos perceber que esses livros de graduação também seguem uma abordagem histórica, apresentando a Física Moderna sem colocá-la num contexto mais amplo na história da Física, e, por fim, também a colocam em uma sequência linear: problema do corpo negro, Efeito Fotoelétrico, Efeito Compton, dualidade de De Broglie, Equação de Schrodinger. A similaridade dos textos aprovados no PNLDEM com os livros de graduação, aliada à identificação da pouca formação dos autores na área, indica que os autores veiculam os enunciados que estudaram em sua formação, tendo apenas o cuidado de simplificar o formalismo matemático, o que se configura em uma espécie de *colonialismo didático*. Tal fenômeno implica uma subordinação do Ensino Básico ao Ensino Superior.

Partimos, então, para análise de um dos elementos do enunciado: *Como que a estrutura composicional do enunciado se articula com as características do gênero do discurso? Essa articulação, de alguma forma, implica a sustentação de uma visão de ciência implícita? Já abordamos esse aspecto, superficialmente, na questão três. Indicamos que os livros apresentam uma assimetria em sua abordagem histórica: contam a evolução histórica da quântica a partir do problema de radiação do corpo negro, mas negam sua historicidade num contexto maior, o que reforça a ideia de uma ciência objetiva e linear. Além disso, os autores fazem da história da física a história dos experimentos – os problemas sempre começam com os experimentos, e as teorias apenas se desdobram para resolvê-los. Essa estrutura composicional, mais uma vez, veicula fortemente um viés positivista (SILVEIRA; OSTERMANN, 2002)*

Além disso, ao contar a história dos experimentos, os autores negam e omitem a existência de teorias rivais que se construíram à época do desenvolvimento da Física Quântica. Na época do artigo de Einstein, que aborda o Efeito Fotoelétrico, por exemplo, o fenômeno era explicado pela Teoria do Gatilho (MARTINS; ROSA, 2014). Nenhum autor menciona essa teoria e Luz e Álvares (2013), Sant’Anna et al (2013) e Oliveira et al. (2013) dizem que não havia explicação na época. Nenhum autor comenta, também, que ao longo do

desenvolvimento da Quântica, desenvolveram-se teorias ondulatórias para explicar o Efeito Fotoelétrico e Compton (GREENSTEIN; ZAJONE, 2006). Mais uma vez, essa opção de construção da história privilegiando apenas as teorias hegemônicas fortalece a visão positivista da ciência.

Ainda, alguns livros cometem erros de historicidade – afirmando explicitamente, por exemplo, que Einstein partiu do modelo de Planck para propor o Efeito Fotoelétrico, enquanto, de fato, ele parte do modelo de Wien (anterior ao de Planck) e reconhece que sua hipótese poderia ser válida somente para pequenos comprimentos de onda (EINSTEIN, 1905). A derivação a partir de um modelo anterior ao de Planck é negada pelos autores para salvar a linearidade objetiva da ciência, e a limitação do modelo descrita por Einstein é omitida para salvar o *status* hegemônico da ciência como forma de produção de conhecimento absoluto.

Os livros didáticos trazem a história da ciência apenas como contextualização no início da seção, situando o aluno em termos de datas, mas não mostram como os conceitos são construídos dentro dessa historicidade. Existe uma desconexão entre história da física e a física – como se a ciência, ainda que situada na história, lhe fosse totalmente alheia.

Além disso, a visão de uma ciência supostamente objetiva motiva a apresentação de uma abordagem ingênua da interação ciência, tecnologia e sociedade – reforçando o mito da linearidade: ciência sempre promove avanço tecnológico, que sempre promove bem-estar social (DECONTO, 2014). Destacamos alguns trechos cuja expressividade se mostra otimista e ingênua com relação ao papel da ciência na sociedade: “Essa compreensão do mundo subatômico levou ao desenvolvimento, por exemplo, da nanotecnologia. (...) Que dispositivos não existiriam sem os conhecimentos disponíveis sobre o mundo subatômico?” (MENEZES, et al, 2013. 2 p.214) “A Física quântica tem proporcionado um desenvolvimento tecnológico sem precedentes (...)” (GUIMARÃES; PIQUEIRA; CARRON, 2013. p.212). “O efeito fotoelétrico tem aplicação, por exemplo, na contagem de pessoas que passam por um local (...)” (BISCUOLA; BOAS; DOCA, 2013. p. 271). “Neste capítulo, vamos estudar o que isso tem a ver com o aparelho de TV, com a máquina fotográfica, com o aparelho de DVD ou Blu-ray e toda uma infinidade de equipamentos que a Física Quântica permitiu desenvolver.” (BONJORNO et al., 2013. 241). “Sabemos que a ciência

progredir em complexidade e tecnologia à medida que novas ideias surgem, geralmente a partir de outras mais antigas e comumente mais simples.” (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2013. p.164). “Assim como em outras áreas da Física, as pesquisas teóricas no campo da Física Moderna também vem contribuindo para o desenvolvimento tecnológico. O estudo do mundo microscópico possibilitou criar equipamentos que podem ser utilizados em diferentes áreas.” (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2013 p. 165). “Assim como ocorria em outras áreas do conhecimento da Física, o conhecimento científico desenvolvido durante a elaboração da Física Quântica também possibilitaria a produção de tecnologia em diferentes áreas do cotidiano” (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2013p. 168). “Os avanços tecnológicos dos últimos cem anos que revolucionaram a vida e os costumes da humanidade no século XX foram, em grande parte, frutos das aplicações dos conceitos da nova Física do mundo das partículas subatômicas.” (TORRES et al., 2013. p. 235). “Inúmeras aplicações desses efeitos estão presentes em nosso dia a dia”. (SANT’ANNA et al., 2013. p.260).

Deve-se comentar que essa percepção simplista das interações entre ciência, tecnologia e sociedade, promovendo um clima ufanista com relação aos benefícios da ciência e do mundo “moderno” pode ser considerada uma característica do ensino tecnicista (típico do paradigma educacional do período da ditadura militar) que visava promover a formação de mão de obra para o processo de industrialização nacional (MARTINS, 2014).

Seguindo a análise dos elementos do enunciado e sua relação com a visão de ciência veiculada, partimos para análise de escolha de palavras e expressões: *a escolha lexical ao longo do texto evidencia, de forma explícita, a veiculação de uma visão epistemológica? Essa visão explícita está de acordo com o que foi inferido a partir da análise da estrutura composicional?* Os livros, com exceção de Oliveira et al. (2013), veiculam fortemente um viés positivista, primeiramente, por sua estrutura composicional – tanto pelo que optam apresentar, mas também pelo que optam omitir – conforme discutimos na questão anterior. Além disso, em frequências diferentes, podemos encontrar em todos os quatorze enunciados expressões típicas que podemos associar ao viés positivista. Deve-se notar que essa veiculação positivista pela escolha lexical é um indício sutil se analisado isoladamente, mas quando considerado a partir da

totalidade do enunciado, em que a estrutura composicional já corrobora a visão positivista, vemos que essa escolha lexical fortalece o viés epistemológico que está sendo veiculado. Seleccionamos alguns exemplos: “O significado das linhas espectrais estava assim **desvendado**” (MENEZES et al., 2013. p. 220). “A **comprovação** experimental da teoria de De broglie foi obtida em 1927, tendo por base o experimento de dupla fenda para a radiação eletromagnética realizado por Thomas Young (1773-1829).” (STEFANOVITS, 2013, p. 250) “Com a **confirmação** da hipótese de De broglie, ficava estabelecida a dualidade onda-partícula.” (ARTUSO; WRUBLEWSKI, 2013, p 278). “O trabalho de Einstein **mostrou** que o efeito fotoelétrico **não pode ser** interpretado com base no modelo ondulatório da luz” (GUIMARÃES; PIQUEIRA; CARRON, 2013, p.217). “Experiências como o efeito fotoelétrico e o efeito Compton (...) **demonstraram** que a luz pode também se comportar como partícula.” (GUIMARÃES; PIQUEIRA; CARRON, 2013. p.225). “Em 1927, a teoria de De Broglie foi **confirmada** pela primeira vez, em um experimento no qual se determinou o comprimento de onda de elétrons que sofrem difração.” (BISCUOLA; BOAS; DOCA,2013. p. 292). “Estudos mais detalhados do fenômeno de Hertz **revelaram** que, a centelha realmente se tornava maior.” (BONJORNO et al., 2013. p. 247). “Em 1923, Arthur Holly Compton (1892-1962) físico estadunidense, **comprovou experimentalmente** a natureza quântica dos raios X. (BONJORNO et al., 2013. p. 253). O Efeito Compton **confirma** que os fótons se comportam como partículas(...)” (BONJORNO et al., 2013., p. 247). “As ideias de De Broglie **tiveram confirmação** nas experiências realizadas em 1927 pelos físicos estadunidenses (...).” ((BONJORNO et al., 2013., 254). “Essa hipótese, hoje já plenamente **confirmada** (...)” (TORRES et al., 2013, p.235). “(...) **confirmando** experimentalmente a teoria do físico francês (TORRES et al., 2013, p. 251). A **explicação correta** para o efeito fotoelétrico foi dada por Albert Einstein.” (TORRES et al., 2013, p. 242). “O resultado do experimento de Young **comprovou definitivamente** que a luz tem caráter ondulatório” (SANT’ANNA et al, 2013. p.255). “Essa teoria foi tomando formato aos poucos, sendo construída por vários cientistas **à medida que solucionavam os problemas originados pelas experiências**” (LUZ; ALVARES, 2013, p.295). “O surgimento da Física Quântica, **a partir de experiências**, foi diferente do surgimento da teoria da relatividade(...)” (LUZ; ALVARES, 2013 p.295). “A Física quântica aos poucos foi

revelando certos comportamentos estranhos da natureza.” (LUZ; ALVARES, 2013, p.295). “Em 1927, experiências de difração foram efetuadas com elétrons, **comprovando** a hipótese de De Broglie.” (LUZ; ALVARES, 2013, p.302). “Finalmente, em 1928, o físico Max Born **descobriu** uma relação entre a função de onda e a probabilidade de se encontrar a partícula.” (LUZ; ALVARES, 2013, p.303)

E temos uma passagem com viés popperiano (SILVEIRA, 1996; SILVEIRA; OSTERMANN, 2002): “Contudo novas evidências da quantização da luz e da energia surgiram logo depois, **de modo que a teoria fosse cada vez mais aceita.**” (STEFANOVITS, 2013, p. 248)

Apesar dessa forte veiculação positivista nos enunciados, mais uma vez, podemos notar que existem momentos em que os autores dialogam com os avaliadores, buscando o preenchimento dos requisitos do edital. O trecho abaixo aponta uma virada repentina de viés epistemológico, em que os autores reconhecem o lado social da ciência, o qual é negado na maior parte do enunciado: “(...) pois a Física Quântica também foi influenciada pelo contexto histórico da época de sua reformulação (...)”(STEFANOVITS, 2013, p 251).

O enunciado de Gonçalves Filho e Toscano (2013) é um dos que apresenta a interação ciência, tecnologia e sociedade pelo mito CTS (conforme trechos apresentados no item anterior), chegando a afirmar que teorias antigas são mais simples, contraditoriamente – o enunciado apresenta um quadro sobre a epistemologia de Thomas Kuhn (cujo conceito de incomensurabilidade vai de encontro à comparação da complexidade entre teorias) e um quadro sobre o papel das mulheres na ciência, que não dialogam em nada com o restante do texto. Mais uma vez, entendemos que esse enunciado se direciona aos avaliadores e não aos alunos.

Feita a análise dos elementos verbais do enunciado, retomamos o problema do contexto extra verbal: *A formação dos autores influencia na visão de ciência veiculada nos enunciados?* O único enunciado que não veicula uma visão positivista em sua estrutura composicional e tema é o contido no livro Física Conceitos e Contextos (OLIVEIRA et. al, 2013), cujo primeiro autor tem doutorado em epistemologia e história da ciência. Tal fato sugere que a falta de formação em epistemologia implica uma possível falta de crítica com relação à veiculação de visões ultrapassadas de ciência.

5. Conclusões

Apresentamos nesse artigo uma análise bakhtiniana dos enunciados de Física Quântica nos catorze livros didáticos aprovados no PNLDEM 2015. Nessa análise, investigamos as abordagens apresentadas, os conceitos, as teorias e os experimentos que são privilegiados e as visões de ciência que são veiculadas.

Nossos resultados indicam que todos os livros optam por introduzir a FQ em uma perspectiva histórica, evidenciando os limites dos modelos clássicos e se restringindo à velha FQ. Um livro se destaca por trazer essa discussão em um domínio temporal mais amplo, ao longo da história da Física (esse livro foi escrito pelo único autor com doutorado em Epistemologia e História da Ciência). Esse livro usa a natureza da luz como fio condutor da discussão, integrando diferentes teorias, experimentos e movimentos científicos. Os demais livros apresentam uma visão histórica fragmentária e linear, identificando o desenvolvimento da física moderna como um acúmulo de visões. Nessa abordagem histórica, os autores identificam a história da física como a história dos experimentos (indutivismo ingênuo) e omitem a existência de teorias rivais, que concorreram ao longo do desenvolvimento da Física Moderna e de limitações nos modelos. Essa abordagem simplista e ingênua veicula implicitamente um viés positivista, o que é combatido por todas as escolas epistemológicas contemporâneas.

Além disso, identificamos que os tópicos mais presentes nos livros didáticos do PNLDEM 2015 são os mesmos presentes em livros didáticos usados no Ensino Superior. Considerando que a maioria dos autores não tem uma formação em Física Moderna e Contemporânea além da graduação, supõe-se que esses se inspiraram em sua própria formação para a escrita dos livros didáticos, cometendo inclusive os mesmos erros de historicidade dos livros usados no Ensino Superior.

Mostramos, também, que os autores utilizam, em diferentes frequências, construções frasais que expressam explicitamente uma visão positivista e uma visão ingênua das interações ciência, tecnologia e sociedade. Alguns livros, entretanto, apresentam trechos com uma visão epistemológica contrária ao que veicula no restante do enunciado. Essas variações foram interpretadas como uma tentativa de atender aos requisitos estabelecidos pelo PNLD EM 2015 de forma simplista e superficial.

Dessa forma, pode-se notar que, apesar do PNLD tentar afastar do ensino tecnicista, os livros didáticos aprovados não rompem com esse paradigma didático proveniente do período da ditadura militar, silenciando discussões filosóficas e críticas em benefício de um ensino simplista, pragmatista e ingênuo. O Ensino de Física Quântica nos livros didáticos, portanto, é, ainda subserviente a um projeto político-social que visava atender a demandas da industrialização (no período de 60-80) e posicionar o Brasil no eixo capitalista durante a Guerra Fria (MARTINS, 2014).

Por fim, os livros aprovados no PNLDEM 2015 ainda representam uma produção didática dissonante em relação aos avanços epistemológicos contemporâneos e aos resultados da pesquisa em Ensino de Física. Faz-se compulsório uma nova visão sobre o ensino de Física Quântica no Ensino Médio, que privilegie discussões epistemológicas e conceituais. Uma possível alternativa é adotar uma abordagem da FQ, a partir do Interferômetro de Mach-Zehnder, utilizado como ferramenta mediacional, como já vem apontando a literatura recente.

Referências

- ARONS, A. B. *A guide to introductory physics teaching*. New York: John Wiley, 1990.
- ARTUSO, A. R.; WRUBLEWSKI, M. *Física*. Curitiba: Positivo, 2013.
- BAKHTIN, M. *Os gêneros do discurso*. São Paulo: Editora 34, 2016.
- BAKHTIN, M. *Marxismo e Filosofia da Linguagem*. 12. ed. São Paulo: HUCITEC, 2006.
- BARRETO FILHO, B.; XAVIER, C. *Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória e física moderna: 3º ano*. São Paulo: FTD, 2013.
- BETZ, M., LIMA, I.; MUSSATO, G. *Dualidade onda-partícula: um objeto de aprendizagem baseado no interferômetro de Mach-Zehnder*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, p. 3501-3508, 2009.
- BISCUOLA, G. J.; BOAS, N. V.; DOCA, R. H. *Física 3*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.
- BONJORNO, J. R. et al. *Física: eletromagnetismo, física moderna - 3º ano*. 2. ed. São Paulo: FTD, 2013.

BRASIL. *Diretrizes Curriculares ara Formação de Professores do Ensino Básico*. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/basica.pdf>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2016.

BRASIL. *Editais do PNLD*. Disponível em: <www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico/livro-didatico-editais>. Acesso em: 09 de novembro de 2016.

DECONTO, D. C. S. *A Perspectiva Ciência Tecnologia e Sociedade na Disciplina Metodologia do Ensino de Física: Um Estudo na Formação de Professor à Luz do Referencial Sociocultural*. 2014. 442p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física). Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

DOMINGUINI, L. *Questões históricas da evolução da Física Moderna nos livros didáticos de Física do PNLEM*. **Vidya**, v. 31, n.2, p. 11-26, 2011.

DOMINGUINI, L. *Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n.2, p. 1-7, 2012.

EINSTEIN, A. *Concerning an Heuristic Point of View toward the Emission and Transformation of Light*. **Einstein Collected Papers**, v. 2, p. 86, 1900-1909. Disponível em: <<http://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol2-trans/100>>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2017 .

EINSTEIN, A. *On the Theory of Light Production and Light Absorption*. **Einstein Collected Papers**, v. 2, p. 192, 1900-1909. Disponível em: <<http://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol2-trans/206>>. Acesso em: 08 e fevereiro de 2017.

EINSTEIN, A. *On the development of our views concerning the nature and constitution of radiation*. **Einstein Collected Papers**, v. 2. p. 379, 1900-1909. Disponível em: <<http://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol2-trans/393>>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2017 .

EISBERG, R., RESNICK, R. *Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Partículas*. 9. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994.

FISCHLER, H., LICHTFELDT, M. *Modern physics and students' conceptions*. **International Journal of Science Education**, v. 14, n. 2, p. 181-190, 1999.

GASPAR, A. *Compreendendo a Física volume 3*. 2. ed. São Paulo: Ática, 2013.

GIL, D. P., SENENT, F., SOLBES, J. *Análisis crítico de la introducción de la física moderna en la enseñanza media*. **Revista de Enseñanza de la Física**. v. 2, n. 1, p. 16-21.

GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. *Física: Interação e Tecnologia, volume 3*. São Paulo: Leya, 2013.

GRECA, I. M., MOREIRA, HERSCOVITZ, V. *Uma proposta para o Ensino de Mecânica Quântica*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 4, p. 444-457, 2001.

GREENSTEIN, G.; ZAJONE, A. G. *The Quantum Challenge – Modern Research on the Foundation of Quantum Mechanics*. Sudbury: Jones and Bartlett Publishers, 2006.

GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. *Física*. São Paulo: Ática, 2013.

HALLIDAY D., RESNICK, R. *Fundamentos de Física Volume 4*. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

HILGER, T. R., GLIEBER, A. *Uma proposta de unidade de ensino potencialmente significativo utilizando mapas conceituais*. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 18, n.1, p. 199-213, 2013.

HILGER, T. R., MOREIRA, M. A. *A Study of Social Representations of Quantum Physics Held By High School Students Through Numerical and Written Word Association Tests*. **Revista Electronica de Investigación en Educación en Ciencias**. v.8, n.1, p.52-61, 2012.

HOTTECKE. D.; SILVA. C. *Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: an analysis of obstacles*. **Science & Education**, v. 20, n. 3-4, p. 293-316, 2011.

JOHANSSON, A. et. al. “Shut up and calculate”: the available discursive positions in quantum physics courses. **Cultural Studies of Education Science**, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11422-016-9742-8>>. Acesso em:08 de fevereiro de 2017.

LOBATO, T; GRECA, I. M. *Análise da inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de Física do ensino médio*. **Ciência e Educação**, v.11, n.1, p. 119-132, 2005.

LUZ, A. M. R.; ALVARES, B. A. *Física contexto & aplicações*. São Paulo: Scipione, 2013.

MARTINS, A. A. *Artefato da Cultura Escolar ou Mercadoria? A escolha do Livro Didático de Física em Análise*. 2014. 224p. Tese (Doutorado em Educação). Setor de Educação, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MARTINS, R. A.; ROSA, P. S. *História da teoria quântica: a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

MARTINS, A. F. *História da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.

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

MAXIMIANO, J. R.; CARDOSO, L.; DOMINGUINI, L. *Aspectos metodológicos do conteúdo física moderna nos livros didáticos do PNL2012*. **Revista Técnico-Científica (IFSC)**, v. 3, n.1, p. 494-503, 2012.

MAXIMIANO, J. R., CARDOSO, L., DOMINGUINI, L. *Estruturação do Conteúdo Física Moderna nos Livros Didáticos do PNLD2012*. 1º **Seminário de Pesquisa, Extensão e Inovação do IF-SC**, Campus Criciúma. 2012.

MAXIMIANO, J. R.; CARDOSO, L.; DOMINGUINI, L. *Física Moderna nos livros didáticos: um contraponto entre o PNLEM 2009 e o PNLD 2012*. **Vidya**, v. 33, p. 97-115, 2013.

MCCOMAS, W, F.; ALMAZROA, H. & CLOUGH, M. *The nature of science in science education: an introduction*. **Science & Education**, v. 7, p. 511-532, 1998.

MENEZES, L. C. et al. *Quanta Física, 3º ano*. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

OLIVEIRA, M. P. P. et al. *Física: conceitos e contextos: pessoal, social e histórico, eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria: 3*. São Paulo: FTD, 2013.

OSTERMANN, F. *A epistemologia de Kuhn*. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n.3, p. 184-196, 1996.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. *Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no ensino médio*. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n.1, p. 23-48, 2000.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. *Epistemologia*. Porto Alegre: Evangraf; UFRGS. 2011.

PACKER, M. J. *The science of qualitative research*. New York: Cambridge University Press, 2011.

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

PEREIRA, A. P., OSTERMANN, F. *Sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: Uma Revisão da Produção Acadêmica Recente*. **Investigações em Ensino de Ciências**. v.14, n.3, p. 393-420, 2009.

PEREIRA, A. P., OSTERMANN, F., CAVALCANTI, C. J. H. *Um exemplo de “distribuição social da mente” em uma aula de física quântica*. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 2, p. 257-270, 2012.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. *On the use of a virtual Mach-Zehnder interferometer in the teaching of quantum mechanics*. **Physics Education** (Bristol. Print), v. 44, n.3, p. 281-291, 2009.

