

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

A Metalinguistic Study on the Photon Interpretation Present in Physics Textbooks Approved in PNLDEM 2015: Elements for a Symmetric Sociology of Science Education

Nathan Willig Lima  Brasil

Bruno Birkheur de Souza  Brasil

Fernanda Ostermann  Brasil

Claudio José de Holanda Cavalcanti  Brasil

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.

We present a work on 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.

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 metalinguístico, 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 textual¹ (Wertsch, 2004) de cada artigo científico e de cada capítulo do livro didático, é possível inferir que eles sempre 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 voz² do locutor se hibridiza³ 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

1 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 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.

2 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).

3 “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)

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.

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 Simétrica⁴.

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)

⁴ 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.

eles se alinham⁵. 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?

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 metalinguística⁶. Apresentamos, nesta seção, os elementos das filosofias de ambos autores que foram utilizados no presente trabalho.

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 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

5 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).

6 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.

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 essência⁷ (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 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 antiplatônico⁸ 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,

7 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).

8 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).

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 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).

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 as 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 estilo⁹ 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).

9 Estilo refere-se às escolhas lexicais, gramaticais e fraseológicas realizadas pelo autor (Bakhtin, 2016).

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).

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 prenhe 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.

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.

Uma Possível História do Fóton – As Interpretações Filosóficas como Tradução¹⁰

O primeiro registro do nascimento fóton¹¹ 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

¹⁰ 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).

¹¹ 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.

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 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*¹², 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 somente de momentum; mas, também, de massa. Esses novos actantes viajarão 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

12 Stark foi o primeiro a dotar o fóton de momentum, o que foi considerado um grande erro por Einstein (Martins, & Rosa, 2014).

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 onda¹³ (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**¹⁴. Além disso, Schrödinger contribuiu para a **desestabilização da cadeia** corpuscular da radiação, explicando o Efeito Compton com um modelo semiclássico 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 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). Entendendo-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,

13 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.

14 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.

o que caracteriza mais um exemplo de **refração** de um texto¹⁵. 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 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.

15 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.

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.

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, 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 uma visão instrumental¹⁶.

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 visões¹⁷. 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 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:

16 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).

17 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).

- O texto didático se articula (ou dialoga) com os artigos originais por um processo de **blackboxing**.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

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 e 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:

1. 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?
2. 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.
3. Os autores sobrepõem a visão de diferentes interpretações na mesma visão como os livros do primeiro grupo.

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:

- 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.

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 dos 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. <https://doi.org/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 ao 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. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/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. <https://doi.org/10.1126/science.183.4130.1164>
- Bunge, M. (2013). *Física e Filosofia*. São Paulo: Perspectiva.
- 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, 169–208.
- Compton, A. H. (1923). A Quantum Theory of the Scattering of X-rays by Light Elements. *Physical Review*, 21(5), 483–502. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.21.483>
- 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. <https://doi.org/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. <https://doi.org/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*. Recuperado de <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. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1590/1983-211720175170106>
- Voloshinov, V. N. (1981). La structure de l'enoncé. In T. Todorov, *Mikhail 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.

Nathan Willig Lima

 <http://orcid.org/0000-0002-0566-3968>
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Porto Alegre, Brasil
00182656@ufrgs.br

Bruno Birkheur de Souza

 <http://orcid.org/0000-0001-8165-5807>
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Porto Alegre, Brasil
bruno.fonini@hotmail.com

Fernanda Ostermann

 <http://orcid.org/0000-0002-0594-2174>
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Porto Alegre, Brasil
00008943@ufrgs.br

Claudio José de Holanda Cavalcanti

 <http://orcid.org/0000-0002-2477-3150>
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Porto Alegre, Brasil
claudio.cavalcanti@ufrgs.br

Submetido em 05 de Setembro de 2017

Aceito em 18 de Janeiro de 2018

Publicado em 26 de Abril de 2018