SALES, G. L. et al. *Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, 2008.

- SANT'ANNA, B. *Conexões com a Física*. São Paulo: Moderna, 2013
- SILVA, A. C., ALMEIDA, M. J. P. M. *Física Quântica no Ensino Médio: O que Dizem as pesquisas*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.28, n.3, p.624-652, 2011.
- SILVA NETO, J.; CAVALCANTI, C. J. H.; OSTERMANN, F. *Estratégias discursivas adotadas por professores em formação na compreensão do fenômeno da complementaridade em atividades didáticas mediadas pelo interferômetro virtual de Mach-Zehnder*. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 15, p. 293-320, 2015.
- SILVA NETO, J.; OSTERMANN, F.; PRADO, S. D. *O tema da dualidade onda-partícula na educação profissional em radiologia médica a partir da simulação do interferômetro de Mach-Zehnder*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n.2, p. 01-10, 2011.
- SILVEIRA, F. *A Filosofia da Ciência de Karl Popper: o Racionalismo Crítico*. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n.3, p. 197-218, 1996.
- SILVEIRA, F. L., OSTERMANN, F. *A Insustentabilidade da Proposta Indutivista de "Descobrir a Lei a Partir de Resultados Experimentais"*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.19, n. especial, p. 7-27, 2002.
- SOUZA, J.; REZENDE, F.; OSTERMANN, F. *Apropriação discursiva de modelos de formação docente em trabalhos de conclusão de um mestrado profissional em ensino de física*. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 2, p. 171-200, 2016.
- SOUZA, G. T. *Introdução à teoria do enunciado concreto do círculo Bakhtin/Volochinove/Medvedev*. 2. ed. São Paulo: Humanitas/FFLCH/USP, 2002.
- STEFANOVITS, A. (Editor responsável). *Ser protagonista: Física. 1º ano: ensino médio*. 2. ed. São Paulo: Edições SM, 2013.
- TELICHEVESKY, L. *Uma Perspectiva Sociocultural para Introdução de Conceitos de Física Quântica no Ensino Médio: Análise das Interações Discursivas em Uma Unidade Didática Centrada no Uso do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder*. 2015. 192p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física). Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- TIPLER, P., LLEWELLYN, R. A. *Modern Physics*. 6. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2008.
- TORRES, C. M. A. ET AL. *Física Ciência e tecnologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2013.
- TRINDADE, J. FIOLHAIS, C., GIL, V. *Atomic orbitals and their representation: Can 3-D computer graphics help conceptual understanding?* **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, p. 319-325, 2005.

VENEU, A. A.; FERRAZ, G.; REZENDE, F. *Análise de discursos no ensino de ciências: considerações teóricas, implicações epistemológicas e metodológicas*. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. 1, p. 126-149, 2015.

VIDAL, P.H. O.; PORTO, P. A. *A história da ciência nos livros didáticos de química do PNLEM 2007*. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 2, p. 291-308, 2012.

VOLOSHINOV, V. N. *A estrutura do enunciado*. Tradução de Ana Vaz, para fins didáticos. Texto de circulação acadêmica, 1981. [Texto original publicado na revista **Literaturnja Ucëba**, v. 3. p. 65-87, 1930.]

WERTSCH, J. V. *Voices of the mind: a socialcultural approach to mediated action*. Cambridge: Harvard University Press, 1991.

YAMAMOTO, K. FUKE, L. F. *Física para o Ensino Médio 3*. São Paulo: Saraiva, 2013.

8. Sétimo Artigo Original

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

Resumo

Apresentamos um trabalho de Sociologia Simétrica da Educação em Ciências a partir de um quadro teórico que articula as filosofias de Bruno Latour e de Mikhail Bakhtin. Fazemos uma análise metalinguística dos textos sobre Física Quântica presentes nos livros de Física aprovados no PNLDEM 2015 em dialogia com as interpretações filosóficas do fóton em artigos científicos. Apresentamos as relações dialógicas existentes entre diferentes discursos científicos e didáticos, explicitando a reelaboração de sentido existente em todo texto. Mostramos, também, que os autores dos livros didáticos hibridizam diferentes visões sobre o fóton em uma visão própria, que não dialoga com resultados da pesquisa contemporânea na maioria dos livros, de forma que suas narrativas nem poderiam ser compreendidas como Física Quântica (visto que atribuem ao fóton uma performance com diversos toques clássicos). Mostramos, ademais, que todos os livros omitem a construção teórica que envolve o fóton, seguindo a mesma proposta didática-ideológica dos livros de ensino superior, conforme descrita por Kuhn, omitindo controvérsias e forçando o estabelecimento de um paradigma. Tal paralelismo didático sugere a subordinação da Educação em Ciências à própria comunidade científica na forma de um colonialismo didático. Ainda que concordássemos que o objetivo da Educação em Ciências é formar pequenos cientistas (o que não é o caso), há o problema de que o paradigma apresentado pelos livros não é hegemônico há mais de oito décadas. Por fim, a articulação teórica desenvolvida se mostrou profícua para analisar a Educação em Ciências e suas relações simétricas com a natureza e com a sociedade.

Palavras chave: Física Quântica, Livro Didático, Latour, Bakhtin

Abstract

We present a work of Symmetric Sociology on Science Education from a theoretical framework that articulates Bruno Latour's and Mikhail Bakhtin's Philosophies. We perform a metalinguistic analysis of the texts about Quantum Physics present in the Physics textbook approved by the PNLDEM 2015 in

dialogue with the philosophical interpretations about the photon in scientific papers. We present the dialogic relation among the different scientific and didactic speeches, explicating the re-elaboration of meaning that exists in every text. We show that the textbook authors hybridize different visions into a particular vision, which is not in dialogue with contemporary research in most textbooks so these narratives could not even be considered Quantum Physics (since they attribute to photons a performance with many classical aspects). Furthermore, we show that all textbooks omit the theoretical construction that encompasses the photon, following the same didactic and ideological proposal found in undergraduate textbooks, as described by Kuhn, that is, omitting controversies and pushing the establishment of a paradigm. Such didactic parallel suggests the subordination of Science Education to the Scientific Community in a sort of didactic colonialism. Even if we agreed that the goal of Science Education is to educate “little scientists” (which is not the case), there is the problem that the paradigm presented by the texts has not been hegemonic for, at least, eight decades. Finally, the developed theoretical articulation proved to be fruitful to analyze Science Education and its symmetrical relations with nature and society.

Keywords: Quantum Physics, Textbook, Latour, Bakhtin

1. Introdução

As pesquisas sobre livros didáticos ganharam espaço na produção acadêmica brasileira há cerca de quarenta anos (Garcia, 2017). Elas abarcam uma grande variedade não somente de temas (os assuntos específicos de cada disciplina), mas também de problemas de pesquisa, envolvendo questões como currículo, papel do livro didático, visões epistemológicas, erros historiográficos e conceituais, recursos, entre outros. No cenário internacional, desde a publicação de *A Estrutura das Revoluções Científicas* (Kuhn, 1978), o “manual de instrução” é reconhecido como um elemento importante da cultura científica, capaz de “transmitir” os problemas exemplares às gerações subsequentes de pesquisadores e iniciá-los no paradigma de sua área.

A descrição kuhniana sobre o livro didático “alertou” os pesquisadores de Educação em Ciências com relação ao problema das “distorções historiográficas” presentes nos livros didáticos, as quais resultam na defesa implícita de uma visão epistemológica em consonância com o paradigma vigente (Brush, 1974). A partir de tal visão, muitos estudos foram desenvolvidos, contrastando a História da Ciência com as pseudo-histórias dos livros didáticos (Siegel, 1979; Allchin, 2004), mostrando que um viés positivista é responsável por variações discursivas

presentes nos livros (Kincheloe & Tobin, 2009) tais como omitir premissas metafísicas (Silveira, 2002), supervalorizar o papel dos dados empíricos na construção de uma teoria (Silveira & Ostermann, 2002) e subestimar a qualidade de teorias que perderam sua hegemonia na comunidade científica (Piassi, Santos, Vieira, & Ferreira, 2009).

Ao fazer tal abordagem, alguns pesquisadores de História e Filosofia da Ciência (HFC) na Educação, se opondo ao discurso positivista, terminaram, sem perceber, por reforçá-lo em outro aspecto. Eles se opuseram ao empirismo ingênuo na ciência, mas adotaram, muitas vezes, um empirismo ingênuo historiográfico. Isto é, para eles, os livros adotam uma pseudo-história; mas eles, os pesquisadores, seriam capazes de apresentar a Verdadeira História da Ciência, acessada de forma imediata e objetiva por meio das fontes primárias.

Um problema semelhante a esse foi relatado por Bruno Latour na área de Estudos da Ciência (Latour & Woolgar, 1988): o Programa Forte da Sociologia (Bloor, 1982) se apresentava construtivista para a natureza, mas objetivista para a sociedade (Latour, 2013). Em oposição a essa visão, Latour aderiu à Sociologia da Tradução (Callon, 1986) (também chamada de Sociologia Simétrica) como uma alternativa que não recaísse na assimetria do Programa Forte, descrevendo a interação entre humanos e não-humanos por relações de tradução entre actantes.

Nosso objetivo é analisar a construção de narrativas sobre o fóton em livros aprovados pelo Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2015 (Ministério da Educação, 2014), procurando não recair na visão reducionista de que existe uma história objetiva para contrastar com a história do livro. Isso significa, em resumo, que nos opomos à dicotomia história *versus* pseudo-história. Ao fazer tal abordagem, entretanto, não recaímos em uma proposta relativista. Assim, pretendemos apresentar um estudo metalínguístico, apoiado na Filosofia da Linguagem de Bakhtin, que forneça subsídios para a proposição de um Programa Sociológico Simétrico em Educação em Ciências.

Reconhecendo a natureza textual⁴⁰ (Wertsch, 2004) de cada artigo científico e de cada capítulo do livro didático, é possível inferir que eles sempre

⁴⁰ Wertsch (2004) adota uma noção mais ampla de texto, como manifestação discursiva (oral ou escrita), sendo esses “textos” aqueles que medeiam o que ele chama de *memória coletiva* ou, como o autor ressalta, *lembrança coletiva*. Segundo essa perspectiva, lembrança (ou memória) não são ações realizadas

irão “distorcer” a história original. Isso não é feito porque há um descuido historiográfico, mas porque é da própria natureza dos processos de comunicação verbal reexpressar discursos anteriores, reelaborando-os e reacentuando-os (Bakhtin, 2016). Mesmo que alguém quisesse, sua interpretação sobre o artigo do Einstein de 1905 jamais seria “A visão de Einstein de 1905”, pelo fato de que, quando se fala de Einstein, a voz⁴¹ do locutor se hibridiza⁴² com a de Einstein. Assim, não se pode entender uma narrativa histórica como um espelho da realidade histórica, mas como um texto sobre a história que, em diálogo com outros textos, traduz (Latour, 1999) a história para o leitor. Tal tradução implica variações não somente sobre a própria história social, mas também sobre a natureza, visto que esses dois elementos não podem ser dissociados (Latour, 1999).

A partir de tal concepção, é possível mostrar que os processos de reelaboração de uma determinada produção científica, tensionando e variando os sentidos dos conceitos e das equações, aparece, também, nos artigos científicos e não é um privilégio dos livros didáticos. Isto é, o sentido e a história do fóton são múltiplos tanto na produção científica quanto na produção didática.

Para explicitar tais relações, primeiramente, apresentamos uma breve história do fóton, baseada na bibliografia de Max Jammer (1974), por meio da qual ressaltamos os processos discursivos de reelaboração do sentido nos artigos científicos, os quais são interpretados como processos de tradução (Callon, 1986; Latour, 1999). Ao longo de nossa narrativa, discutimos como a visão ontológica e epistemológica sobre o fóton varia ao longo da história e mostramos que a resignificação de artigos científicos não é um privilégio dos livros didáticos, mas um elemento presente em todo processo discursivo. Nessa perspectiva, nossa própria narrativa não é um espelho da realidade histórica; mas uma possível construção que dialoga com os artigos científicos e os livros didáticos simetricamente.

por um indivíduo isolado, mas sim ações mediadas por recursos textuais socialmente compartilhados. Tais recursos podem estar inseridos em um contexto temporal e/ou espacial amplo.

⁴¹ Voz é a personalidade falante, a consciência falante (Wertsch, 1992). A voz sempre tem uma vontade ou desejo por trás de si, seu próprio “timbre” e “sobretom” (Bakhtin, 1981, p. 434).

⁴² “Hibridização é a mistura, dentro de um único enunciado concreto, de duas ou mais consciências linguísticas, frequentemente vastamente separadas no espaço e no tempo social.” (Bakhtin, 1981, p. 429)

A escolha desse tema se deve, primeiro, pela relevância que a literatura vem atribuindo para a introdução de Física Quântica no Ensino Médio (Ostermann & Moreira, 2000; Silva & Almeida, 2011) e, segundo, porque Física Quântica é introduzida nos livros didáticos do PNLDEM através de uma abordagem cronológica (Lima, Ostermann & Cavalcanti, 2017), o que a torna um tema propício para uma pesquisa que busca analisar questões historiográficas a partir da Sociologia Simétrica⁴³.

De acordo com a literatura de Filosofia da Física Quântica (Bunge, 2013; Jammer, 1974, Pessoa Jr., 2003), a interpretação de uma teoria corresponde a um conjunto de teses que se agrega ao formalismo mínimo de uma teoria científica, e que em nada afeta as previsões observacionais da teoria. O livro “Conceitos de Física Quântica” (Pessoa Jr., 2003), por exemplo, apresenta diferentes experimentos mentais com o Interferômetro de Mach-Zehnder para explorar a dualidade onda-partícula e as diferentes interpretações que ela suscita. Pautado na obra de Jammer (1974), Pessoa Jr. (2003) divide as interpretações do fóton em quatro grupos (corpuscular, ondulatória, dualista realista e interpretação de Copenhague). Ainda que o formalismo matemático usado e o experimento sejam o mesmo, essas quatro interpretações divergem quanto à explicação do que está sendo observado e descrito matematicamente.

Tal definição é necessária para que possamos especificar que o escopo da pesquisa abarca as interpretações da teoria, isto é, estamos interessados em analisar como os livros didáticos enunciam a teoria, com qual visão de mundo (ontológica e epistemológica) eles se alinham⁴⁴. De forma específica, nosso trabalho responde às seguintes perguntas: como os livros didáticos falam sobre o fóton? A quais interpretações filosóficas os livros didáticos aderem? Quais as relações existem entre a exposição do livro didático e a narrativa dos artigos originais? Quais implicações didáticas podem ser inferidas dessa análise?

⁴³ A maioria dos textos didáticos de Física não trata a ciência sob um viés cronológico; mas postulacional. Em tais casos, a história é colocada em um plano secundário, e uma análise historiográfica do tema apresentado no texto didático fica comprometida. No caso da Física Quântica, entretanto, a estrutura do texto didático busca seguir a própria história dos artigos originais, hibridizando o ensino da Física com o de sua história. Ao investigar os aspectos sociológicos envolvidos em tal apresentação, conseguimos, ao mesmo tempo, discutir a Física e sua história, cruzando as fronteiras entre natureza e sociedade, como se espera de uma pesquisa latouriana.

⁴⁴ Estudos semelhantes para livros do Ensino Superior podem ser encontrados, tanto para interpretações do fóton (Lima, Antunes, Ostermann & Cavalcanti., 2017b) como para questões historiográficas do fóton em livros didáticos (Lima, Antunes, Ostermann & Cavalcanti., 2017a, 2017c).

2.Referencial Teórico-Metodológico

O presente trabalho lida com questões relacionadas à natureza da Ciência e da Educação em Ciência por meio da análise de textos científicos e didáticos. É necessário, portanto, valer-se de um quadro teórico que dê conta não só de questões epistemológicas e sociológicas; mas, também, da natureza e do papel da linguagem. Por tal motivo, propomos uma articulação de conceitos da Sociologia Simétrica de Bruno Latour e da Filosofia da Linguagem de Mikhail Bakhtin. Enquanto Latour tem sua obra dedicada a estudar a prática científica (abordando problemas ontológicos, epistemológicos e sociológicos), Bakhtin apresenta uma profunda e complexa Filosofia da Linguagem, cujo escopo transcende os limites da própria linguagem, o que, frequentemente, torna sua obra classificada como metalinguística⁴⁵. Apresentamos, nesta seção, os elementos das filosofias de ambos autores que foram utilizados no presente trabalho.

2.1. Sociologia Simétrica de Bruno Latour: Atores, Performances e Tradução

A proposta de Bruno Latour se destaca por contrapor-se àquilo que o autor denomina descrição **moderna** da realidade, a qual separa natureza e sociedade

⁴⁵ Latour (2013) critica duramente os estudos discursivos, ou, como ele chama, “o Império dos Signos” (Latour, 2013, p. 63), pois esses dissolvem os polos ontológicos da natureza e da sociedade, reduzindo a realidade a efeitos do discurso. Bakhtin, embora seja um filósofo da Linguagem, não reduz a realidade à linguagem. Pelo contrário, a materialidade dos signos e, portanto, de toda construção ideológica, aparece em uma das obras seminais do Círculo de Bakhtin (Bakhtin, 2006), e o coração de sua metalinguística reside na possibilidade de articular o discurso verbal com a sociedade e a cultura (externa ainda que interdependente ao discurso) (Bakhtin, 2016, 2017). Portanto, a crítica de Latour não recai sobre a obra de Bakhtin. Ademais, ainda que Latour critique a vertente semiótica do mundo moderno, ele próprio se vale de estudos discursivos e semióticos em diferentes obras. Pode-se citar, por exemplo, um estudo sobre o uso de referências em artigos científicos como forma de blindagem social do trabalho de pesquisa (Latour, 2011), uma tipologia de enunciados que são usados no processo de estabilização de um fato científico (Latour & Woolgar, 1997), um estudo sobre a inter-relação entre tecnologia e signos (Latour, 1999), um estudo semiótico sobre um livro de Albert Einstein (Latour, 1988) e um estudo sobre a retórica de artigos científicos (Latour & Fabbri, 1977). Tais elementos semióticos e discursivos na obra de Latour, entretanto, são usados de forma dispersa e desconexa, de forma que não é possível determinar sua visão de linguagem de forma completa e organizada. Isto justifica a necessidade de trazer elementos da Filosofia da Linguagem de Bakhtin para o presente trabalho.

em polos ontológicos independentes, sendo a linguagem o seu possível elo de conexão (mas sem se hibridizar com eles) (Latour, 2013). A **Sociologia Simétrica** de Latour, por outro lado, assume que nem a natureza, nem a sociedade são realidades objetivas, acabadas, independentes; mas que, a todo momento, natureza e sociedade são estabilizadas pela prática dos diferentes agentes humanos e não-humanos (Latour, 2013).

Ao invés de pensar que, na natureza e na sociedade, há elementos previamente existentes, Latour propõe a noção de **actantes**, os quais não existem como entidades objetivas, mas se definem e se estabilizam pelas relações com os demais actantes e pelas respostas que provocam em suas interações, o que chamamos de **performances** (Latour, 1999). Ao usar o termo actante, não distinguimos entre humanos e não-humanos, evitando a fragmentação proposta pelos modernos.

Latour (1999) narra, por exemplo, como o fermento (um **actante**) pode passar a existir a partir da associação de Pasteur (outro **actante**) com o ácido láctico (outro **actante**). O fermento não existia antes desses dois actantes se associarem. Somente por intermédio da relação estabelecida por Pasteur com o ácido láctico, o fermento passou a apresentar diferentes respostas em testes de laboratório (suas **performances**). Pasteur nunca teve acesso ao fermento em si; mas às suas **performances**. Sem as **performances**, nada haveria para definir o fermento. Além disso, conforme as relações e as performances do fermento mudam, ele próprio muda. Ao final, fermento é o rótulo usado para designar o conjunto de **performances** e **actantes** que estão associados em uma única rede.

Uma vez que a essência⁴⁶ (objetiva e autônoma) do fermento é negada em favor da sua rede de associações e **performances**, a qual é sempre mutável e contingente, o conceito de verdade é diluído. Para um **moderno**, o conceito de fermento (elemento da linguagem) seria verdadeiro se ele correspondesse a um fermento “real” (elemento da natureza) (Latour, 1999). Entretanto, nunca temos acesso ao fermento, mas às suas performances e à sua rede de **actantes**. Isto

⁴⁶ A discussão filosófica sobre a existência e a essência remonta a Aristóteles (Nelson, 2012), para o qual ambas eram indissociáveis. São Tomás de Aquino (Aquino, 1995), por outro lado, afirmava que a essência precede a existência, visto que é possível conceber a essência de um ente que não existe. Sartre, por sua vez, deriva, da inexistência de Deus, que pelo menos os homens têm sua existência anterior à essência, visto que não foram concebidos antes de existir (Sartre, 2007). Ao estender as propriedades dos humanos aos não humanos, Latour aplica o princípio existencialista de Sartre (a existência antecede a essência) para os “fatos científicos” (Latour, 2013).

é, nunca conseguimos confrontar o conceito de fermento de um lado contra o fermento do mundo natural do outro. Tal constatação impossibilita a construção de qualquer concepção de verdade por correspondência e indica um viés antiplatônico⁴⁷ na filosofia latouriana.

Se não podemos validar a prática científica como um confronto entre linguagem e matéria (Latour, 1999), então devemos assumir que a produção científica é da mesma natureza que qualquer outra obra literária? Isto é, a impossibilidade de conceber a verdade por testes de correspondência obriga-nos a assumir uma postura relativista sobre o conhecimento científico? A resposta de Latour é não para ambas perguntas (Latour, 1999). Ainda que não exista uma correspondência ontológica um-para-um entre linguagem e natureza, a prática científica se dá em uma **corrente de traduções**. O que garante a validade de uma prática ou de um actante é a estabilidade de tal corrente.

Tradução, nesse contexto, “não significa a mudança de uma língua para outra (como do Português para o Francês) como se as duas línguas existissem independentemente, mas translação, deriva, invenção, mediação, a criação de um link que não existia antes e que em algum grau modifica os dois actantes” (Latour, 1999, p.179).

Latour exemplifica tal conceito para o caso de uma pessoa portando uma arma. Um defensor de uma visão puramente sociológica (e ingênua) diria, “armas não matam, homens matam.” – ou seja, quem atua é o homem, a arma só é um instrumento da ação humana sem agência alguma. Por outro lado, uma posição extremamente materialista (igualmente ingênua), por exemplo, colocaria o homem como subserviente à arma: nós nos tornamos instrumentos da instrumentalidade (Latour, 1999). A visão de Latour não é nenhuma dessas duas posições. Uma arma sozinha não pode matar. Um homem (sem uma arma) pode sentir vontade de ferir outro homem, mas não ser capaz de matá-lo. Entretanto, quando o homem com vontade de ferir possui uma arma em sua mão, surge uma incerteza sobre a possível ação que ele pode tomar. Isoladamente, nenhum dos actantes tinha a **performance** matar disponível. O actante homem-arma, contudo, tem essa possibilidade ao seu alcance. Tal processo de incerteza sobre

⁴⁷ Platão distinguia o mundo das Ideias em relação à nossa realidade material. Para uma visão detalhada da oposição que Latour faz à filosofia platônica, sugere-se ler “A Invenção das Guerras da Ciência” (Latour, 1999, p. 216).

objetivos e **performances** é o que se chama de tradução. Observa-se que a tradução é um conceito usado para descrever a associação entre dois actantes quaisquer (sejam eles humanos ou não-humanos). No caso da arma, a natureza da tradução é não-verbal; entretanto, pode-se ter um caso em que o processo de tradução envolve, também, elementos semióticos.

Isso é exatamente o que acontece no caso da prática científica (Latour, 1999). Em cada etapa de tal prática, o **actante** estudado funciona como um signo da etapa anterior e como matéria bruta para a próxima etapa (ou seja, ele é um **híbrido** de matéria e signo). Tal **híbrido**, em cada etapa, é associado a outros **actantes**, resultando na tradução de um novo **híbrido** com novas **performances**. Embora o **actante** formado em uma etapa não espelhe o **actante** anterior, existe uma relação entre eles. Isto é representado na figura 1.

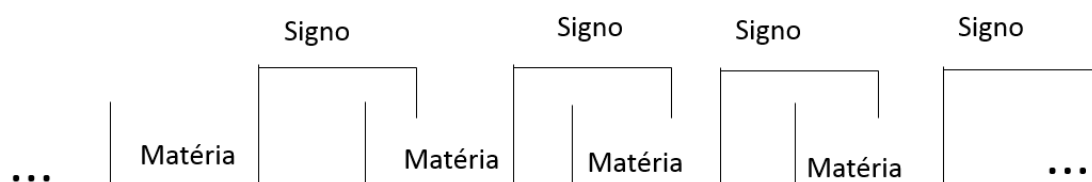


Figura 1. Corrente de traduções da prática científica. (Figura adaptada de Latour, 1999)

Retomando o exemplo do fermento, a cada novo teste de laboratório, Pasteur **traduz** os resultados dos experimentos na mesma medida em que os aparelhos **traduzem** as intenções de Pasteur (de forma simétrica). A cada novo experimento, novas **performances traduzem** um novo fermento. Dessa forma, apesar de não podermos confrontar um fermento teórico (pertencente à linguagem) com o fermento do mundo real (pertencente à natureza), podemos investigar toda a cadeia de traduções e traçar que associações foram feitas e como cada **performance** foi mobilizada na direção da estabilização de um **actante**. Assim, o que valida a prática científica não é o confronto entre o mundo natural e social, mas a estabilidade de toda **cadeia de traduções** (Latour, 1999). Se alguma das **traduções** feitas for inconsistente com o restante da cadeia, todo o processo pode ficar comprometido.

A concepção de Latour, portanto, não pode ser considerada relativista, pois é possível avaliar a realidade de um determinado **actante** pela extensão e

pela estabilidade da cadeia que ele mobiliza. Quanto mais extensa e estável for a cadeia de traduções, mais real aquele actante se torna (Latour, 1999). Um dos objetivos da Sociologia Simétrica é investigar a cadeia de traduções, traçando as relações entre todos os actantes envolvidos, sejam eles humanos ou não-humanos, cruzando as fronteiras entre natureza, linguagem e sociedade quantas vezes for necessário.

Observa-se, ainda, que, ao final de uma longa cadeia de traduções da prática científica, tem-se a produção de um artigo científico. O artigo é, nesse sentido, mais um elo na **cadeia de traduções** realizadas pelo cientista. A partir de tal texto, novos textos podem ser produzidos, dando sequência à **cadeia de traduções**, pois cada novo texto **traduz** os textos anteriores.

Um texto de história da ciência, por exemplo, jamais será um espelho da “história da ciência real”, da mesma forma que o “conceito de fermento” não pode ser um espelho do “fermento real”. O livro de história **traduz** os artigos originais, da mesma forma que cada etapa do processo científico **traduz** o actante anterior. Neste trabalho, apresentamos uma análise de como artigos científicos **traduzem** outros artigos científicos e como livros didáticos **traduzem** artigos científicos, mostrando as incertezas e as variações que surgem a cada nova etapa. Como a natureza dessas traduções é intrinsecamente discursiva, adotamos um quadro teórico capaz de aprofundar tal questão: a Filosofia da Linguagem de Bakhtin (1997; 2016; 2017).

2.2. Filosofia da Linguagem de Bakhtin: Signos e Dialogia

Uma das características que distingue a produção intelectual de Bakhtin em relação às demais vertentes de estudo do discurso de sua época é a proposição de uma teoria materialista sobre a construção ideológica (conhecimento científico, religioso, moral, etc.), isto é, que não separa a construção ideológica da matéria. A visão platônica de que existe um mundo das ideias apartado do mundo material é impossibilitada por Bakhtin na medida em que “tudo que é ideológico é um signo. Sem signos não existe ideologia” (Bakhtin, 2006, p.29) e

“os signos também são objetos naturais, específicos, e, como vimos, todo produto natural, tecnológico ou de consumo pode tornar-se signo e adquirir, assim, um sentido que ultrapasse suas próprias particularidades. Um signo não existe apenas como parte de uma realidade; ele também reflete e refrata uma outra.” (Bakhtin, 2006, p.30).

Assim, as construções ideológicas só são possíveis a partir do **signo** e esse, para Bakhtin, é um corpo natural (material) cujo sentido ultrapassa suas próprias particularidades, **refletindo** e **refratando** outra realidade. Um pingente metálico no formato de uma estrela de seis pontas, por exemplo, é ao mesmo tempo um corpo natural e um signo, uma vez que remete a algo externo à própria estrela, nesse caso, o Judaísmo. A relação entre estrela de seis pontas e Judaísmo, entretanto, não pode ser considerada unívoca. Nem todas pessoas tem a mesma relação seja com o signo ou com a realidade a que ele remete. Existe uma incerteza envolvida nessa relação. Assim, não se pode considerar que o signo reflita (corresponda) univocamente à realidade; mas que, também, a “distorce” (refrata). Observamos que essa noção vai ao encontro da visão de mundo latouriana, para a qual signo e matéria são indissociáveis e para a qual a relação entre um signo e aquilo que ele significa sempre envolve a existência de variações e incertezas.

Outro ponto importante que destaca a obra bakhtiniana em relação às outras vertentes do discurso é que Bakhtin não está preocupado em estudar a língua encerrada nela mesma (perspectiva predominante na Linguística de Saussure); mas os atos concretos de comunicação. Nesta perspectiva, a comunicação verbal é composta por uma parte verbal propriamente, mas também por uma parte extraverbal, não exprimida, mas subentendida (Voloshinov, 1981) cujo conhecimento é condição indispensável para que se possa fazer sua interpretação.

Se não considerarmos a dimensão extraverbal, a dimensão verbal não pode ser compreendida. Por exemplo, uma expressão verbal como “Que pena!” pode adotar diferentes sentidos dependendo da situação em que está sendo expressa, podendo indicar tristeza (após ouvir um relato triste) ou ironia (após ouvir uma história supostamente triste). A análise de discurso passa, portanto, inevitavelmente por um reconhecimento do contexto extraverbal. Tal contexto pode ser pensado em um sentido mais direto (como o contexto em que a

comunicação está ocorrendo), principalmente, quando se fala de um ato de comunicação oral. Mas, como no caso do presente estudo, quando interpretamos **textos** (Wertsch, 2004), o contexto é dado por um conjunto de outros textos que dialogam entre si (Bakhtin, 2017). Para interpretarmos o sentido de um texto, podemos investigar, primeiramente, a que gênero do discurso ele pertence e qual sua relação com a esfera de ação humana em que é realizado; mas, também, com que outros textos (do mesmo gênero do discurso ou não) ele dialoga.

Cada campo de atuação humana, dependendo de seus objetivos e condições, lida com estruturas discursivas relativamente estáveis, o que chamamos de **gênero do discurso**. Sabemos, por exemplo, que o gênero de artigos científicos de Física aceita textos com tema, estrutura e estilo⁴⁸ relativamente determinados. Se alguém submeter um texto com um tema, estrutura ou estilo diferente do que é esperado, provavelmente, o artigo não será aceito. Assim, antes de produzir um artigo, o locutor já sabe quais possíveis temas, estruturas e estilos podem ser mais adequados. Em uma análise discursiva, pode-se fazer o processo reverso: identificamos o tema, a estrutura e o estilo do texto e, a partir disso, inferimos características do campo de atuação em que o texto foi apresentado. Por exemplo, a partir do estilo do discurso citado, pode-se inferir se determinado contexto tem tendências mais autoritárias (quando os limites do discurso citado são bem demarcados) ou liberais (quando o discurso citado se dissolve no discurso do locutor) (Bakhtin, 2006).

Ao mesmo tempo que o autor organiza seu texto pensando no campo de atuação em que ele está inserido, ele não o constrói a partir de um vazio absoluto, mas o faz em **dialogia** com textos anteriores que já presenciou.

Ademais, todo falante é por si mesmo um respondente em maior ou menor grau: porque ele não é o primeiro falante, o primeiro a ter violado o eterno silêncio do universo, e pressupõe não só a existência do sistema de língua que usa mas também de alguns enunciados antecedentes – dos seus alheios – com os quais o seu enunciado entra nessas ou naquelas relações (baseia-se neles, polemiza com eles, simplesmente os pressupõe já conhecidos do ouvinte) (Bakhtin, 2016, p.26).

⁴⁸ Estilo refere-se às escolhas lexicais, gramaticais e fraseológicas realizadas pelo autor (Bakhtin, 2016).

Assim, cada texto só existe em sua relação dialógica com textos anteriores e, também, antecipando a resposta que espera causar no seu campo de atuação. Interpretar um texto exige, portanto, traçar essas relações dialógicas, aproximando o texto de outros textos (Bakhtin, 2017), um trabalho potencialmente infinito: “O objeto das ciências humanas é o ser expressivo e falante. Esse ser nunca coincide consigo mesmo e por isso é inesgotável em seu sentido e significado.” (Bakhtin, 2017, p. 59). Isso, portanto, explicita outro caminho de análise do discurso para Bakhtin. Alguém que estudou Epistemologia, por exemplo, pode ler um texto científico e polemizá-lo a partir de suas leituras prévias, concordando, discordando, duvidando, de diferentes perspectivas que o texto científico pode apresentar. Nesse processo, o leitor está construindo uma interpretação sobre o texto, ou seja, criando um novo sentido para algo que é materialmente limitado (Bakhtin, 2017). Toda leitura, toda interpretação, nesse sentido é ativa, é preche de resposta (Bakhtin, 2016). Além da análise estilística, que permite entender a relação do texto com o seu campo de atuação, interpretar um texto é aproximá-lo de outros textos, explicitando as relações dialógicas entre eles.

3. Metodologia

Não se pode esperar uma sobreposição integral entre as filosofias bakhtiniana e latouriana. Como já mencionamos, enquanto Latour se preocupa em descrever a prática científica, Bakhtin ergue sua concepção de linguagem a partir de estudos literários. Apesar disso, elementos das obras de ambos autores apontam na mesma direção. Ambos apresentam uma filosofia antiplatônica, fundindo os signos com a matéria. Em tal concepção, o signo se relaciona com a realidade de forma incerta e imprecisa, refletindo-a e refratando-a (em termos bakhtinianos) ou traduzindo-a (em termos latourianos). Ainda, a proposta de Latour é estudar uma determinada prática sem fragmentar natureza, sociedade e linguagem, enquanto a metalinguística bakhtiniana permite, analisando a linguagem, falar sobre elementos extralinguísticos. Tais tangenciamentos permitem-nos explorar o discurso de livros didáticos, investigando como eles dialogam e traduzem

artigos científicos e quais implicações isso traz tanto para a natureza quanto para a sociedade.

Neste trabalho, o objeto de estudo são os capítulos de Física Quântica dos livros aprovados no PNLDEM-2015. Queremos entender como cada texto **traduz** as interpretações do fóton presentes nos artigos originais de Física Quântica. Quando o autor do livro didático fala sobre o fóton, não pode se esperar uma relação de correspondência entre sua visão e a dos artigos originais, mas é natural que haja **translações** de objetivos, de visões de mundo (ontológica e epistemológica) e de linguagem. Queremos saber quais **translações** são essas e como elas ocorrem. Quais as relações **dialógicas** existentes entre todos esses textos?

O que estamos fazendo, portanto, é interpretar os artigos originais e interpretar os livros didáticos. Ou seja, este artigo também é um texto, sujeito a todas as características e condições discutidas anteriormente. Isto significa que nossa visão não é a Verdade, mas é um relato (interpretativo) dos artigos e dos livros didáticos. Em resumo, deve-se levar em consideração três aspectos sobre este trabalho:

1. O método de análise desse artigo pode ser classificado, de forma genérica, como uma interpretação (Bakhtin, 2017); estamos interpretando textos como Bakhtin também o fazia (Bakhtin, 1984a, 1984b). A interpretação é uma construção. Isto é, ainda que o texto seja limitado (conjunto de caracteres sobre um papel) seus sentidos são potencialmente infinitos (Bakhtin, 2017). O sentido dado ao texto não depende só do texto (parte verbal), mas da situação em que o texto é lido e, principalmente, do conhecimento de outros textos com que o leitor já teve contato (Voloshinov, 1930). Por isso, Bakhtin afirma que o processo de interpretação envolve o encontro de duas consciências (Bakhtin, 2017). A interpretação enquanto método de análise consiste justamente em se valer dessa leitura ativa, que constrói relações dialógicas entre diferentes textos.
2. Como existem potencialmente infinitos textos fora do texto de análise, existem potencialmente infinitas interpretações de cada texto. Tudo que temos para oferecer é uma possível interpretação. O fato de que existem potencialmente infinitas interpretações sobre um texto não implica, entretanto, que todas elas

sejam equipolentes. Este artigo é uma tradução, e como tal, ele também faz parte de uma cadeia de traduções. Devemos buscar, em uma análise metalinguística, ser consistentes com a cadeia a que pertencemos. Se utilizarmos ideias inconsistentes com o referencial teórico ou com os próprios textos estudados, a tradução pode ficar comprometida.

3. É preciso limitar o escopo de textos que pretendemos usar para interpretar os textos em questão (o contexto). No caso desse trabalho, queremos analisar os textos dos livros em dialogia com as interpretações da Física Quântica. Por isso, na próxima seção, apresentamos uma possível história das interpretações do fóton. Uma vez estabelecido esse contexto discursivo, ou conjunto de cotextos (Latour, 1988), podemos ler os textos dos livros didáticos e perceber as relações dialógicas entre eles, isto é, como eles traduzem, transmitem, reexpressam, tensionam, omitem, modificam os textos originais. Na Figura 2, apresentamos um esquema que sintetiza a proposta dessa pesquisa.

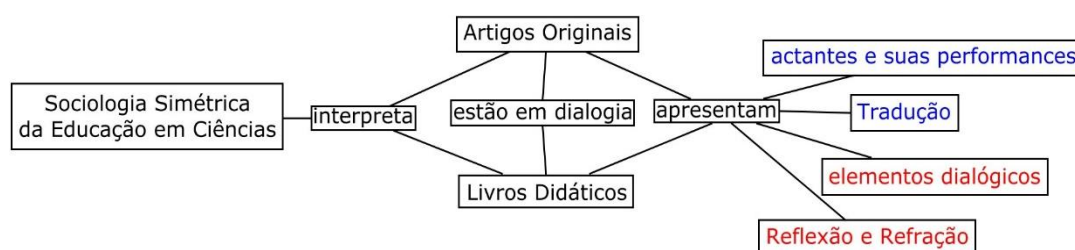


Figura 2. Esquema geral da pesquisa. Os termos em vermelho são trazidos da Filosofia da Linguagem de Bakhtin e os termos em azul dos Estudos da Ciência de Latour.

Nossa proposta de um estudo de sociologia simétrica passa pela interpretação de textos. No caso deste trabalho, os objeto-de-pesquisa são os textos sobre Física Quântica presentes nos livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM 2015 e os artigos originais de Física Quântica (pertencem a diferentes gêneros do discurso). Todos os textos falam sobre actantes e suas performances e apresentam processos de tradução e dialogia. A análise envolve traçar e descrever esses processos.

Selecionamos os 14 livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM 2015 e identificamos o capítulo específico sobre Física Quântica (ou Física Moderna) no volume 3 de cada coleção. Antes de começar uma interpretação detalhada dos textos, é recomendado que se faça uma primeira leitura das obras, para que se possa ter uma noção mais clara dos textos tratados e com quais outros textos eles dialogam (Veneu *et al.*, 2015). Nesta etapa da pesquisa, pode-se, por exemplo, classificar os textos em diferentes categorias dependendo de suas proximidades estilísticas. Depois disso, realiza-se, então, a interpretação de cada texto de forma aprofundada.

4. Uma Possível História do Fóton – As Interpretações Filosóficas como Tradução⁴⁹

O primeiro registro do nascimento fóton⁵⁰ no século XX não se deu em um laboratório ou durante qualquer atividade empírica. O fóton não foi, na sua gênese, detectado explicitamente em algum instrumento de medida. Sua articulação no mundo surge pela comparação teórica da variação de entropia de dois actantes diferentes (o gás ideal e a radiação) em um artigo científico de Albert Einstein (1905).

O artigo de Einstein **traduz** consequências das teorias da época e de resultados experimentais previamente obtidos. Essas teorias e experimentos não foram criados por Einstein, eles já existiam. Einstein nos diz aquilo que os experimentos “querem” dizer, da mesma forma que um senador, ao falar, expressa a voz das pessoas que representa. Einstein demonstra que a entropia da radiação eletromagnética monocromática varia com o volume da mesma forma que varia a entropia de um gás ideal; mas ele afirma muito mais do que isso (da mesma forma que um senador pode afirmar muito mais do que o povo gostaria que ele falasse), ele afirma que a radiação eletromagnética é análoga a

⁴⁹ O objetivo desta seção é apresentar ao leitor uma possível interpretação da história do fóton explicitando os processos de tradução existentes na produção acadêmica e apresentar a relação existente entre os múltiplos fótons da história. Nosso objetivo não é apresentar a versão mais completa ou mais precisa da história do fóton, mas evidenciar que, a partir de um estudo de dados historiográficos primários, é possível haver multiplicidade de sentidos. A história contada interpreta a apresentação de Jammer (1974) e Pessoa Jr. (2003).

⁵⁰ Para Latour, no momento em que a rede sociotécnica é articulada, o fóton é construído como um ente real e não um mero conceito sem realidade.

um gás ideal. Surge, nas palavras de Einstein, algo que as teorias da época, sozinhas, não poderiam dizer.

Nesse sentido, o autor do artigo é Einstein, mas o autor do conceito fóton não é somente Einstein. É, também, a Física Estatística de Boltzmann, a Termodinâmica, os gases ideais, o Efeito Fotoelétrico, a Termoluminescência, os gases ionizados. Sem Einstein, esses actantes não nos diriam nada sobre o fóton, pois são mudos; mas sem eles, Einstein também não poderia nos dizer nada. Nesse caso, humanos e não-humanos se medeiam uns aos outros para produzir um novo actante. Nessa **tradução**, há mais do que a própria fala dos fatos (os fatos não falam por si mesmos). A **voz** de Einstein se sobrepõe à dos objetos. A grande inovação de Einstein é justamente a interpretação que ele oferece para a equação que relaciona energia e frequência ($E = hf$). É justamente a tradução de Einstein que marca, tradicionalmente, o início da Física do século XX (Greenstein & Zajonc, 1997).

Os artigos subsequentes sobre o fóton (na época ainda chamado de *quantum*) falam da **performance** desse **actante** e de sua associação a diferentes **actantes**. Até a segunda década do século XX, o comportamento corpuscular era toda a **performance** relatada nas narrativas do fóton (Martins & Rosa, 2014) e, portanto, era a performance corpuscular que definia sua essência. Arthur Compton, por exemplo, narra as colisões entre fótons e elétrons (Compton, 1923). O seu fóton, entretanto, tem exatamente a mesma **performance** do fóton de Einstein? Na verdade, não! O fóton de Compton transfere *momentum*⁵¹, o que o *quantum* de 1905 não fazia. Isso quer dizer que o fóton de Compton e o de Einstein não guardam relação nenhuma? Também não. O fóton de Einstein e o de Compton guardam entre si uma relação **de tradução**, pois são dois **actantes híbridos** de uma mesma **cadeia de transformações** (figura 1). Essa relação de **tradução** entre os dois fótons é refletida nos textos na medida em que a narrativa sobre o fóton de Compton **reflete** o fóton de Einstein, pois ambos são corpúsculos; mas a **refrata** na medida que apresenta uma nova **performance** – a transferência de momentum.

Em 1922, De Broglie (1922), valendo-se de recursos teóricos, dá andamento à cadeia de traduções dos fótons corpusculares, dotando-os não

⁵¹ Stark foi o primeiro a dotar o fóton de momentum, o que foi considerado um grande erro por Einstein (Martins & Rosa, 2014).

somente de momentum; mas, também, de massa. Esses novos actantes viajariam a uma velocidade levemente abaixo da velocidade limite estabelecida pela teoria da relatividade e, no referencial próprio, seriam idênticos. Em 1923, De Broglie (1923) propõe uma nova visão, sugerindo uma teoria relativística para todas as partículas (inclusive os fótons) associando-as a um grupo de ondas, cuja velocidade de fase seria superior à velocidade da luz e cuja velocidade de grupo seria inferior à velocidade da luz e idêntica à da partícula. Essa é a primeira proposta verdadeiramente dual (Martins & Rosa, 2014), visto que, até então, Einstein havia proposto o quantum individualmente como um ente corpuscular, e a radiação (escala macroscópica) é que teria propriedades ondulatórias.

Esse cenário profícuo para a estabilização da **cadeia de traduções** do fóton, seja ele de natureza corpuscular ou dual, entretanto, muda com a proposta da Física Quântica de Schrödinger e seu principal **actante**, a função de onda⁵² (Schrodinger, 1928). Como um átomo emite radiação eletromagnética cuja energia equivale à diferença dos dois autovalores associados aos autoestados de energia, Schrödinger **traduziu** sua função de onda como a própria natureza da radiação eletromagnética (Jammer, 1974) e, com isso, foi capaz de **traduzir** o Efeito Stark e o Efeito Zeeman entendendo a radiação eletromagnética como onda (e não partícula). A identificação da função de onda como proposta por Schrödinger, entretanto, implica, necessariamente, a desestabilização da cadeia do fóton.

Para dar conta das propriedades localizadas da radiação, Schrödinger propõe o conceito de **pacote de onda**⁵³. Além disso, Schrödinger contribuiu para a **desestabilização da cadeia** corpuscular da radiação, explicando o Efeito Compton com um modelo semiclassical com radiação contínua (Schrodinger, 1927; Greenstein & Zajonc, 1997). Seguindo Jammer (1974), a proposta de Schrödinger, entretanto, possuía sérios problemas: 1) a onda se propaga no

⁵² As interpretações da função de onda, tradicionalmente, foram propostas no âmbito da física quântica não relativística, o que, em princípio, não englobaria fótons. Existem, entretanto, propostas recentes no sentido de desenvolver uma função de onda para o fóton (Bialynicki-Birula, 1994, 1996)- o que permite a extensão das interpretações. Ademais, apesar de, formalmente, não tratar de fótons, a interpretação da função de onda é, historicamente, relacionada à interpretação do campo eletromagnético em trabalhos como o de Schrödinger e Born (como discutiremos). Tal relação é tão íntima que Pessoa Jr. (2003) usa as interpretações apresentadas para falar de fótons indistintamente.

⁵³ A função de onda de uma partícula pode ser descrita ajustando-se os coeficientes de sua expansão em série de Fourier. Nesse caso, o comportamento corpuscular é reduzido de um *status ontológico* para um mero caso particular de um conjunto de configurações possíveis para a função de onda.

espaço de fase e não no espaço geométrico; 2) a onda é complexa; 3) a onda passa por mudanças descontínuas e abruptas em processos de medidas; 4) o comportamento da onda depende da base utilizada no Espaço de Hilbert.

Também no ano de 1926, Born propõe sua **tradução** da Equação de Schrödinger (Born, 1926) para objetos quânticos (Jammer, 1974). Entendendos-os como partículas, a função de onda **expressaria** o nosso conhecimento sobre sua posição ao longo do tempo. De acordo com Born, o módulo quadrado da função de onda fornece a densidade de probabilidade da partícula. Em contraposição a tudo que havia sido apresentado, Born **reexpressa** a equação de Schrödinger, introduzindo uma visão de mundo idealista na medida em que atribui a uma equação física informações sobre nosso conhecimento e não sobre a realidade física.

Born afirma ter usado a ideia de campo que guia os fótons usada por Einstein em 1909 (Jammer, 1974); mas Einstein não havia atribuído tal significado ao seu resultado, o que caracteriza mais um exemplo de **refração** de um texto⁵⁴. Ainda, Born utiliza o formalismo de Schrödinger sem aderir à sua interpretação. Em resumo, ele **traduz** as ideias de Einstein e o formalismo de Schrödinger em uma visão nova, **hibridizando-as e refratando-as**: o movimento da partícula é probabilístico, sendo a probabilidade que obedece uma equação determinista (a evolução da função de onda é determinista e é dada pela equação de Schrödinger no caso não-relativístico). Os objetos quânticos recebem uma nova articulação: se a função de onda representa nosso conhecimento sobre a partícula, seu colapso representa uma mudança repentina em nosso conhecimento. Entretanto, isto é difícil de se articular com os experimentos de fenda dupla cujos resultados parecem se articular mais facilmente com uma noção de onda como algo que não depende só do nosso conhecimento (Jammer, 1974).

Em 1927, a **refração e reflexão** dos discursos anteriores levou à proposição de outra síntese, de cunho positivista, pautada no conceito de Complementaridade (Bohr, 1928). Para Bohr, a realidade tem dois quadros de explicação (o corpuscular ou o ondulatório). Dependendo do arranjo

⁵⁴ Nesse processo de refração, pode-se perceber como o avanço científico acontece apesar das contradições que ele pode levar à razão, o que lembra a noção de contraindução de Feyerabend (2011): Born se inspira na noção de um campo que guia os fótons proposta por Einstein, em um caso relativístico, para interpretar uma equação não-relativística.

experimental, um desses quadros é o mais apropriado (Pessoa Jr., 2003). Essa posição, de viés positivista e antirrealista, é para Bohr uma característica da própria realidade e não só da Física Quântica, podendo ser percebida em vários âmbitos do conhecimento humano. Outros pensadores se opuseram à visão positivista de Bohr, **articulando**, novamente, objetos quânticos enquanto partícula, principalmente no contexto de uma interpretação estatística - com diferentes **refrações** da proposta de Born. Podemos incluir, nesse grupo, as propostas de Popper (1957) e Ballentine (1970).

Essa curta história das interpretações filosóficas do fóton, a qual se mistura à própria história da função de onda e dos demais objetos quânticos, nos mostra pelo menos dois elementos fundamentais sobre o conhecimento científico. O primeiro é que não é possível encontrar A Física Quântica ou O fóton. Quando alguém fala de fótons, precisa nos dizer qual é sua interpretação, ou melhor, qual **tradução** está fazendo do formalismo e dos experimentos. Não existe uma visão única, a científica, contra a qual se estabelecem as visões pseudocientíficas. Aquilo que, geralmente, designamos por Física Quântica configura-se como um grupo extremamente heterogêneo de traduções que são defendidas em textos em **articulação dialógica** (alguns em concordância, outros em oposição, outros em síntese dialética) e que se comunicam por processos de **reflexão e refração**. O segundo elemento, consequência do primeiro, é a noção de que nenhuma visão é totalmente inovadora. Ela sempre se posiciona em **dialogia** com os textos anteriores (seja confirmando, negando, ou propondo uma síntese) - o que chamamos de **dimensão refletora** do discurso. Por outro lado, nenhuma visão é uma cópia das visões anteriores, elas sempre traduzem as visões anteriores acrescentam aspectos anteriormente inexplorados - o que chamamos de **dimensão refratora** do discurso.

5. A Física Quântica dos Livros Didáticos

Ao fazer uma primeira leitura dos textos selecionados, etapa discutida na Metodologia, identificamos que os quatorze livros poderiam ser classificados em três categorias distintas conforme a sua relação com as Interpretações Filosóficas do Fóton. Como os livros de cada categoria são muito semelhantes, optamos por apresentar, na análise metalinguística, um livro exemplar de cada

grupo. A seguir, apresentamos as três categorias bem como as obras classificadas em cada uma:

- 1) Não reconhece explicitamente a existência de diferentes interpretações e não adere a uma interpretação específica. Onze livros foram classificados nessa categoria, a dizer, os livros de Yamamoto e Fuke (2013), Guimarães *et al* (2013), Barreto e Xavier (2013), Luz e Álvares (2013), Bonjorno *et al.* (2013), Gonçalves Filho e Toscano (2013), Doca, Bôas e Biscuola (2013), Menezes *et al* (2013), Stefanovits (2013), Sant'Anna *et al.* (2013) e Torres *et al.* (2013).
- 2) Reconhece explicitamente a existência de diferentes interpretações. Dois livros foram classificados nessa categoria, a dizer, os livros de Artuso e Wublewski (2013), Oliveira *et al.* (2013).
- 3) Adere a uma única interpretação e a defende como única possibilidade. Apenas o livro de Gaspar (2013) foi classificado nessa categoria.

A **tradução** entre o livro didático e o artigo científico apresenta-se, dessa forma, como um problema típico da Filosofia da Linguagem de Bakhtin, a dizer, o problema do **discurso citado** (Bakhtin, 2006). 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 gramaticas e fraseológicas) está intimamente ligada com a visão de mundo do autor. Como o texto é sempre construído em relação aos outros textos, todos os livros didáticos se relacionam dialogicamente com os artigos originais, mas alguns explicitam essa relação dialógica enquanto outros a omitem. Ao longo da análise bakhtiniana, podemos inferir quais as implicações epistemológicas e didáticas de cada opção.

a) Textos que não reconhecem explicitamente a existência de diferentes interpretações e não aderem a uma interpretação específica

No primeiro grupo, em que está a maioria dos livros didáticos de física aprovados pelo PNLDEM 2015, encontram-se os textos que não discutem explicitamente a existência de diferentes interpretações do fóton. Isso não significa que eles não adotam as interpretações, mas somente que o discurso

citado tem suas fronteiras diluídas ao longo do discurso (Bakhtin, 2006). Escolhemos apresentar a obra de Bonjorno *et al.*(2013), pois esse foi o livro mais distribuído em escolas públicas no Brasil de acordo com o portal do PNLD.

A história contada por Bonjorno *et al.* (2013) começa com Planck:

Em outras palavras, segundo Planck, os osciladores vibrantes na frequência f emitem energia E em quantidades discretas ou quantizadas. A quantidade mínima de energia emitida, ou seja, o *quantum*, seria um pacote de energia hf . Os “pacotes de energia” poderiam assumir valores dados por $E = nhf$ (Bonjorno et al., 2013, p. 244).

De acordo com Bakhtin, as escolhas gramaticais de um autor são indícios de sua visão de mundo, de forma que o estilo de um autor não pode ser analisado separadamente do tema (Bakhtin, 2016). Nesse trecho, o autor usa os verbos no futuro do pretérito (“seria”, “poderiam”), dando uma indicação muito sutil de que aquilo sobre o qual está falando vai ser modificado adiante. Ou seja, ainda que eles **reflitam** a concepção original de Planck, o período verbal do tempo que introduz essa concepção enfraquece a voz de Planck. Nesse caso, o tempo verbal funciona como um modulador da intensidade daquilo que quer ser dito. Além disso, os autores não explicam como Planck chegou a suas ideias, sua **tradução** envolve uma simples declaração sobre o que Planck obteve. Assim, a **tradução** do artigo original pelo livro didático envolve o apagamento da construção teórica de Planck e a veiculação de uma única ideia em detrimento de toda obra. Toda a construção de Planck fica resumida em poucas linhas – um processo chamado por Latour de **blackboxing**. Na sequência, os autores falam sobre Einstein:

Com base na ideia de *quantum* de Planck, Einstein estabeleceu que a energia da radiação incidente concentrava-se em “partículas”, que passaram a ser denominadas **fótons**. Ele sugeriu que cada fóton transporta um *quantum* de energia dado por $E = hf$. Ou seja, em lugar de se espalhar nas frentes de ondas, como estabelecia a teoria eletromagnética, a energia é transportada em pacotes discretos. (Bonjorno et al., 2013, p. 248)

Ao falar de Einstein, os autores se alinham à sua visão corpuscular. Ao fazer isso, eles mudam o tempo verbal que vinham utilizando, de futuro do

pretérito para o pretérito e, depois, para o presente, o que revela um fortalecimento da visão de Einstein em relação à de Planck (que não concordava com a concepção do fóton). Ainda, o verbo que os autores utilizam para inserir o discurso de Einstein é bastante incisivo: eles não afirmam que Einstein sugeriu ou propôs o fóton, mas que Einstein o “estabeleceu”, sem explicar como isso foi feito, ou seja, mais uma vez, a **dialogia** se dá por processo de **blackboxing**. A única menção que fazem à construção de Einstein é a informação de que ele partiu da ideia de Planck, o que não está de acordo com o artigo original (Einstein, 1905). A associação do conceito de fóton com a proposta de Planck só começou um ano depois do seu primeiro artigo (Einstein, 1906) e seguiu nas décadas subsequentes. Aparentemente, os autores adotam essa releitura do próprio Einstein e não a versão do artigo original.

Ademais, os autores não se preocupam, nesse momento, em conciliar o aspecto corpuscular do fóton com o fato de sua energia depender da frequência (grandeza ondulatória). Essa contradição é simplesmente silenciada. Ou seja, introduz-se a nova Física como algo que progride em relação à Física Clássica, mas não se discute os seus problemas. Apesar de não explicitar a questão da conciliação partícula-onda, os autores não chamam o fóton de corpúsculo, mas de “pacotes discretos”, sendo que o termo pacote de onda aparece na proposta de Schrödinger justamente para conciliar uma partícula não relativística localizável com sua natureza ondulatória. Ou seja, os autores parecem perceber a contradição, mas preferem não a revelar. Isso é um indício de que prevalece, no discurso didático, o intento de validar o discurso científico ao invés de apresentá-lo com sua complexidade e possíveis contradições. Na sequência, os autores falam do Efeito Compton:

Compton compreendeu que ambos apresentaram comportamento semelhante ao que acontece quando ocorre a colisão de bolas de bilhar. Isso pode ser interpretado como uma indicação da natureza corpuscular do raio X. Após o choque, as bolas de bilhar continuam sendo as mesmas, mas no caso do experimento com os raios X, Compton descobriu que o comprimento de onda do raio X espalhado é maior que o incidente. (Bonjorno et al., 2013, p. 253)

Neste primeiro momento, os autores apresentam que a proposta de Compton é “um indicativo da natureza corpuscular”, e, na sequência, aumentam a confiabilidade do trabalho de Compton:

O efeito Compton confirma que os fótons se comportam como partícula apesar de sua energia ser descrita em função do comprimento de onda associada a eles - no caso, os raios X. (Bonjorno et al., 2013, p. 253)

Aquilo que era apenas um indicativo, no primeiro trecho, se torna uma confirmação no segundo. Os autores, portanto, seguem reforçando a natureza corpuscular da radiação, interpretando o fóton como partícula. Para o leitor desavisado, o texto, até o momento, o conduz à concepção de que o fóton é uma partícula. O processo de **blackboxing** impede que se visualize a construção dos conceitos, restando ao leitor a opção de aceitar as ideias do autor. Esse posicionamento autoritário se reflete no uso de verbos como “confirma” de forte viés positivista. No próximo trecho, a visão corpuscular é novamente reiterada:

Fenômenos como o efeito fotoelétrico e o efeito Compton evidenciaram que as radiações têm comportamento corpuscular, uma vez que podem ser explicadas com o conceito de fóton ao qual está incorporada uma quantidade de energia proporcional à frequência da fonte emissora. Assim, podemos afirmar que as radiações eletromagnéticas consistem num conjunto discreto de pacotes de energia - corpúsculos ou fótons. (Bonjorno et al., 2013, p. 253)

O discurso dos autores até esse momento expressa um forte viés essencialista em prol da concepção corpuscular da luz, fortalecida por uma escolha lexical positivista. O conceito de frequência é atribuído à fonte emissora (como se não fosse propriedade da partícula) – o que parece sugerir o fim do conflito. No seguinte trecho, entretanto, os autores se contrapõem ao que vem sendo discutido:

Por outro lado, fenômenos como difração e interferência, que ocorrem com essas radiações, são descritos teórica e experimentalmente por uma natureza ondulatória. (Bonjorno et al., 2013, p. 253)

Até então, os autores haviam adotado um viés essencialista para falar dos corpúsculos (ou seja, a luz é constituída de partículas). Nesse momento, ao falar

dos fenômenos ondulatórios, eles chamam de “descrição”, ou seja, rebaixam a concepção ondulatória a uma visão instrumental⁵⁵.

Além disso, deve-se notar que Bonjorno *et al* contrapõem a visão corpuscular dos fenômenos de absorção e emissão de fótons com efeitos de interferência e difração da luz. Essa é a concepção original de Einstein em 1905, a qual, conforme discutido anteriormente, não é uma visão dual e, portanto, não costuma ser chamada de Física Quântica. O problema da dualidade onda-partícula surge somente quando um único fóton (cuja natureza esperada seria corpuscular, em uma visão de senso comum) apresenta fenômenos de interferência e difração. Ou seja, na Física Quântica não há uma contraposição entre visão ondulatória macroscópica e visão corpuscular microscópica. Na Física Quântica, há a dualidade de comportamento corpuscular e ondulatório para o mesmo ente, na mesma escala. A Interpretação de Copenhague, por exemplo, tenta explicar ou resolver tal dualidade e não o conflito entre fóton corpuscular *versus* radiação contínua. Ignorando isso, os autores afirmam:

Por isso, seguimos o que estabelece o princípio da complementaridade, enunciado em 1929 por Niels Bohr, que considera a necessidade de duas teorias para estabelecer o comportamento duplo das radiações, embora nunca seja necessário usar ambos os modelos ao mesmo tempo para descrever determinados fenômenos. (Bonjorno et al., 2013, p. 254)

Os autores, portanto, adotam a visão corpuscular de Einstein ao longo de todo o texto e explicam o comportamento ondulatório da radiação usando a Interpretação de Copenhague (que não era aceita por Einstein) para um problema que não é da Física Quântica. Assim, a visão dos autores é uma interpretação própria da natureza da luz, que não corresponde nem à visão de Einstein, nem à de Copenhague, mas é uma hibridização dessas visões⁵⁶. Além disso, os autores afirmam na sequência que

Niels Bohr aceitou a ideia de que o comportamento ondulatório e corpuscular da matéria e da luz são duas faces do mesmo fenômeno

⁵⁵ Historicamente, a Física tem suas origens associadas a uma visão essencialista, segundo a qual a ciência descobre quais são as essências da realidade. A visão instrumentalista surge, posteriormente, caracterizando a ciência como um instrumento para descrever a realidade, mas incapaz de descobrir suas essências (Popper, 2008).

⁵⁶ Isso também é feito por todos os outros livros dessa categoria com exceção das obras de Menezes et al (2013) e Sant’Anna et al (2013).

básico e não dois tipos de eventos distintos. O comportamento ondulatório ou corpuscular são meios complementares de ver o mesmo fenômeno. Não é a luz que muda suas características, mas a forma como nós decidimos interpretá-la. (Bonjorno et al., 2013, p. 254)

Eles apresentam, portanto, o Princípio da Complementaridade jogando sobre a teoria os problemas de descrição, aderindo novamente a uma visão instrumentalista – o que se contrapõe à visão essencialista adotada em quase todo o texto. Os autores afirmam que somos nós que decidimos com interpretá-la, o que sugere a inserção de um grande grau de subjetividade. A análise bakhtiniana deste texto nos permite sintetizar os seguintes resultados sobre a primeira categoria:

- i) O texto didático se articula (ou dialoga) com os artigos originais por um processo de **blackboxing**.
- ii) Os autores se alinham a uma **voz** corpuscular ao longo de quase todo o texto. O **actante** fóton apresentado pelos livros é muito próximo, em termos de sua **performance**, ao estabelecido por Einstein (início do século XX), uma vez que a **performance** corpuscular do fóton é contraposta à **performance** ondulatória da radiação. Ou seja, para os autores, o fóton único não apresenta comportamento ondulatório da mesma forma que o fóton de Einstein.
- iii) Para explicar a dicotomia fóton-radiação (diferentes escalas), eles usam a Interpretação de Copenhague (que não era aceita por Einstein), a qual, originalmente, deveria explicar a dicotomia partícula-onda para o fóton.
- iv) As conclusões ii e iii indicam que, apesar de dialogarem com os artigos originais, a visão sobre o fóton dos autores não corresponde nem à visão de Einstein nem à de Copenhague, **hibridizando-as** em um discurso próprio.
- v) No processo de tradução, a intenção dos autores pode ser percebida como a de transmitir a noção de ciência neutra, universal e absoluta – o que é refletido na escolha lexical de cunho positivista, no silenciamento das controvérsias da interpretação e no próprio processo de **blackboxing**. Assim, ainda que esses livros sejam voltados para a Educação Básica, percebe-se neles a mesma ideologia didática dos manuais de instrução do ensino superior: defender um paradigma de forma acrítica e instrumentalista, sem se preocupar com a construção das teorias, mas somente sua aplicação.

vi) Apesar de defenderem um paradigma, a abordagem dos autores não **dialoga** com a concepção contemporânea de Física Quântica (incluindo a dualidade onda-partícula do fóton), estando relacionada somente com os problemas teóricos das duas primeiras décadas do século XX. O paradigma defendido pelos livros deixou de ser hegemônico há mais de oito décadas pela comunidade científica.

b) Textos que reconhecem explicitamente a existência de diferentes interpretações

Na segunda categoria, encontram-se apenas dois livros. Apresentamos a análise do texto de Oliveira (2013), pois esse é o que apresenta o maior intervalo temporal da história da radiação eletromagnética, retomando o problema de Newton e Huygens (Lima, Ostermann e Cavalcanti, 2017d). Se, por um lado, uma apresentação com uma janela temporal maior é interessante, pois permite a visualização da ciência em um contexto maior, por outro lado significa que houve maior supressão de informações. Isto significa que o processo de **blackboxing** ocorre de forma mais intensa. Ainda, deve-se notar que os dois livros desta categoria adotam a mesma estratégia para realizar a inserção das interpretações filosóficas: primeiro, eles fazem uma abordagem cronológica como os livros da primeira categoria e, ao final, acrescentam um texto sobre o Interferômetro de Mach Zehnder e as possíveis interpretações que ele desperta, apresentando uma abordagem provavelmente inspirada na proposta de Pessoa Jr. (2003).

A história da luz, no âmbito da Física Moderna, é contada, como de costume, a partir da apresentação do Efeito Fotoelétrico segundo a visão clássica da radiação eletromagnética. Na sequência, os autores apresentam uma seção com título: “Interpretação de Einstein: luz como partícula.” O próprio título sugere a interpretação corpuscular da radiação, o que concorda com o que está presente no artigo de Einstein (1905). Os autores comentam:

Em 1905, Einstein propôs a teoria do efeito fotoelétrico, que concordava com os resultados experimentais até então obtidos e posteriormente com medidas mais precisas por outros pesquisadores. Ele afirmou que a radiação eletromagnética de frequência f continha “pacotes” de energia de intensidade diretamente proporcional à sua frequência. A

esses “pacotes” deu-se posteriormente o nome de fótons. (Oliveira *et al.*, 2013, p. 230).

Se, nos artigos originais, o autor **traduzia** as equações e os fenômenos; no livro didático, o autor **traduz** os textos dos cientistas. Isso significa que ele sobrepõe a sua **voz** à **voz** dos cientistas. No trecho acima, Oliveira et al (2013) chamam de “teoria” o que Einstein chamava de “hipótese”, e dão aos *quanta* de Einstein o rótulo de “pacote de energia”, sendo que o termo “pacote” pode ter sido importado da interpretação de Schrödinger (que traz a ideia de pacote de ondas).

Além disso, os autores dizem que a radiação eletromagnética “continha” pacotes, enquanto o termo usado por Einstein foi “consiste” de quanta. Essa sutil diferença sugere que há algo a mais do que os pacotes (talvez uma influência da visão dualista-realista, mas que não fica clara), o que não corresponde à visão original de Einstein.

Estes são partículas em constante movimento que, no vácuo, se propagam com velocidade da luz c e não possuem massa. Podemos associar aos fótons energia E e quantidade de movimento Q . (Oliveira *et al.*, 2013, p. 230)

Comparando esse trecho com o anterior, observamos que existe uma variação ontológica: no trecho anterior, os autores falam o que Einstein pensava (“Einstein propôs”, “Ele afirmou que”), mas nesse trecho eles não estão mais falando da visão de Einstein, mas sobre o que a realidade é (“Estes são partículas”). Houve uma promoção ontológica. Antes o fóton era um elemento de um discurso de um cientista, agora, ele já é uma realidade.

Além disso, os autores **hibridizam** sua visão atual sobre o fóton com a visão original de Einstein, dotando-o de quantidade de movimento, o que Einstein não havia feito em 1905. Depois de discutir o Efeito Fotoelétrico, identificando o fóton como uma partícula (e já tendo discutido experimentos ondulatórios da radiação), os autores apresentam uma seção intitulada “O que é Luz Afinal”. O título da seção sugere um forte viés essencialista.

Dessa maneira, com a proposta corpuscular de Einstein, devemos voltar a considerar a natureza da luz particulada? Mais ou menos. O que devemos ter em mente é que precisamos das duas representações para tratar da natureza da luz. Em alguns fenômenos, ela se apresenta

como onda, em outros como partícula. É o que chamamos em Física de natureza dual da luz, ou ainda, de **dualidade onda-partícula**. (Oliveira *et al.*, 2013, p. 233)

Nesse trecho, os autores parecem se alinhar à visão da Complementaridade de Bohr, ao apresentar a existência de dois quadros distintos, mas necessários para explicação da realidade. Algo importante a ser notado é que todo texto é construído com base em textos anteriores (Bakhtin, 2016), e a forma como são citados está intimamente ligada ao projeto de fala do locutor. No trecho acima, a visão corpuscular é chamada de “visão corpuscular de Einstein”, mas a visão da Complementaridade não é atribuída a nenhum autor. Isso sugere, mais uma vez, uma diferenciação ontológica: antes, tínhamos uma proposta, agora temos a realidade. Essa “visão real e verdadeira” é **traduzida**, mais uma vez, por argumento de autoridade: se antes a proposta era de Einstein, agora a visão é da “Física”. Além de autoritário, esse discurso silencia a existência de diferentes interpretações. Os defensores da visão corpuscular não concordariam com a necessidade de dois quadros de explicação, mas por isso eles não são parte da Física? Na sequência, os autores completam sua explicação:

É importante destacar que a dificuldade na representação da luz não é um problema da própria luz, mas dos meios que a Ciência, e em particular a Física, tem em descrever fenômenos e situações. Parece razoável assumir uma natureza dual para a luz. Ela pode se apresentar como onda ou como partícula, dependendo do fenômeno que está sendo estudado e de como se impõe a medida sobre o objeto de estudo. É importante que o modelo é que se adapta à situação, não é a luz que se transforma em partícula. (Oliveira *et al.*, 2013, p. 233)

Esse trecho possui um forte viés instrumentalista, o que contraria todo o restante do texto e, inclusive o título da seção. Até o momento, os autores queriam explicar o que é a luz, agora delegam o problema para a teoria. Na sequência, os autores explicitam a visão de Bohr (que já vinha sendo veiculada):

A dupla natureza da luz foi resultado direto da proposição de Einstein sobre a quantização da radiação eletromagnética e a proposição do fóton. O físico dinamarquês Niels Bohr (1855-1962) propôs o princípio da Complementaridade, considerando que a luz se comporta como

partícula ou como onda. Nunca como ambas simultaneamente.
(Oliveira *et al.*, 2013, p. 234)

Ao dizer isso, os autores suprimem uma discussão importante: a visão de Einstein em 1905 não era dual (Martins & Rosa, 2014) – a visão de Einstein era “clássica” – a radiação era composta por partículas. A dualidade só aparece estruturada em uma proposta teórica em De Broglie (Martins & Rosa, 2014). Isso, mais uma vez, exemplifica uma **tradução** da história em que visões subsequentes são sobrepostas à visão original. Na sequência, mais um trecho instrumentalista:

Nesse sentido, a dualidade onda-partícula e a questão sobre a Relatividade do espaço e do tempo servem de alerta aos limites de nosso intelecto em lidar com a complexidade da natureza além do mundo cotidiano. (Oliveira *et al.*, 2013, p. 234)

Essa é novamente uma afirmação que se opõe à visão essencialista do restante do texto. De acordo com ela, os resultados de uma teoria física nos dão informação sobre o intelecto humano e não sobre a realidade – o que implica, além de instrumentalismo, idealismo (a Física não fala da realidade, mas do conhecimento). Tal afirmação é inesperada, visto que o primeiro autor do livro possui artigos em que sugere a implementação da Epistemologia de Mario Bunge no Ensino de Física (Pietrocola, 1999), que é explicitamente contra tal tipo de interpretação de teorias físicas (Bunge, 2013). Nessa mesma seção, os autores abrem um *box* chamado “Explorando a situação” em que apresentam o Interferômetro de Mach-Zehnder na versão clássica e quântica e o seguinte trecho:

Assim, como no caso do feixe de luz monocromática, o fóton não chega ao detector D2. Supondo que o fóton esteja em A, podemos retirar o vidro semirrefletor S1, supondo que ele esteja em B, substituir o vidro semirrefletor S1 por um espelho. Em qualquer dos experimentos, ele chega ao detector D1. Sendo o fóton uma partícula, como isso é possível? (...) Esse resultado pode ter quatro interpretações: ondulatória, corpuscular, dualista realista e complementaridade. De acordo com a interpretação ondulatória, um fóton é um “pacote de onda” que talvez, em S1 se divida em dois “meio-fótons”, que se recombina

em S2. No entanto, até hoje não se detectou um meio fóton. (Oliveira *et al.*, 2013, p. 234)

Os autores estão usando um grupo de classificações para interpretações filosóficas do fóton provavelmente inspirados no livro de Pessoa Jr. (2003). Sobre a interpretação corpuscular, os autores afirmam:

Na interpretação corpuscular, sendo o fóton uma partícula, não há uma boa explicação para o fenômeno observado. Pode-se tentar justificar dizendo que a lógica do mundo quântico é diferente do mundo macroscópico e o fóton pode ser e não ser uma partícula ao mesmo tempo. (Oliveira *et al.*, 2013, p. 235)

Após dizer que a interpretação corpuscular compreende o fóton como partícula, o autor diz que a explicação sob essa ótica é a de que o fóton pode não ser partícula, o que não está em consonância com o texto original de Pessoa Jr (2003). De acordo com essa interpretação, o fóton é partícula, mas ele pode estar ou não em dois caminhos diferentes.

Originalmente formulada por Louis de Broglie e redescoberta por David Bohm, a interpretação dualista realista explica que a luz se divide em duas partes: uma partícula e uma onda, com a posição da partícula dependendo da frequência da onda. (Oliveira *et al.*, 2013, p. 235)

Neste trecho, os autores apresentam uma proposição inconsistente com a interpretação de Born, segundo a qual a posição mais provável da partícula depende da amplitude da função de onda e não de sua frequência. Por fim, os autores explicam a visão da complementaridade:

Segundo a interpretação proposta por Niels Bohr, a da complementaridade, a luz pode ser ou onda ou partícula, nunca as duas ao mesmo tempo. Desse modo, o resultado desse experimento indica um fenômeno ondulatório, no qual a luz não segue um caminho bem definido. Assim, não faz sentido perguntar onde está o fóton. (Oliveira *et al.*, 2013, p. 235).

De uma forma geral, podemos resumir que os textos que apresentam as interpretações do fóton explicitamente têm as seguintes características:

- vii) A introdução das interpretações é feita no final do texto e não dialoga com o restante do capítulo. Em outras palavras, o aluno é exposto a um texto inconsistente ontológica e epistemologicamente e, no fim, é

apresentado às interpretações do fóton, que já vinham sendo utilizadas de forma acrítica. Se os próprios autores não conseguiram usar os grupos de interpretação do fóton para pensar sua produção didática, o que esperar do aprendizado dos alunos?

viii) Ao longo da narrativa, os autores alternam entre contar a visão “do cientista” e a visão “da realidade”. Isso é feito discursivamente explicitando e omitindo as referências alternadamente.

ix) Os autores sobrepõem a visão de diferentes interpretações na mesma visão como os livros do primeiro grupo.

c) Texto que adere a uma única interpretação e a defende como única possibilidade

O único texto que adere somente à visão corpuscular da luz está contido no livro de Gaspar (2013):

Em síntese, de acordo com Einstein, a luz, assim como qualquer radiação eletromagnética, não se propaga uniformemente pelo espaço como sugere a teoria ondulatória, mas por meio de corpúsculos, ou quanta de luz, mais tarde chamados fótons. (...) os fótons são como pacotes de energia (E) proporcional à frequência (f) da radiação. (Gaspar, 2013, p. 210)

Tal discurso, como o presente nos outros casos, apresenta um viés autoritário: Gaspar (2013) não apresenta a construção do fóton; simplesmente, informa ao aluno de que a luz é feita por corpúsculos. Mas se ela é composta por corpúsculos, qual o sentido da frequência? O autor não explica. A única forma de convencer é através de argumento de autoridade:

Por isso, há quem diga ainda hoje que a luz tem um caráter dualístico — ora se comporta como partícula ora como onda (...). Na verdade, essa afirmação não é correta: a dualidade alternativa, ser uma coisa ou outra, não existe. 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, 2013, p. 214)

O autor utiliza o recurso estilístico de contrapor a visão dual usando a expressão “há quem diga”, com a visão corpuscular usando as expressões “Na verdade”, “para a Física atual”, “não há dúvida”. Ou seja, de acordo com Gaspar (2013), há quem diga que a luz tem comportamento dual, enquanto “na verdade”, na Física atual, “não há dúvida” de que a luz é corpuscular. Se o aluno havia ficado confuso sobre a natureza da luz, já não pode ficar mais. O autor adere explicitamente à visão dos Ensembles Estatísticos (Ballentine, 1970) e silencia, à força, as demais visões. A seguir, fala sobre a experiência de dupla fenda para o fóton:

Esse resultado, surpreendente até hoje, foi mal compreendido durante algum tempo, até meados do século XX. Isso porque essa figura, de acordo com a teoria ondulatória, só é possível quando ondas de duas fontes diferentes atingem o mesmo ponto ao mesmo tempo e interferem entre si. Por isso, alguns físicos concluíram que, para uma figura dessas se formar com partículas — fótons individuais atravessando as fendas — seria preciso que cada fóton interferisse consigo mesmo. Cada fóton atravessaria as duas fendas simultaneamente e depois se recomporia novamente restabelecendo sua unidade, mas com um novo caráter, fruto da sua autointerferência. Nesse caso, poderíamos concluir que uma partícula pode estar em dois lugares ao mesmo tempo, o que teria extraordinárias implicações tanto físicas como filosóficas. (Gaspar, 2013, p. 216)

E prossegue,

Mas não é isso o que ocorre. A sequência de fotos mostra que os fótons atingem a chapa fotográfica individualmente. Além disso, há evidências experimentais que comprovam que essa divisão, ou capacidade de estar em dois lugares ao mesmo tempo, não ocorre. Cada fóton passa apenas por uma das fendas de cada vez. Mas por que a figura tem características ondulatórias se é formada por partículas? A resposta a essa pergunta está no comportamento da natureza no microcosmo, que não pode ser extrapolado a partir do comportamento de partículas macroscópicas — fótons não são bolinhas rígidas como chumbinhos de caça, como já foi dito. Essa, aliás, é uma das principais conclusões da Física moderna. A descrição do comportamento dos fótons já é

conhecida. A forma como os fótons interagem com a matéria é perfeitamente determinada por meio de um cálculo de probabilidades que tem dado resultados extraordinariamente precisos, originários de uma nova teoria da Física moderna — a Eletrodinâmica Quântica. (Gaspar, 2013, p. 218)

Para justificar o comportamento corpuscular, o autor ressalta que “há evidências experimentais” de o fóton não poder se dividir, sem especificá-las. Além disso, ele afirma que a Eletrodinâmica Quântica é a responsável por explicar o problema. Ou seja, ele encerra a discussão. O aluno não tem nenhuma explicação de como isso deve ser entendido, ele precisa apenas aceitar. A “explicação” se dá por articulação linguística com argumento de autoridade. Isso leva ao último resultado:

vii) O texto que não só omite a existência de interpretações, mas também silencia as controvérsias, aderindo a apenas uma interpretação, precisa ser muito mais autoritário que os demais textos. O texto de Gaspar (2013) é marcado estilisticamente por imposições discursivas daquilo que ele não se propõe a justificar intelectualmente.

6. Conclusões

Neste trabalho, apresentamos um estudo de Sociologia Simétrica da Educação em Ciências, articulando a Sociologia Simétrica de Bruno Latour e a Filosofia da Linguagem de Mikhail Bakhtin. Ao fazer isso, optamos por realizar uma descrição dos processos de **dialogia** e **tradução** existentes em diferentes textos científicos e didáticos, em detrimento de buscar a tradicional dicotomia história *versus* pseudo-história.

Tal articulação teórica possibilitou discutir algo inédito, a dizer, que o estilo do discurso citado (um problema fundamental da filosofia de Bakhtin) em livros didáticos está intimamente associado à estabilização da essência do fóton (elemento da natureza) e à relação entre a educação básica e a educação científica (uma questão social). Ou seja, relacionamos, em uma única análise, linguagem, natureza e sociedade (proposta metodológica de Latour). Para atingir tal objetivo, aproximamos o conceito latouriano de **tradução** com o conceito

bakhtiniano de **dialogia**. Tal proposta, em si, é uma **tradução** das ideias originais. Para fazê-la, precisamos estender o projeto de pesquisa de Latour, que nunca se debruçou sobre a Educação em Ciências, e o escopo da obra de Bakhtin (voltada a questões humanas) para incorporar a “fala” dos actantes não-humanos. Isto é, extrapolamos os contextos de pesquisa de cada autor para discutir a natureza híbrida da Educação em Ciências. Com isso, simetizamos não só verdade e falsidade e humanos e não-humanos, como propunha Latour, mas também o **gênero do discurso** científico e o didático. A opção de aproximação feita neste trabalho, usando os conceitos de **tradução e dialogia**, não é a única possível. Esperamos que ela motive futuras articulações entre as obras desses autores, pois isso permitirá a proposição de uma visão sociológica própria sobre a Educação em Ciências e sobre suas relações com a natureza e com a sociedade, o que denominamos Sociologia Simétrica da Educação em Ciências.

Após realizar uma reflexão teórica e metodológica, apresentamos uma possível história do fóton em que as diferentes interpretações surgem como processos de **tradução**. Assim, mostramos que, no âmbito dos textos científicos, as visões de mundo são **refletidas e refratadas** por textos em posição **dialógica** entre si.

O livro didático, por sua vez, pertence a outro **gênero do discurso**, o qual **dialoga** com o **gênero** científico. Cada texto didático, portanto, também **reflete e refrata** características dos artigos originais, jamais sendo uma cópia fiel ao texto original, tão pouco sendo um texto totalmente incomensurável a ele. Apresentamos, neste artigo, como o texto didático dialoga com os artigos originais e como o estilo (escolha lexical e gramatical) modula o valor de verdade que o autor do texto pretende imprimir.

De uma forma geral, identificamos três estilos de abordagem de discurso citado: há textos que usam as interpretações do fóton sem dizer explicitamente que há diferentes interpretações (grupo com 11 livros); há textos que explicitam a existência de diferentes interpretações do fóton (grupo com 2 livros); e há um texto que adota apenas uma interpretação. A análise metalinguística dos livros classificados na primeira categoria aponta que esses **traduzem** os artigos originais através de processos de **blackboxing**, omitindo a construção do fóton e suprimindo discussões teóricas. A apresentação do fóton é feita, então,

hibridizando diferentes posicionamentos adotados ao longo das primeiras décadas século XX em uma nova visão. Os autores, alinhados à visão de Einstein, entendem que o fóton é uma partícula (escala microscópica); e, alinhados à visão de Schrödinger, entendem que a radiação é ondulatória (escala macroscópica). Por fim, usam a Interpretação de Copenhague para explicar essa dualidade em diferentes escalas, enquanto a interpretação original explicaria a dualidade do fóton (uma só escala).

Com as **performances** reveladas pelos autores do primeiro grupo, o actante fóton é uma partícula clássica e não seria considerado objeto de estudo da Física Quântica (contemporânea), visto que não apresenta dualidade onda-partícula na mesma escala. Além disso, identificamos que, nessas narrativas, os autores variam o viés ontológico e epistemológico sobre o fóton, ora atribuindo-lhe caráter essencial ora instrumental. Isso pode criar complicações no entendimento do conceito de fóton que poderiam ser evitadas se os autores expusessem a existência de diferentes interpretações e discutissem cada arranjo experimental à luz de tal pluralidade conceitual.

O fato de os autores privilegiarem uma visão didática instrumentalista (que simplesmente apresenta conceitos para serem inseridos na resolução de problemas) ao invés de discutir as construções teóricas e experimentais do fóton, com suas limitações e controvérsias, revela que os autores dos livros didáticos para ensino médio seguem a mesma perspectiva didática revelada por Kuhn no âmbito da formação de cientistas: escondem-se as controvérsias, omitem-se as bases teóricas, apenas se instrui para se resolverem quebra-cabeças de um paradigma. Deve-se fazer, entretanto, a seguinte pergunta: faz sentido adotarmos livros didáticos que sigam a mesma orientação ideológica dos livros de ensino superior? Queremos formar alunos de Ensino Médio como pequenos cientistas, capazes de inserir fórmulas em problemas, mas totalmente incapazes de entender as limitações de suas próprias teorias? Entendemos que se, de fato, almejamos um ensino crítico, formador para a cidadania, o modelo didático cientificista não é cabível, visto que é alienante não somente do ponto de vista político, mas quanto à própria disciplina a que se dedica.

As altas cifras investidas pelo governo no Plano Nacional do Livro didático, aliadas à baixa formação dos autores desses livros, resultam em textos **colonizados didaticamente** do ponto de vista estrutural livros (Lima, Ostermann

& Cavalcanti, 2017) e **ideológico didático**. Ademais, apesar de ser cientificista, a visão de fóton dos livros didáticos circunscreve-se à descrição do fóton dos anos 1920, tendo pouco vínculo com a literatura contemporânea. Ou seja, ainda que o objetivo fosse formar um pequeno cientista, sua visão estaria dissonante da visão do paradigma vigente! Os livros didáticos estão preparando os alunos para um paradigma que já foi abandonado. Cria-se, assim, uma racionalidade própria que só se sustenta na narrativa autoritária dos livros, ou como diria Alice Lopes, uma “razão conformada e conformista, o racionalismo com gosto escolar, da forma que tem feito a escola, alegre como porta de prisão” (Lopes, 1996, p. 270).

Os textos classificados na segunda e terceira categoria apresentam os mesmos problemas didáticos da primeira. A análise metalinguística dos livros classificados na segunda categoria, por exemplo, aponta que esses seguem uma abordagem semelhante aos textos do primeiro grupo, mas acrescentam um texto sobre as interpretações do fóton, ao final do capítulo, em que nada dialoga com o restante do texto.

Quando comparados com o primeiro grupo, os textos dessa categoria ampliam as **performances** do fóton visto que discutem explicitamente a sua dualidade onda-partícula. Apesar disso, a estratégia discursiva de acrescentar um texto ao final de uma seção em que a existência de controvérsias não é privilegiada pode ser, novamente, problemático do ponto de vista didático. Não faz sentido explicitar a multiplicidade de interpretações do fóton após um texto inteiro que a omite. Dificilmente o leitor conseguirá articular essas ideias com o restante do que foi lido. A propósito, a falta de coesão do texto sugere que os próprios autores não entendem as interpretações do fóton, mas as acrescentaram para estar em consonância com a literatura de Ensino de Física Quântica. Por fim, o texto do último grupo não só não explicita a existência de diferentes interpretações como nega a validade de visões diferentes, afirmando que somente a visão corpuscular é correta. Nossa análise indica que essa é a abordagem mais autoritária das três, apresentando recursos estilísticos para suprimir a existência de controvérsias.

Se, ao formar um bacharel em Física, é suposto ser suficiente que ele aprenda a substituir valores em equações cujo significado, construção e implicações lhe são alheios (o que deve ser problematizado) (Johansson,

Andersson, Salminen-Karlsson, & Elmgren, 2016); para formar um cidadão é necessário muito mais do que isso. Não podemos, portanto, copiar o modelo bacharelesco para o Ensino Médio simplesmente apagando as derivadas e as integrais. É possível ensinar Ciências e, mais especificamente, Física Quântica, discutindo suas bases teóricas e filosóficas em consonância com a literatura contemporânea, como já vem sendo feito em livros e pesquisas de Educação em Ciências pelo menos no âmbito do ensino superior (Betz, 2014; Montenegro & Pessoa Jr., 2002; Netto, Cavalcanti, & Ostermann, 2015; Netto, Ostermann, & Prado, 2011; Pereira & Ostermann, 2012; Pereira, Ostermann, & Cavalcanti, 2009; Pereira, Ostermann, & Cavalcanti, 2012; Pessoa Jr., 2003). Para que propostas críticas possam ser implementadas na Educação Básica, é necessário que mais trabalhos sejam feitos sob um ponto de vista sociológico simétrico, sem recair na dicotomia história e pseudo-história ao se investigar as relações entre produções didáticas e científicas. A partir de tais estudos, esperamos que a área de Educação em Ciência adquira mais subsídios para pensar em uma construção didática para educação básica com identidade própria, sem ter que se posicionar de forma subserviente a outras comunidades.

Referências

- Allchin, D. (2004). Pseudohistory and Pseudoscience. *Science & Education*, 13(3), 179-195.
- Aquino, T. (1995). *O Ente e a Essência*. Porto: Edições Contraponto.
- Artuso, A. R., & Wrublewski, M. (2013). *Física*. Curitiba: Positivo.
- Bakhtin, M. (1981). *The Dialogic Imagination*. Austin: University of Texas.
- Bakhtin, M. (1984a). *Problems of Dostoyevsky's Poetics*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Bakhtin, M. (1984b). *Rabelais and His World*. Bloomington: Indiana University Press.
- Bakhtin, M. (1997). *A Estética da Criação Verbal* (2 ed.). São Paulo: Martins Fontes.

- Bakhtin, M. (2006). *Marxismo e Filosofia da Linguagem* (12 ed.). São Paulo: HUCITEC.
- Bakhtin, M. (2016). *Os Gêneros do Discurso*. São Paulo: Editora 34.
- Bakhtin, M. (2017). *Notas sobre Literatura, Cultura e Ciências Humanas*. São Paulo: Editora 34.
- Ballentine, L. E. (1970). The Statistical Interpretation of Quantum Mechanics. *Reviews of Modern Physics*, 42(4), 358-381. doi: 10.1103/RevModPhys.42.358
- Barreto, B., & Xavier, C. (2013). *Física Aula por Aula* (2 ed. Vol. 3). São Paulo: FTD.
- Betz, M. E. M. (2014). Elementos de mecânica quântica da partícula na interpretação da onda piloto. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(4), 1-14.
- Bialynicki-Birula, I. (1994). On the wave function of the photon. *Acta Physica Polonica Series A*, 86(1-2), 97-116.
- Bialynicki-Birula, I. (1996). The photon wave function. In J. H. Eberly, L. Mandel, & E. Wolf (Eds.), *Coherence and quantum optics VII* (pp. 313-322). Boston, MA: Springer US. Disponível em: 10.1007/978-1-4757-9742-8_38
- Bloor, D. (1982). *Sociologie de la logique ou es limites de l'épistémologie*. Paris: Éditions Pandora.
- Bohr, N. (1928). The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory. *Nature*, 121, 580-590.
- Bonjorno, J. R., Clinton, M. R., Prado, E., Casemiro, R., & Bonjorno, R. A. (2013). *Física* (2 ed. Vol. 3). São Paulo: FTD.
- Born, M. (1926). Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge. *Zeitschrift für Physik*, 37, 863-867.
- Brush, S. G. (1974). Should the History of Science Be Rated X? The way scientists behave (according to historians) might not be a good model for students. *Nature*, 183(4130), 1164-1172. doi: 10.1126/science.183.4130.1164
- Bunge, M. (2013). *Física e Filosofia*. São Paulo: Perspectiva.
- Callon, M. (1986). Éléments pour une Sociologie de la Traduction: La domestication des coquilles Saint-Jacques et e marins-pêcheurs dans a baie Saint-Brieuc. *L'Année Sociologique*, 36, 169-208.
- Compton, A. H. (1923). A Quantum Theory of the Scattering of X-rays by Light Elements. *Physical Review*, 21(5), 483-502. doi: 10.1103/PhysRev.21.483

- De Broglie, L. (1922). Rayonnement noir et quanta de lumière. *Le Journal de Physique et le Radium*, 3(6), 422-428.
- De Broglie, L. (1923). Ondes et quanta. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 117, 507-510.
- Doca, R. H., Bôas, N. V., & Biscuola, G. J. (2013). *Física* (Vol. 3). São Paulo: Saraiva.
- Einstein, A. (1905). Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik*, 17, 132-148.
- Einstein, A. (1906). Die Plancksche Theorie der Strahlung und die Lichtquantem. *Annalen der Physik*, 20, 199-206.
- Feyerabend, P. (2011). *Contra o Método* (2 ed.). São Paulo: Unesp.
- Johansson, A., Andersson, S., Salminen-Karlsson, M., & Elmgren, M. (2016). "Shut up and calculate": the available discursive positions in quantum physics courses. *Cultural Studies of Science Education*, 1-22. doi:10.1007/s11422-016-9742-8
- Garcia, N. M. D. (2017). *O Livro Didático de Física e de Ciências em foco: Dez Anos de Pesquisa*. São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Gaspar, A. (2013). *Compreendendo a Física volume 3* (2 ed.). São Paulo: Ática.
- Gonçalves Filho, A., & Toscano, C. (2013). *Física: Interação e Tecnologia* (Vol. 3). São Paulo: Leya.
- Greenstein, G., & Zajonc, A. G. (1997). *The Quantum Challenge: Modern Research on the Foundations of Quantum Mechanics*. Sudbury: Jones and Bartlett Publishers.
- Guimarães, O., Piqueira, J. R., & Carron, W. (2013). *Física* (Vol. 3). São Paulo: Ática.
- Jammer, M. (1974). *The Philosophy of Quantum Mechanics*. New York: John Wiley and Sons.
- Kincheloe, J. L., & Tobin, K. (2009). The much exaggerated death of positivism. *Cultural Studies of Science Education*, 4 (3), 513-528. doi: 10.1007/s11422-009-9178-5
- Kuhn, T. (1978). *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Perspectiva.
- Latour, B. (1988). A Relativistic Account of Einstein's Relativity. *Social Studies of Science*, 18(1), 3-44.
- Latour, B. (1999). *Pandora's Hope - Essays on the Reality of Science Studies*. Cambridge: Harvard University Press.

- Latour, B. (2011). *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora* (2 ed.). São Paulo: Unesp.
- Latour, B. (2013). *Jamais Fomos Modernos* (3 ed.). São Paulo: Editora 34.
- Latour, B., & Fabbri, P. (1977). La rhétorique de la science. *Actes de la recherche en sciences sociales*, 13(1), 81-95. doi:10.3406/arss.1977.3496
- Latour, B., & Woolgar, S. (1988). *La vie de laboratoire: la Production des faits scientifiques*. Paris: La Découverte.
- Latour, B., & Woolgar, S. (1997). *A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos*. Rio de Janeiro: Relume Dumará.
- Lima, N. W., Antunes, E., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. (2017a). A História do Fóton em Livros de Física. *Enseñanza de las Ciencias*, extra, 1953-1957.
- Lima, N. W., Antunes, E., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. (2017b). *Interpretações do Fóton em Livros Didáticos do Ensino Superior*. Trabalho apresentado em XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis.
- Lima, N. W., Antunes, E., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. (2017c). Uma Análise Bakhtiniana dos Enunciados Sobre o Efeito Fotoelétrico em Livros Didáticos do Ensino Superior. *Enseñanza de las Ciencias*, extra, 1947-1951.
- Lima, N. W., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. (2017). Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM2015. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(2), 435-459.
- Lopes, A. R. C. (1996). Bachelard: o Filósofo da Desilusão. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 13(3), 248-273.
- Luz, A. M. R. D., & Álvares, M. A. (2013). *Física Contexto & Aplicações* (Vol. 3). São Paulo: Scipione.
- Martins, R. d. A., & Rosa, P. S. (2014). *História da teoria quântica - a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie*. São Paulo: Livraria da Física.
- Menezes, L. C. d., Canto Júnior, O., Kantor, C. A., Paoliello Júnior, L. A., Bonetti, M. d. C., & Alves, V. M. (2013). *Quanta Física* (Vol. 3). São Paulo: Pearson Education do Brasil.
- Ministério da Educação. (2014). *Guia de livros didáticos: PNLD 2015: física: ensino médio*. Brasília: Autor.
- 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.

- Nelson, M. (2012). Existence. Acesso em 13 de julho de 2017, from <https://plato.stanford.edu/entries/existence/>
- Netto, J. S., Cavalcanti, C., & Ostermann, F. (2015). Estratégias discursivas adotadas por professores em formação na compreensão do fenômeno da complementaridade em atividades didáticas mediadas pelo interferômetro virtual de Mach-Zehnder. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 15(2), 293-320.
- Netto, J. S., Ostermann, F., & Prado, S. (2011). O tema da dualidade onda-partícula na educação profissional em radiologia médica a partir da simulação do Interferômetro de Mach-Zehnder. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(1), 1-10.
- Oliveira, M. P. P., Progibin, A., Andrade, R., & Romero, T. R. (2013). *Física: conceitos e contextos: pessoal, social e histórico, eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria*. São Paulo: FTD.
- Ostermann, F., & Moreira, M. A. (2000). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física moderna e contemporânea no ensino médio". *Investigações em Ensino de Ciências*, 5(1), 23-48.
- Pereira, A., & Ostermann, F. (2012). Recursos e Restrições nas Explicações de Futuros Professores de Física sobre Mecânica Quântica. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 12(2), 9-28.
- Pereira, A., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. (2009). On the use of a virtual Mach-Zehnder interferometer in the teaching of quantum mechanics. *Physics Education*, 44(3), 281-291.
- Pereira, A. P., Ostermann, F., & Cavalcanti, C. J. H. (2012). Um exemplo de "distribuição social da mente" em uma aula de física quântica. *Ciência & Educação*, 18(2), 257-270.
- Pessoa Jr., O. (2003). *Conceito de Física Quântica*. São Paulo: Livraria da Física.
- Piassi, L. P., Santos, E. I. d., Vieira, R. M. d. B., & Ferreira, N. C. (2009). O discurso ideológico sobre Aristóteles nos livros didáticos de Física. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 9(2), 1-19.
- Pietrocola, M. (1999). Construção e realidade: o realismo científico de mário bunge e o ensino de ciências através de modelos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 4 (3), 213-227.
- Popper, K. R. (1957). The Propensity Interpretation of the Calculus of Probability, and the Quantum Theory. In S. Körner (Ed.), *Observation and Interpretation* (pp. 65--70): Butterworths.
- Sant'Anna, B., Martini, G., Spinelli, W., & Reis, H. C. (2013). *Conexões com a Física* (2 ed. Vol. 3). São Paulo: Moderna.

- Sartre, J. P. (2007). *Existentialism is a Humanism*. New Haven: Yale University Press.
- Schrodinger, E. (1927). Über den Comptoneffekt. *Annalen der Physik*, 4 (82), 257-264.
- Schrodinger, E. (1928). *Collected Papers on Wave Mechanics* London and Glasgow: Backie & Son Limited.
- Siegel, H. (1979). On the Distortion of the History of Science in Science Education. *Science Education*, 63 (1), 111-118.
- Silva, A. C., & Almeida, M. J. P. M. (2011). Física quântica no ensino médio: o que dizem as pesquisas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(3), 624-652. doi: 10.5007/2175-7941.2011v28n3p624
- Silveira, F. L. (2002). A Premissa Metafísica da Revolução Copernicana. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19(1), 407-410.
- Silveira, F. L., & Ostermann, F. (2002). A insustentabilidade da proposta indutivista de “descobrir a lei a partir de resultados experimentais”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19(número especial), 7-27.
- Stefanovits, A. (Editor responsável) (2013). *Ser protagonista: Física. 1º ano: ensino médio* (2 ed.) São Paulo: Edições SM.
- Torres, C. M. A., Ferraro, N. G., Soares, P. A. d. T., & Penteado, P. C. M. (2013). *Física Ciência e Tecnologia* (3 ed.). São Paulo: Moderna.
- Veneu, A., Ferraz, G., & Rezende, F. (2015). Análise De Discursos No Ensino De Ciências: Considerações Teóricas, Implicações Epistemológicas E Metodológicas. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(1), 126-149. doi: 10.1590/1983-211720175170106
- Voloshinov, V. N. (1981). La structure de l'énoncé. In T. Todorov, *Mikhaïl Bakhtine: le principe dialogique* (pp. 278-316). Paris: Seuil.
- Wertsch, J. (1992). *Voices of the mind: a sociocultural approach to mediated action*. Cambridge: Harvard University Press.
- Wertsch, J. (2004). *Voices of Collective Remembering*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Yamamoto, K., & Fuke, L. F. (2013). *Física para o Ensino Médio 3* (3 ed.). São Paulo: Saraiva.

9. Considerações Finais e Proposição de um Programa de Pesquisa

Apresentamos, nesta tese, um estudo sobre a estabilização ontológica do fóton. Para tanto, investigamos como que os livros didáticos de ensino superior e médio participam de três dos quatro elos que compõem o fluxo sanguíneo da ciência (mobilização do mundo, autonomização e representação pública). Nossa proposta, portanto, parte de uma descrição ator-rede do fóton, a qual assume algumas premissas: a primeira é que a essência de um ser não é algo objetivo e imutável; mas algo que se define pelas relações com os demais actantes ao longo do tempo; a segunda é que, para ter um mapeamento da estabilização ontológica do fóton, precisamos olhar para o que acontece, também, fora dos laboratórios ou dos escritórios dos físicos teóricos, pois a prática científica percorre toda sociedade; a terceira é que a rede da ciência e a rede da Educação em Ciências se articulam em uma rede complexa, de forma que nenhuma das áreas pode ser pensada como subordinada a outra.

Para que esse estudo empírico pudesse ser feito, primeiramente, apresentamos o referencial teórico de Bruno Latour e sua apropriação pela área de Educação em Ciências, bem como apresentamos uma proposta de como suas ideias poderiam ser usadas nas pesquisas da área – o que compõe a parte I dessa tese. Na sequência, apresentamos uma série de quatro estudos sobre a estabilização do fóton, sendo que o primeiro trata da mobilização do mundo, o segundo trata da autonomização, o terceiro e quarto da representação pública.

Entendemos que o conjunto de sete artigos apresentados no corpo principal da tese possui quatro contribuições principais para a área de Educação em Ciências e para o Ensino de Física. A primeira é apresentar uma proposta de um programa de pesquisa em Educação em Ciências a partir dos Estudos da Ciência ou da Sociologia Simétrica, o que chamamos de Estudos da Educação em Ciência ou Sociologia Simétrica da Educação em Ciências, apresentando as bases ontológico-epistemológicas, possíveis percursos metodológicos e problemas de pesquisa (capítulo 2,3 e 4). A segunda é apresentar um trabalho de Sociologia Simétrica da Física teórica (capítulo 5). A maioria dos artigos da área de Estudos da Ciência analisam ciências empíricas, enquanto que nosso trabalho faz uma análise sociológico do artigo teórico de Einstein publicado em

1905, enfatizando o papel da matemática em articular a realidade. A terceira é tratar simetricamente o texto científico e didático. Por fim, a quarta contribuição principal apresentar uma articulação entre ideias de Latour e Bakhtin, propondo uma primeira discussão sobre o papel da linguagem dentro de uma proposta de Sociologia Simétrica (capítulo 8), o que também não aparece explicitamente no trabalho de Latour.

Ademais, compreendemos que esta tese contribui ao mapear as redes articuladas pelos livros didáticos, apresentando seu papel na rede da ciência, mas também ao investigar como as visões sobre o fóton são hibridizadas e reinterpretadas, evidenciando que inconsistências ontológicas aparecem nesse processo de hibridização (capítulos 5 a 8). Ainda, mostramos que os livros possuem um forte viés positivista e instrumentalista ao apresentar a história da Física Quântica.

Esperamos que a descrição sociológica promovida nessa tese, crie subsídios para que possamos pensar sobre o Ensino de Física Quântica contemporânea de uma forma crítica, sobre o que é proposto para os futuros cientistas, para os futuros professores e para os alunos do Ensino Médio. É necessário que consigamos ultrapassar a tradição do Ensino de Física Quântica de omitir as contrainduções existentes (como a proposta de fótons com massa de de Broglie), e de silenciar a variedade ou multiplicidade de interpretações, e investir em um ensino que aposte no entendimento das teorias em consonância com o desenvolvimento matemático. O mero domínio do aparato matemático não garante ao cientista a capacidade de entender e falar do mundo. Da mesma forma, o professor de Física não pode se dar ao direito de apenas resolver equações diferenciais sem entender como que elas se articulam com a realidade. Dessa forma, esperamos que possamos articular, no futuro, um Ensino de Física Quântica que aprecie a complexidade da Ciência e não a reduza a um instrumento objetivo e sem sentido.

A título de finalização desta tese, propomos, como perspectiva de futuro, um programa de pesquisa em Sociologia Simétrica do Ensino de Física Quântica. Tal proposta tem por objetivo organizar um conjunto de linhas de pesquisa relacionadas que permitam tanto dar continuidade à descrição sociológica simétrica do Ensino de Física Quântica quanto a proposição de um Ensino de

Física Quântica que rompa com a perspectiva tradicional.

9.1 Perspectiva de futuro: Programa de Pesquisa em Sociologia Simétrica do Ensino de Física Quântica

A Sociologia Simétrica foi desenvolvida, originalmente, no contexto de análise de ciências empíricas. Propusemos, nesta tese, sua extensão para falar de Ensino de Física Quântica, pois ela permite analisar a relação entre humanos e não-humanos, natureza e sociedade, epistemologia e política ao mesmo tempo. Conforme apontamos, entretanto, a proposta original da Sociologia Simétrica não se preocupa em discutir Física Teórica, Ensino de Física ou a linguagem explicitamente.

Ainda que a presente tese traga reflexões sobre tais questões, existe a necessidade de que elas sejam aprofundadas. Pretendemos, portanto, dar continuidade ao estudo sobre o Ensino de Física Quântica a partir da Sociologia Simétrica, aprofundando os tópicos que são relevantes para o desenvolvimento de tal conhecimento.

Estruturamos, portanto, um programa de pesquisa dividido em cinco linhas de pesquisa. As três primeiras destinam-se a investigar as relações entre Sociologia Simétrica e linguagem, Ensino de Física e Física Quântica respectivamente, aprofundando justamente os temas que não são explicitados na obra de Latour. Essas três linhas dão subsídios para a formação da quarta linha, A Sociologia Simétrica do Ensino de Física Quântica, e para a quinta linha, que envolve o desenvolvimento, implementação e avaliação de um Ensino de Física Quântica em uma abordagem CTS.

1) A Sociologia Simétrica e a Linguagem

Uma vez que, nesse programa de pesquisa, a linguagem tem sido o objeto de estudo, temos o objetivo de contribuir para área CTS apresentando uma proposta sobre a natureza da linguagem a partir da visão sociológica simétrica. Nossa tese é que a filosofia da linguagem de Mikhail Bakhtin possui uma visão de mundo compatível com os pressupostos das obras de Latour, principalmente

por estabelecer uma visão de linguagem monadal o que a aproxima à visão de mundo monadal de Gabriel Tarde.

Assim, o objetivo dessa linha é articular a visão de mundo de Bakhtin, Tarde e Latour, propondo uma descrição sobre a natureza da linguagem e do discurso em uma perspectiva de sociologia simétrica. Nesse sentido, a tese central dessa construção é que não podemos pensar que o homem usa a linguagem, como se essa fosse inerte; mas que a linguagem também socializa agência e apresenta ação e resistência ao homem. Já propusemos um primeiro tangenciamento entre o pensamento de Latour e Bakhtin, entretanto o tópico está longe de ser exaurido e provavelmente nunca esteja. As próximas etapas a serem desenvolvidas nessa linha de pesquisa são as seguintes:

a) Revisão de Literatura sobre Filosofia da Linguagem de Bakhtin e sobre Análise Bakhtiniana do Discurso na Educação em Ciências

Até o momento, a articulação entre Bakhtin e Latour foi proposta a partir das obras Gêneros do Discurso, Marxismo e Filosofia da Linguagem, Esperança de Pandora e Jamais Fomos Modernos. Mesmo com essa delimitação bibliográfica, existem já uma série de aproximações encontradas e que não foram exploradas em nosso último artigo. Esses tangenciamentos teóricos estão sendo descritos e analisados em um artigo em elaboração.

Apesar disso, consideramos que é necessário expandir os estudos de Filosofia da Linguagem principalmente a partir do olhar de Mikhail Bakhtin. Propomos, como primeira etapa, um aprofundamento do referencial Bakhtiniano e de seu uso na área de Educação em Ciências. O objetivo é construir um panorama das obras de conceitos de Bakhtin bem como de sua apropriação pela área de Educação em Ciências.

b) Articulação entre os conceitos de Bakhtin, Tarde e Latour

A partir do aprofundamento da obra de Mikhail Bakhtin propomos o prosseguimento da articulação entre suas ideias com os conceitos de Latour e, principalmente, a monadologia renovada de Gabriel Tarde. O próprio Bakhtin descreve o “enunciado” como uma mônada. A partir disso, pode-se avaliar se

todas as reflexões feitas por Tarde são consistentes ou não com a proposta de Bakhtin. A partir das consonâncias e diferenças encontradas, pode-se refletir sobre uma proposta de sociologia simétrica em que o papel da linguagem fique claramente determinado.

c) Proposta de Metodologia de Pesquisa em Análise de Discurso a partir de uma Sociologia Simétrica

Além do avanço teórico que os estudos b permitirá, o que por si só já é uma contribuição para a área de sociologia simétrica, a próxima etapa é traduzir essas reflexões teóricas em premissas metodológicas, sistematizando uma proposta de análise do discurso consistente com a visão simétrica que propomos. Assim como a análise de discurso francesa tem sua proposta metodológica consonante com premissas da psicanálise, e a análise do discurso russa, com o marxismo; pretendemos propor uma análise do discurso consonante com as premissas da sociologia simétrica.

2. Sociologia Simétrica e o Ensino de Física: Mediação e Tradução no processo de Ensino e Aprendizagem

Latour descreve a interação entre humanos e não-humanos através de mediações, as quais podem ganhar diferentes significados dependendo da situação envolvida. Em tal descrição, Latour ressalta o papel dos objetos na atividade humana; lembrando, claramente, a descrição da mediação material nos processos psicológicos superiores por Vygotsky e Wersch. Um primeiro tangenciamento entre essas ideias já foi proposto na educação. Entretanto, existem aspectos mais profundos das obras desses autores que devem ser levados em consideração, principalmente as consequências ontológicas da visão de Latour. Assim, essa linha de pesquisa busca aprofundar e explorar o conceito de mediação oriundo de dois corpos teóricos distintos articulando-os em uma explicação sociológica simétrica dos processos de ensino e aprendizagem. Próximos estudos envolvem:

a) Revisão de Literatura sobre a Mediação de Vygotski e Wertsch nos estudos de Ensino de Física

Primeira etapa dessa pesquisa consiste em fazer uma revisão extensiva e aprofundada do conceito de mediação nas obras de Vygotsky e Wertsch. A partir disso, fazer uma revisão de literatura dos estudos em Ensino de Física que exploram tais conceitos. Essa etapa permitirá um domínio conceitual sobre a explicação sociocultural do processo de ensino e aprendizagem e de como ela é explorada pela área.

b) Articulação entre os conceitos de Vygotsky Wertsch e Latour

A próxima etapa é refletir sobre os tangenciamentos e afastamentos entre as propostas de Vygotsky, Wertch e Latour, identificando como a proposta ontológica de Latour vai ao encontro (ou não) da explicação dada por Vygotsky e Wertsch. A partir disso, pode-se gerar uma explicação teórica, com implicações ontológicas e epistemológicas, sobre o processo de ensino e aprendizagem.

c) Estudos etnográficos na sala de aula: análise do processo de mediação no Ensino de Física

A partir da reflexão teórica feita anteriormente, pode-se realizar estudos etnográficos, em sala de aula, avaliando como se dá o processo de ensino e aprendizagem de Física Quântica, avaliando a aplicabilidade do quadro teórico formado e levantando novos problemas de pesquisa.

3. Sociologia Simétrica da Física Quântica

Essa linha de pesquisa poderia ser pensada como uma linha tradicional dos Estudos da Ciências, sem levar em consideração questões típicas do Ensino. Ela é importante, primeiramente, pela produção de conhecimento sociológico sobre a ciência, o que, por si só, tem relevância para o Ensino; mas, também, é necessária para que possamos desenvolver a linha de pesquisa subsequente. A proposta é, primeiramente, começar a traçar a rede da física quântica a partir de textos classicamente científicos (artigos originais) e, então, começar a incorporar

a rede do ensino nessa rede— como um processo de contínua complexificação. Essa linha está subdividida em duas linhas.

i) Estudo de Sociologia Simétrica sobre Física Teórica

A primeira linha de pesquisa é uma ampliação do programa de pesquisa de Bruno Latour, apresentando uma explicação sociológica das ciências teóricas. Na linha de pesquisa a ser desenvolvida, os próximos passos a serem desenvolvidos são listados abaixo:

a) A Física Teórica de Albert Einstein e Louis de Broglie como uma filosofia expandida.

A próxima etapa dessa linha de pesquisa é mostrar os aspectos metafísicos e epistemológicos dos artigos originais de Einstein e de Broglie, nas três primeiras décadas do século XX. Opondo-se à ideia de que o que caracteriza a ciência é seu caráter positivo, como supunham os empiristas, e alinhando-se com a descrição de Tarde, pretendo mostrar que os artigos seminais de Física Quântica aproximam-se tematicamente, composicionalmente e estilisticamente a um ensaio filosófico. Partindo ainda das definições de ciência dadas por diferentes filósofos mostramos que os artigos seminais de Física Quântica não podem ser considerados ciências, mas filosofia. A partir dessa reflexão, discutimos o que é fazer física teórica, simetrizando-a com a prática filosófica. Nessa descrição, apontamos as peculiaridades da prática filosófica exercida pelos físicos teóricos, as quais vão de encontro à descrição positivista. Com isso, pretendemos criar subsídios para enfraquecer as fronteiras entre ciência teórica e empírica e entre ciência e filosofia.

b) Análise do discurso dos trabalhos originais subsequentes

Em paralelo aos estudos feitos nas obras de Einstein e de Broglie, deve-se avançar no estudo dessa temática, alcançando os trabalhos originais subsequentes de Física Quântica até os artigos contemporâneos.

c) Quantificação da realidade do fóton até hoje

Esse estudo tem por objetivo quantificar a evolução da realidade do fóton ao longo do tempo, desde sua criação até hoje. Latour propõe um sistema de quantificação de realidade ao estudar o trabalho de Pasteur sobre o fermento. Recentemente, o autor defendeu, em um artigo escrito com o Prof. Tommaso Venturini, o uso de ferramentas digitais para a análise de redes. A proposta desse trabalho é unir a proposta de uso de ferramentas digitais com a de quantificação de realidade em um estudo sobre a evolução ontológica do fóton.

d) Antropologia Simétrica da Física Teórica

O objetivo desse estudo é fazer um ensaio etnográfico em um grupo de física teórica. Existem trabalhos na literatura que já fizeram isso sem adotar, entretanto, um ponto de vista simétrico e sem adentrar em questões ontológicas. Assim, esse estudo permite incorporar o arcabouço teórico desenvolvido nos estudos empíricos anteriores e nos estudos teóricos em uma descrição etnográfica da Física Teórica contemporânea.

ii) Estudo de Sociologia Simétrica sobre Controvérsias Sociocientíficas

A área CTS na Educação tem discutido a necessidade e se trazer um ensino de ciências problematizador, capaz de mobilizar conceitos para que o aluno seja capaz de exercer sua cidadania e participar ativamente do processo democrático. O objetivo dessa linha de pesquisa é tratar de temas controversos na sociedade (não necessariamente controvérsias dentro da comunidade científica) associados à Física Quântica a partir da sociologia simétrica, mapeando os actantes envolvidos e as performances associadas. Os resultados encontrados poderão servir de subsídios para pensar um ensino de Física CTS Simétrico. Existem dois estudos a serem feitos:

a) Misticismo Quântico e Terapias Integrativas

Em março de 2018, o Ministério da Saúde (MS) emitiu a portaria 849 de 2018 em que inclui a Arteterapia, Ayurveda, Biodança, Dança Circular, Meditação, Musicoterapia, Naturopatia, Osteopatia, Quiropraxia, Reflexoterapia, Reiki, Shantala, Terapia Comunitária Integrativa e Yoga à Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares. Nenhuma dessas práticas é reconhecida pelo conselho nacional de medicina e algumas dela, como o reiki, se vale de conceitos de misticismo quântico. Esse ano, a Sociedade Brasileira de Física e o Conselho Nacional de Medicina se posicionaram contra a portaria 489 do MS. Em um primeiro estudo⁵⁷, analisamos os aspectos epistemológicos e políticos da portaria e da carta aberta escrita pela SBF. Os próximos passos são mapear os atores envolvidos, mapear as fontes usadas pelo MS, analisar os documentos internacionais, mapear interesses científicos e políticos, etc. Esse estudo pode envolver a entrevista de membros da SBF e do CNM, do ministério da saúde, defensores de terapias integrativas, além de se valer dos estudos sobre física quântica para discutir o papel do misticismo quântico nesse debate. O objetivo principal é produzir um estudo sociológico simétrico sobre essa disputa.

b) Uso de Mamografia como ferramenta de rastreamento de câncer de mama no SUS.

O exame mamográfico vale-se da interação da radiação X com a matéria (principalmente efeito fotoelétrico e efeito Compton) para produzir uma imagem da mama e diagnosticar diferentes tipos de patologia. Ao mesmo tempo que viabiliza o diagnóstico do câncer de mama, seu uso aumenta sua probabilidade na medida em que os raios X podem induzir a formação de doenças neoplásicas. Assim, o uso de mamografia como ferramenta de rastreamento de câncer de mama envolve uma discussão que leva em conta aspectos físicos (interação de fótons com a matéria), epidemiológicos, financeiros e políticos. O objetivo desse estudo é mapear os actantes (humanos e não-humanos) envolvidos e suas associações, bem como os interesses políticos, científicos e financeiros que

⁵⁷ Trabalho aceito no EPEF 2018, mas ainda não apresentado nem publicado.

circundam o uso de mamografia como ferramenta de rastreamento no Sistema Único de Saúde no Brasil.

4. Estudo de Sociologia Simétrica sobre o Ensino de Física Quântica

Essa linha de pesquisa está subdividida em duas linhas de pesquisa.

i) Estudo de Sociologia Simétrica sobre o Ensino de Física Quântica através dos livros didáticos

Essa linha dá continuidade diretamente ao que vem sendo desenvolvido nessa tese de doutorado.

a) Hibridização de Interpretações e Mecanismo de Causação Reversa nos Livros de Física Quântica do Ensino superior

Mostramos que os livros didáticos do Ensino Médio aprovados no PNLDEM-2015 hibridizam diferentes interpretações do fóton em uma interpretação própria. Já identificamos que o mesmo processo acontece nos livros de ensino superior. Nesse estudo, devemos mapear as hibridizações presentes nos livros didáticos de ensino superior de maior uso no Brasil e no exterior. Tal mapeamento será usado para discutir o mecanismo de causação reversa descrito por Latour, segundo o qual a essência de um fato depende de um par temporal (o ano em que o fato ocorreu e o ano em que se fala do fato). A partir do conceito de hibridização de Bakhtin pretendemos avançar na descrição do mecanismo de causação reversa mostrando que um par temporal não é suficiente para descrever a essência de algo, visto que o surgimento de novas descrição não apaga as anteriores mas se hibridiza com elas. Esse estudo dará a contribuição, portanto, de descrever as hibridizações de interpretação do fóton nos livros didáticos de ensino superior e de refinar o conceito de mecanismo de causação reversa de Latour.

b) Rede do fóton nos livros de Física Quântica do Ensino Superior

Inspirado no uso de ferramentas digitais para mapeamento de redes, pretendemos mapear a rede do fóton em diferentes livros didáticos, mapeando os actantes a que ele está articulado e as performances a que ele é associado. A partir disso, podemos mapear os diferentes fótons presentes na literatura (visto que articulam redes e performances diferentes). Esse trabalho traz duas contribuições. Primeiramente, contribui para consolidação do uso de ferramentas digitais para o mapeamento de redes. Em segundo lugar, cria uma descrição detalhada, quantificada e rigorosa sobre a apresentação do fóton na literatura de Física Quântica contemporânea. Esses resultados ajudam a entender o processo de estabilização ontológica do fóton e mapear as diferentes formas de conceber sua natureza dependendo da literatura usada na formação de cientista e professores de física.

c) Discurso Citado nos livros do Ensino Superior e Médio

O problema do discurso citado é um assunto central na Filosofia da Linguagem do Círculo de Bakhtin. A estrutura fraseológica escolhida pelo locutor, marcando claramente ou omitindo as fronteiras do discurso de outrem, revela facetas de seu posicionamento axiológico, como um posicionamento mais autoritário ou internamente persuasivo. No contexto da produção científica, Bruno Latour realizou trabalho de temática semelhante, estudando como a consolidação de um fato científico é espelhada na estrutura fraseológica utilizada pelos cientistas: quanto mais consolidado um fato é, menos rastros aparecem na linguagem sobre a sua construção, criando a sensação de uma maior objetividade e universalidade. Partindo desse quadro teórico, temos o objetivo de fazer uma análise metalinguística de livros de Física Quântica do ensino superior e médio. Um primeiro estudo já foi feito sobre as primeiras quatro seções do livro Mecânica Quântica de David Griffths, observando como o autor se refere aos diferentes elementos de uma teoria física, a dizer, seu formalismo matemático, as regras de correspondência e as interpretações. Nossos resultados permitiram detectar mecanismos retóricos usados pelo autor que indicam o formalismo matemático da física quântica como um conhecimento objetivo e universal, em detrimento de sua interpretação filosófica, estabelecida como menos importante e subjetiva. Do ponto de vista didático, o

favorecimento do formalismo em detrimento da interpretação filosófica se reflete, além das escolhas fraseológicas presentes no discurso, pela ênfase na resolução de problemas de cunho instrumental e tecnicista. O objetivo dessa linha de pesquisa é expandir esse estudo, aplicando o dispositivo analítico nos outros livros de ensino superior e médio.

ii) Estudo de Sociologia Simétrica sobre o Ensino de Física Quântica através de estudos antropológicos na sala de aula.

Além de avaliar a articulação da rede a partir de textos (como feito nas seções anteriores), pode-se investigar como o processo de articulação da Física Quântica acontece na sala de aula. Essa linha de pesquisa, portanto, envolve o desenvolvimento de estudos etnográficos. Tais estudos podem ser realizados em cursos de pós-graduação, graduação em física (bacharelado e licenciatura), outras graduações (engenharias) e ensino médio. Com isso, podemos desenvolver uma explicação sociológica sobre como a Física Quântica é difundida e estabilizada na sociedade e o papel de diferentes atores humanos e não-humanos nesse processo.

5. Implementação Didática de Ensino de Física Quântica

Seguindo a proposta de um Ensino de Física CTS ampliado, o objetivo dessa linha de pesquisa é implementar e avaliar uma proposta de ensino de Física Quântica que viabilize os alunos se engajarem em problemas sociocientíficos relevantes. Assim, os conceitos de Física Quântica são mobilizados para discutir problemas sociotécnicos como o uso de mamografia como instrumento de rastreamento de câncer de mama e o uso de terapias integrativas no SUS. Os alunos deverão, ao fim do curso, ser capaz de discutir esses problemas de forma crítica, valendo-se e apropriando-se de diferentes discursos, inclusive o científico. Essa linha de pesquisa se vale diretamente dos resultados obtidos nas linhas de pesquisa anteriores e envolve o desenvolvimento, implementação e avaliação de unidade didáticas de Física Quântica em uma perspectiva CTS ampliada.

Com a implementação dessas cinco linhas de pesquisa, temos o objetivo de dar continuidade ao programa de pesquisa iniciado com essa tese. Tal trabalho abre a possibilidade de criar subsídios teóricos e metodológicos para que outras áreas da Educação em Ciências também possam se valer do quadro teórico da Sociologia Simétrica. Assim, embora nosso foco se mantenha em Ensino de Física Quântica, esperamos que possamos fomentar a proposição de um programa de pesquisa em Sociologia Simétrica da Educação em Ciências.

A HISTÓRIA DO FÓTON EM LIVROS DE FÍSICA

Nathan Willig Lima, Estevão Antunes Junior, Fernanda Ostermann, Claudio Cavalcanti

RESUMO: Os enunciados sobre o conceito de fóton em três livros introdutórios de Mecânica Quântica amplamente usados no Ensino Superior no Brasil são analisados sob a perspectiva da Filosofia da Linguagem de Bakhtin. São investigados os temas abordados, a estrutura composicional e a escolha lexical dos enunciados. Nossos resultados mostram que todos autores optam por uma abordagem histórica para introduzir o conceito de fóton. Ao fazer isso, entretanto, privilegiam os experimentos em detrimento das teorias e veiculam somente as visões hegemônicas, tecendo a história do fóton como uma evolução linear, objetiva e empirista, o que pode ser fortemente associado a uma epistemologia positivista. Além disso, os livros silenciam enunciados contemporâneos sobre o fóton, que trazem luz sobre a sua natureza como objeto quântico.

PALAVRAS CHAVE: Fóton, Mecânica Quântica, Bakhtin, História e Epistemologia

OBJETIVOS: Fazer uma análise bakhtiniana dos enunciados sobre o conceito de fóton em três livros didáticos amplamente utilizados no Ensino Superior no Brasil (Halliday e Resnick, 2010; Eisberg, 1985; Tipler, 2008), em cursos de Física. Pretende-se, com isso, identificar qual a abordagem utilizada pelos livros para introduzir o conceito de fóton, quais as teorias, modelos, ideias e experimentos são privilegiados na história contada e avaliar se a estrutura dos enunciados, os temas escolhidos, e a escol-ha lexical indicam a veiculação de alguma visão epistemológica específica.

1. Referencial Teórico

A análise foi feita utilizando, como referencial teórico-metodológico, a Filosofia da Linguagem do Círculo de Bakhtin (2016), a qual avalia a linguagem em sua realização concreta, ou seja, no seu uso social. Para Bakhtin (2016), todo enunciado é considerado um elo na cadeia de comunicação verbal, o que significa duas coisas: a primeira é, como já comentamos, que todo enunciado é direcionado para um locutor esperado e, portanto, ele será construído para cumprir seu objetivo dentro de uma situação social concreta (característica chamada de direcionalidade), a segunda é que nenhum enunciado é to-talmente novo, ele sempre responde a enunciados anteriores e procura antecipar respostas a enunciados futuros (característica chamada de responsividade).

Voloshinov (2006) define que todo o enunciado comporta uma dimensão verbal e uma dimensão extraverbal, que não é expressa, mas é subentendida. É justamente a parte extraverbal do enunciado (conjunto formado pela situação da enunciação e pelo auditório do enunciado) que dá significado à parte verbal. A situação do enunciado pode ainda ser entendida como constituída por três elementos: o espaço e o tempo do evento, o objeto ou o tema do enunciado, e a posição dos interlocutores diante do fato e, ainda, pode ser entendida em três níveis: o primeiro é o contexto direto, o diálogo imediato, presencial, o segundo é contexto social e do tempo histórico, e o terceiro é contexto social e cultural mais amplo e do “grande tempo” (Veneu; Ferraz; Rezende, 2015). Entendendo isso, pode-se realizar a análise do enunciado, que implica avaliar suas características fundamentais: tema (assunto do enunciado), estrutura composicional (ordenamento dos elementos do enunciado), escolha lexical (escolha das palavras e expressões) e sua relação com o contexto extra verbal.

2. Metodologia

Foi utilizado um dispositivo analítico (Veneu; Ferraz; Rezende, 2015) com quatro etapas. A primeira etapa consiste em identificar as delimitações dos enunciados a serem analisados. A segunda etapa consiste em fazer uma primeira leitura dos enunciados já observando as possibilidades de articulação dos conceitos da Filosofia da Linguagem. A terceira etapa consiste em fazer uma análise do contexto extra-verbal, avaliando, por exemplo, com que enunciados anteriores o autor dialoga e qual o seu auditório. A última etapa consiste em fazer

a análise bakhtiniana propriamente, articulando o que foi encontrado na análise do contexto extraverbal com as características identificadas no enunciado e respondendo as questões de pesquisa.

3.Resultados

A primeira etapa dos resultados consiste na identificação dos enunciados. Como a condição de delimitação do enunciado implica a alternância de fala entre os sujeitos, entendeu-se que o fim de cada capítulo marca o fim de um enunciado. A segunda etapa consiste em fazer uma leitura preliminar dos livros. Nessa etapa já foi feito um mapeamento dos temas presentes nos enunciados dos livros, o que é apresentado na tabela 1.

Tabela 1. Títulos dos Enunciados avaliados

Eisberg (1985)	Tipler(2008)	Halliday e Resnick (2010)
Radiação Térmica e Postulado de Planck	A Quantização da Carga, Luz e Energia	Fótons e Ondas de Matéria
Fótons – Propriedades Corpusculares da Radiação	As propriedades Ondulatórias das Partículas	
Postulado de Debroglie – Propriedades Ondulatórias das Partículas		

Com essa primeira leitura, notamos que os autores optam por fazer uma introdução histórica ao conceito de fóton, começando com o problema da radiação de corpo negro, tentando mostrar as limitações dos modelos clássicos. Atualmente essa não é a única abordagem possível para a apresentação do

conceito de fóton – pode-se, por exemplo, partir de uma abordagem postulacional, apresentando a Mecânica Quântica sem fazer menção aos modelos clássicos (Fischler; Lichtfeldt, 1999)

A terceira etapa do dispositivo analítico consiste em fazer uma análise do contexto extraverbal. Essa etapa pode ser tão complexa quanto o pesquisador desejar e o nível de complexidade depende basicamente das questões de pesquisa. No caso desse trabalho, se deseja estudar a apresentação do conceito de fóton nos livros e, foi dada prioridade ao conceito bakhtiniano de responsividade, buscando-se avaliar com quais enunciados veiculados na Mecânica Quântica os autores dialogam e quais aspectos desses enunciados são silenciados.

Alguns pesquisadores de História da Ciência atribuem o início da Teoria Quântica aos trabalhos de Planck e Einstein (Greenstein; Zajonc, 2006). O artigo sobre a interpretação do Efeito Fotoelétrico foi o primeiro a apresentar uma visão corpuscular da radiação eletromagnética no século XX. Outros trabalhos, como o estudo de Compton, corroboraram a natureza corpuscular da luz. Nenhum dos estudos da primeira metade do século XX, entretanto, era capaz de fundar-se em um experimento capaz de refutar a visão ondulatória definitivamente. Como consequência disso, alguns trabalhos apareceram explicando, por via semiclássica, os mesmos fenômenos ditos “corpúsculares” sem fazer menção ao conceito de fóton (Greenstein; Zajonc, 2006, p. 25).

Na década de 1950, a disputa entre as duas visões foi revitalizada com os resultados de um experimento de anticoincidência com fótons, que contrariaram as expectativas da teoria corpuscular. Na década de 70, o experimento foi repetido novamente com radiação de laser, novamente contrariando as expectativas da visão do fóton como partícula.

Os problemas apontados no experimento e anticorrelação de fótons só podem ser entendidos com a formulação da nova Teoria Quântica, que, entre outras coisas, define todo observável a partir de um operador autoadjunto, o qual pode ser associado a um conjunto de autoestados, cujos autovalores são reais. Se medimos a energia de um sistema que está em um autoestado de energia, obtém-se um autovalor associado. Se o sistema, entretanto, estiver submetido a um campo externo e for preparado em um auto-estado do operador momento, ele não tem uma energia específica antes da medição (uma vez que energia e

momento são observáveis incompatíveis, isto é, não comutam). O mesmo acontece no experimento de anticorrelação, cujo observável em questão é o número de fótons. Para que o experimento pudesse ter o valor de anticorrelação esperado, precisa-se garantir que o sistema esteja em um autoestado do operador número de fótons. Isso não foi realizado até 1986, quando finalmente se conseguiu um experimento de anticorrelação que coincidiu com as expectativas do modelo corpuscular. Sem fazer uso do formalismo quântico moderno, a história “completa” do fóton não pode ser entendida.

A maioria das pessoas pensa que a radiação é feita de fótons da mesma forma que uma parede é feita de tijolos. Isso não é correto. A radiação emitida por uma lâmpada, por exemplo, não é emitida, necessariamente, em um autoestado do operador número de fótons, o que significa que ela não tem um número definido de fótons. Na verdade, nesse caso, uma teoria ondulatória da radiação juntamente com uma perspectiva quântica é mais adequada para dar conta de todos os fenômenos quânticos envolvidos.

Finalmente, a realização do experimento do Interferômetro de Mach-Zehnder mostrou que, mesmo quando se obtém um único fóton (que era entendido como um corpúsculo) esse também pode se comportar como onda, formando, inclusive padrões de interferência. O fóton, portanto, não é uma onda, nem uma partícula, é um objeto quântico com características próprias – pode evidenciar um ou outro comportamento, dependendo da situação experimental que se configura.

Feita essa retrospectiva histórica dos artigos seminais que tecem a linha constitutiva do conceito de fóton, pode-se partir para a última etapa do dispositivo analítico: a análise bakhtiniana.

A primeira característica dos enunciados, seus temas, já foi apresentada na tabela 1. Notamos que todos os autores introduzem o conceito de fóton por meio de uma abordagem histórica. A partir da análise do contexto extraverbal, pode-se reconhecer que a história que é contada nos livros está incompleta, pois os livros falam apenas da Velha Mecânica Quântica. Nenhum deles apresenta uma descrição fenomenológica pela via de operadores matemáticos e também não discutem os experimentos de anti-correlação que contrariam as teorias corpusculares originais. Os dois livros mais recentes (Tipler, 2008, e Halliday; Resnick, 2010) omitem o experimento com Interferômetro de Mach-Zehnder, que

traz um novo olhar sobre a natureza quântica do fóton. Um dos livros admite a limitação de sua abordagem:

“O Conceito de quantum de luz, ou fóton, é muito mais sutil e misterioso do que Einstein imaginava(...). Nesse livro, vamos discutir apenas alguns aspectos básicos do conceito de fóton, mais ou menos de acordo com a ideia original de Einstein” (Halliday; Resnick, 2010, p.187).

A segunda característica analisada é a estrutura composicional dos enunciados. Todos os livros apresentam os enunciados apenas a partir de visões hegemônicas da Mecânica Quântica. Não são discutidas as teorias ondulatórias semiclassicas capazes de analisar fenômenos como o Efeito Fotoelétrico ou o Efeito Compton. Halliday e Resnick (2010) admitem, em uma observação periférica, a existência de uma proposta ondulatória semiclássica para explicar o efeito fotoelétrico, mas nenhum dos livros analisados comenta os experimentos de anticorrelação que contrariam a interpretação corpuscular.

Esse silenciamento sistemático de vozes que veiculam teorias rivais e privilégio de vozes que veiculam teorias hegemônicas resultam em um discurso que veicula uma história de ciência linear, sem disputas e rupturas. Além disso, todos os livros começam os enunciados discutindo experimentos e, posteriormente, abordam a teoria. Essa estrutura composicional permite inferir que os autores se alinham a uma voz que veicula a ideia de que o conhecimento parte do experimento, se alinhando ao positivismo lógico.

O início do capítulo 2 de Eisberg (1985), por exemplo, tem o seguinte ordenamento: Introdução, o Efeito Fotoelétrico, a Interpretação Quântica de Einstein para o Efeito Fotoelétrico. O autor menciona que Einstein se contrapôs à teoria clássica do eletromagnetismo e usou o efeito fotoelétrico como exemplo de sua teoria, partindo do artigo de Planck. Essa apresentação ignora que Einstein (1905) faz uma longa derivação da entropia da radiação eletromagnética baseado em conceitos de termodinâmica e mecânica estatística (teorias recentes em sua época) para compará-la com a entropia de um gás ideal. É a partir dessa comparação e usando o modelo de Wien (e não de Planck) que Einstein propõe a hipótese do quantum de radiação.

A estrutura composicional do livro inverte o ordenamento original do artigo de Einstein (apresentando o experimento primeiro), errando ao dizer que Einstein

parte do modelo Planck e omite a contribuição da termodinâmica e mecânica estatística para a proposição do fóton. Essas distorções enunciativas veiculam a ideia de uma ciência linear (pois induz que se pense que a teoria de Planck era mais “forte” e recente do que a de Wien) e que segue o método empirista-indutivista. Ou seja, a estrutura composicional é fundamentada em uma voz que se alinha ao positivismo. Tipler (2008) e Halliday e Resnick (2010) seguem uma sequência similar e cometem os mesmos deslizes históricos e omissões teóricas de Eisberg (1985).

Além disso, a escolha lexical dos enunciados de dois livros veicula uma visão explicitamente alinhada ao positivismo, privilegiando palavras como *confirmação* e *comprovação*: “Em 1923, Arthur Compton, da Washington University, em Saint Louis, executou um experimento que *confirmou* a previsão de que os fótons possuem energia e momento.” (Halliday; Resnick, 2010, p.191); ou “A natureza corpuscular da radiação recebeu uma *confirmação* dramática come m 1923 dos experimentos de Compton.” (Eisberg, 1985, p. 34). Essa visão, segundo epistemólogos contemporâneos, é falsa – visto que o foi discutido na análise do contexto extraverbal.

4.Conclusão

Nossa análise mostrou que os livros didáticos de Física Moderna optam por uma abordagem histórica do fóton. A história contada, entretanto, limita-se à Velha Teoria Quântica, não abordando questões importantes da segunda metade do século XX que se contrapõem à noção primordialmente corpuscular do fóton implicitamente adotada pelos livros (ao abordar o Efeito Fotoelétrico, é dado amplo destaque às características *corpusculares* da radiação eletromagnética). A estrutura composicional dos textos privilegia o experimento em detrimento das teorias e marginaliza as teorias rivais, veiculando

Referências

Bakhtin, M. (2006). *Marxismo e Filosofia da Linguagem*. São Paulo: HUCITEC.
— (2016). *Os gêneros do discurso*. São Paulo: Editora 34.

- Einstein, A. (1905). Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik*, 17(132). Sitio web (en inglés): http://www.esfm2005.ipn.mx/ESFM_Images/paper1.pdf
- Eisberg, R. (1985). *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles*. New York: John Wiley & Sons.
- Fischler, H., Lichtfeldt, M. (1999) Modern physics and students' conceptions. *International Journal of Science Education*, London, v. 14(2), 181-190.
- Greenstein, G.; Zajone A. G. (2006). *The Quantum Challenge – Modern Research on the Foundation of Quantum Mechanics*. Sudbury: Jones and Bartlett Publishers.
- Halliday D., Resnick, R. (2010) *Fundamentos de Física Volume 4*. Rio de Janeiro,: LTC.
- Tipler, P., Llewellyn. (2008) *Modern Physics*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Veneu, A. A.; Ferraz, G.; Rezende, F. (2015) Análise de discursos no ensino de ciências: considerações teóricas, implicações epistemológicas e metodológicas. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(1), 126-149.
- Voloshinov, V. N. (1981). A estrutura do enunciado [La structure de l'énoncé]. *Le principe dialogique, suivi de Ecrits du Cercle de Bakhtine*, 287-315.

Anexo 2

UMA ANÁLISE BAKHTINIANA DOS ENUNCIADOS SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO EM LIVROS DIDÁTICOS DO ENSINO SUPERIOR

Nathan Willig Lima, *Estevão Antunes Junior, Fernanda Ostermann, Claudio Cavalcanti*

RESUMO: Apresenta-se uma análise bakhtiniana dos enunciados sobre Efeito Fotoelétrico encontrados em três livros didáticos de Ensino Superior. Avaliaram-se vozes do artigo original de Einstein que são veiculadas e que são silenciadas nos livros, identificando uma postura epistemológica que guia esse processo de privilegiação de vozes. Os resultados apontam que existe uma omissão das bases do artigo original fundadas na Termodinâmica e na Mecânica Estatística e do uso da Teoria de Wien. Por outro lado, há uma supervalorização do modelo de Planck sustentando um falso corte epistemológico entre Física Clássica e Moderna. Há uma privilegiação dos experimentos em detrimento das vozes que veiculam aspectos metafísicos utilizados no artigo original. Esses processos de veiculação e silenciamento de vozes aponta a sustentação de uma visão de mundo alinhada ao positivismo.

PALAVRAS CHAVE: Efeito Fotoelétrico, Livro didático, Bakhtin.

OBJETIVOS: Fazer uma análise bakhtiniana de enunciados sobre o Efeito Fotoelétrico encontrado em livros didáticos de Ensino Superior (Halliday e Resnick, 2010; Eisberg, 1985; Tipler, 2008) utilizados em disciplinas introdutórias de Física Moderna e Mecânica Quântica, investigando vozes presentes no artigo original que são veiculadas e silenciadas quando o texto é transposto para o contexto didático. A partir disso, identificar se existe a veiculação de uma visão epistemológica que conduza o processo de privilegiação de vozes nos enunciados dos livros didáticos.

1.Referencial Teórico

Foi utilizada a Filosofia da Linguagem de Mikhail Bakhtin (2016) como referencial teórico-metodológico desse trabalho. A partir dessa perspectiva, entende-se que a linguagem deve ser analisada em seu uso concreto. Para tanto, Bakhtin (2006) usa conceito de enunciado como elemento fundamental da linguagem, o qual possui as seguintes características que lhes são únicas e não podem ser encontradas em nenhuma estrutura da língua: alternância de sujeitos, conclusibilidade, expressividade. Pode-se, portanto, usar essas três características para identificar os limites de um enunciado, que pode variar de uma simples interjeição a um romance completo.

O enunciado sempre surge em resposta a enunciados anteriores, dialogando, concordando, discordando, problematizando, ou em antecipação a possíveis enunciados responsivos (possíveis críticas, debates e outros). Por isso, pode-se dizer que um enunciado é populado por vozes (entendidas aqui como visões de mundo ou consciências falantes) que permeiam o discurso. Pode-se entender, portanto, que o significado de um enunciado é dado tanto pelo seu contexto extraverbal mais imediato (situação em que o locutor se encontra fisicamente e conjunto de pessoas para quem fala) bem como por um contexto mais amplo, como o contexto histórico em que se dá a construção do enunciado e, até mesmo, por um contexto ainda mais amplo (o grande tempo) (Veneu; Ferraz; Rezende, 2015).

Conhecendo-se o contexto extraverbal de sua produção, pode-se analisar quais vozes o enunciado veicula e quais ele omite, isto é, pode-se identificar quais visões de mundo estão sendo privilegiadas. No caso de enunciados científicos ou de livros didáticos, por exemplo, pode-se identificar como que a preilegiação de certas vozes corrobora a construção de uma dada visão de ciência.

2.Método

Foi utilizado um dispositivo analítico (Veneu; Ferraz; Rezende, 2015) com quatro etapas. A primeira etapa consistiu em identificar as delimitações dos enunciados a serem analisados. A segunda etapa consistiu em fazer uma primeira leitura dos enunciados já observando as possibilidades de articulação com os conceitos da Filosofia da Linguagem. A terceira etapa consistiu em fazer

uma análise do contexto extraverbal; no caso do presente trabalho, avaliou-se o enunciado original de Einstein sobre Efeito Fotoelétrico uma vez que existe um diálogo entre os livros didáticos e esse enunciado. A última etapa consiste em fazer a análise bakhtiniana propriamente, articulando o que foi encontrado na análise do contexto extraverbal com as características identificadas no enunciado e respondendo as questões de pesquisa.

3.Resultados

Na primeira etapa, identificamos o enunciado de cada livro que trata sobre o Efeito Fotoelétrico usando as três características únicas dos enunciados descritas na seção de referencial teórico. Em uma primeira leitura (segunda etapa) identificamos que os três livros optam por apresentam a Mecânica Quântica seguindo uma abordagem histórica, evidenciando as limitações dos modelos clássicos. Nesse contexto, o Efeito Fotoelétrico é apresentado após a apresentação sobre o modelo de Planck para a radiação de corpo negro.

Na identificação do contexto extraverbal (terceira etapa), fizemos uma análise do artigo original de Einstein (1905) intitulado *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt (Sobre Um Ponto de Vista Heurístico com relação à Emissão e Transformação da Luz)* para avaliar quais vozes desse enunciado são veiculadas nos livros didáticos e quais são silenciadas. A tabela 1 apresenta uma visão geral do artigo.

Tabela 1. Uma visão geral sobre o artigo de Einstein (1905)

Seção do Texto	Ideia Principal	Objetivo
Texto de introdução.	Contraposição entre o Eletromagnetismo e a Mecânica Estatística. Afirmação de que fenômenos óticos surgem de médias temporais e de que não há contradição com a afirmação de uma teoria corpus- cular da luz.	Apresentar distinção presente nos fundamentos da física. (Princípio metafísico subjacente: crença na uni- dade da Física).
¹ Com relação à Dificuldade a	Apresentação da incoerência obtida no	

respeito da Teoria da Radiação de Corpo Negro.	cálculo da distribuição de energia entre o éter e a matéria com as teorias clássicas.	
2. Com relação a Determinação de Planck das Constantes Fundamentais	Demonstração da equivalência da fórmula de Planck com a teoria clássica para baixas energias e cálculo da massa de um átomo de Hidrogênio a partir da equação de Planck.	
3. Com relação à Entropia da Radiação.	Apresentação de um resultado da teoria de Wien para ser usado na seção seguinte.	
4. Forma Assintótica da Entropia da Radiação Monocromática em baixa densidade de radiação.	Demonstração de que a entropia de uma radiação monocromática de baixa densidade varia com o volume da mesma forma que a entropia de um gás ideal ou de uma solução de diluto.	Construir teoricamente a ideia de que a radiação eletromagnética é um sistema descontínuo compostos por quanta de energia R.
5. Investigação Teórico-Molecular da Dependência da Entropia de Gases e Soluções de Dilutos no volume	Apresentação do Princípio de Boltzmann e aplicação desse no cálculo da variação da entropia em um gás ideal.	
6. Interpretação da Expressão da dependência do volume da entropia da radiação monocromática de acordo com o Princípio de Boltzmann.	Demonstração de que a radiação monocromática de baixa densidade se comporta como um sistema descontínuo composto por quanta com energia R.	
7. Com relação à regra de Stokes.	Explica fotoluminescência.	
8. Com relação à Emissão de Raios Catódicos através da Iluminação de Corpos Sólidos.	Explica Efeito Fotoelétrico.	Utilizar a hipótese construída para explicar fenômenos conhecidos.
9. Ionização de Gases por Luz Ultravioleta em Corpos Sólidos	Explica Raios Catódicos.	

Existem aspectos importantes a serem ressaltados com relação ao artigo do Einstein. Primeiramente, com relação à estrutura composicional do artigo: nas seis primeiras seções do artigo, o autor faz uma abordagem teórica do assunto, valendo-se de conceitos da Termodinâmica e da Mecânica Estatística, áreas do conhecimento recém desenvolvidas na época da veiculação do enunciado (Kuhn, 1978). O ponto de partida do artigo não é um experimento, mas uma preocupação de origem metafísica (a unificação da Física) – Einstein não admitia existir uma teoria para estruturas contínuas (campos eletromagnéticos) e outra para corpos ponderáveis (gases, fluidos e matéria em geral).

Além disso, em sua análise teórica, Einstein parte do modelo de Wien (anterior ao de Planck) para chegar na expressão da entropia da radiação eletromagnética e mostrar que essa possui a mesma estrutura da expressão da entropia para um gás ideal. Como, na época do artigo, já era sabido que o modelo de Wien tinha uma concordância com dados experimentais apenas para pequenos comprimentos de onda – Einstein admite, nas últimas seções do artigo, que seu modelo poderia ser válido apenas para a faixa do espectro em que o modelo de Wien era válido.

Por fim, deve-se ressaltar que a noção que Einstein tinha do fóton é que esse era um corpúsculo formando a radiação eletromagnética da mesma forma que os átomos formam os gases. Essa noção vai de encontro à concepção contemporânea do fóton, em que esse objeto quântico apresenta características tanto corpusculares quanto ondulatórias (Greenstein; Zajone, 2006). Einstein acreditava que os fenômenos ondulatórios da luz só apareciam como um comportamento estatístico de um conjunto de fótons e não poderia aparecer para fótons isolados, o que também está em desacordo com a visão contemporânea (Greenstein; Zajone, 2006). É com essa visão corpuscular que Einstein explica três fenômenos da época: a fotoluminescência, o efeito fotoelétrico e a ionização de gases.

Na última etapa (análise bakhtiniana) identificamos que todos os livros didáticos omitem todo o caminho teórico percorrido no artigo original e silenciam

as vozes de Maxwell e Boltzmann, que trazem a contribuição da Termodinâmica e da Mecânica Estatística para a proposição da teoria quântica. Halliday e Resnick (2010) dizem, em apenas um parágrafo, que Einstein propôs que a radiação eletromagnética é quantizada, sem explicar por que é, na seção seguinte, fazem uma discussão sobre o experimento do efeito fotoelétrico por três páginas, explicando como a quantização explica o fenômeno. Tipler (2008) e Eisberg (1984) partem diretamente da explicação do experimento do Efeito Fotoelétrico para, então, propor a quantização da radiação.

Apenas Eisberg (1984) veicula a preocupação de Einstein com a unificação da física e não traz nenhuma discussão sobre o assunto, os outros dois autores silenciam essa parte do artigo original. Os autores Halliday, Resnick e Tipler, portanto, veiculam vozes alinhadas a uma perspectiva que valoriza o empirismo-indutivismo ingênuo e silenciam outras vozes presentes no artigo original (que, como já citado, veiculam reflexões de natureza metafísica como a *unificação* de teorias). Eisberg, apesar de citar a preocupação de Einstein com a unificação, ao não discutir o assunto está, também, silenciando essa voz ao optar por não dialogar com ela – sob o ponto de vista de Bakhtin, não elaborar enunciados sobre a reflexão sobre a unificação, seria como cortar a comunicação verbal a respeito do tópico o que é, em última análise, silenciar. Os três livros apresentam a constante de proporcionalidade entre energia e frequência como a constante de Planck, o que Einstein não fez em seu artigo original (ele manteve a expressão $R\beta/N$). Deve-se lembrar que Einstein não parte do modelo de Planck, mas de Wien para radiação de corpo negro e, na época, não era certo se havia um significado físico para a quantização de Planck (uma quantização similar já havia sido proposta por Boltzmann para o espaço de fase) (Martins; Rosa, 2014) e, portanto, não se pode dizer que Einstein partiu das ideias de Planck para propor o seu modelo, mas Tipler (2008, p.133) e Eisberg (1984, p.30) afirmam isso.

Os autores dos livros didáticos veiculam a voz de Planck em seus enunciados e aumentam a sua importância dentro do trabalho de Einstein. Ao fazer isso é garantida a existência de um corte epistemológico claro entre física clássica e moderna, o qual some quando lemos o artigo de Einstein e os artigos de Planck

(Martins; Rosa, 2014) pois ambos usam termodinâmica e mecânica estatística em seus trabalhos e a quantização da energia de Planck é uma extensão do método de Boltzmann (Martins; Rosa, 2014) sem nenhum significado físico. Latour (2013) afirma que a Modernidade se funda criando cortes epistemológicos que não podem ser identificados empiricamente. Nesse trabalho, identificamos um exemplo claro desse artifício da modernidade. Além disso, negar o uso do modelo de Wien implica a noção de uma ciência linear, pois o modelo de Wien era anterior ao de Planck.

Ainda, nenhum autor fala sobre as limitações do modelo de Einstein expressos no artigo original salvando um ideal de ciência universal. Por fim, nenhum autor fala sobre a noção errada que Einstein possuía de que os fenômenos ondulatórios são efeitos de médias estatísticas da interação de múltiplos fótons, veiculando a infalibilidade científica.

4. Conclusão

Nossa análise mostra que os enunciados dos livros didáticos silenciam as crenças metafísicas de Einstein, a contribuição da Termodinâmica e da Mecânica Estatística, e o uso do modelo de Wien. Por outro lado, supervalorizam o papel do experimento e o papel da teoria de Planck. Com isso, veiculam uma falsa noção de um corte claro entre Física Clássica e Moderna (o que pode ser entendido como um sintoma da Modernidade descrita por Bruno Latour), uma visão empirista indutivista que não corresponde à estrutura original do artigo de Einstein, uma visão de ciência linear, universal e infalível.

Essas características podem ser claramente identificadas com uma visão epistemológica alinhada ao positivismo lógico. Isso significa que os textos didáticos de ensino superior fazem a privilegiação e o silenciamento sistemático de vozes presentes nos discursos da ciência com o intuito de veicular esse viés epistemológico. Aparentemente a academia considera o positivismo uma visão ultrapassada; mas tal visão continua presente em diferentes âmbitos do ensino (Kincheloe; Tobin, 2009) e inclusive no Ensino da Física Moderna. A análise feita evidencia a necessidade urgente de se fazer uma reformulação do Ensino de

Física Moderna e Quântica para que esse esteja em consonância com tendências episte-mológicas contemporâneas.

Referências

- Bakhtin, M. (2006). *Marxismo e Filosofia da Linguagem*. São Paulo: HUCITEC — (2016). *Os gêneros do discurso*. São Paulo: Editora 34.
- Eisberg, R. (1985). *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles*. New York: John Wiley & Sons.
- Greenstein, G.; Zajone A. G. (2006). *The Quantum Challenge – Modern Research on the Foundation of Quantum Mechanics*. Sudbury: Jones and Bartlett Publishers.
- Halliday D., Resnick, R. (2010). *Fundamentos de Física Volume 4*. Rio de Janeiro,: LTC, 8ª ed. Kincheloe, J. L., & Tobin, K. (2009). The much exaggerated death of positivism. *Cultural Studies of Science Education*, 4 (3), 513-528.
- Kuhn, T. (1978). *Black Body Theory and the quantum discontinuity 1894-1912*. New York: Oxford University Press.
- Latour, B. (2013). *Jamais Fomos Modernos: Um Ensaio de Antropologia Simétrica*. São Paul: Editora 34.
- Martins, R. A., Rosa, P. S. (2014). *História da teoria quântica: a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie*. São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Tipler, P., Llewellyn (2008). *Modern Physics*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Veneu, A. A.; Ferraz, G.; Rezend E, F. (2015). Análise de discursos no ensino de ciências: consi-derações teóricas, implicações epistemológicas e metodológicas. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(1), 126-149.
- Voloshinov, V. N. (1981). A estrutura do enunciado [La structure de l'enoncé]. Le principe dialogi-que, suivi de *Ecrits duCercle de Bakhtine*, pp. 287-315.