

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

**EXPLORANDO A INSERÇÃO DE TÓPICOS DE FÍSICA QUÂNTICA EM UMA
ESCOLA ESTADUAL: UM ESTUDO SOB A LUZ DA PERSPECTIVA
SOCIOCULTURAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

LUIZ FELIPE DE MOURA DA ROSA

Porto Alegre - RS

2019

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

**EXPLORANDO A INSERÇÃO DE TÓPICOS DE FÍSICA QUÂNTICA EM UMA
ESCOLA ESTADUAL: UM ESTUDO SOB A LUZ DA PERSPECTIVA
SOCIOCULTURAL**

LUIZ FELIPE DE MOURA DA ROSA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do professor doutor Alessandro Pereira de Pereira, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Porto Alegre - RS

2019

“Apesar de tanto tempo pra chegar à lua, é tanta miséria e fome. O pesadelo é que a vida continua”.

Mas vó - Raimundos

*Dedico este escrito a todos aqueles que
constroem o movimento de resistência a
qualquer forma de retrocesso.*

AGRADECIMENTOS

Como sugere o gênero de fala da seção de agradecimentos de teses e dissertações, agradeço à amigos, colegas, professores e familiares. Eu não gostaria de agradecer ninguém específico, visto que, este meu enunciado (não apenas limitado a essa seção, mas que contempla o texto inteiro) foi moldado por diversas vozes. Algumas em maior, outras em menor, intensidade. Ao escrever essa seção seria injusto deixar alguma de fora, na mesma medida que impossível contemplar a todas. Apesar disso eu gostaria de citar o Paulão de Carvalho, afinal, “ser independente é depender de todo mundo”. À todxs, muito obrigado!

RESUMO

A temática do presente estudo contempla duas linhas da área de Ensino de Física/Ciências, a saber: *Linguagens e discurso* e *Inserção de tópicos de física moderna e contemporânea no ensino*. Através do diálogo com a literatura pertinente à segunda linha, identificamos, enquanto tendências atuais, a fundamentação em referentes vinculados à perspectiva sociocultural; o uso de simulações como estratégias de ensino e pesquisa; e o foco em temas de física quântica, a dualidade onda-partícula em específico. Situamo-nos nessas tendências e estruturamos o presente estudo de forma que esse possa vir a contribuir para as discussões da área. Nos concentramos na análise de interações discursivas emergentes durante uma atividade mediada pelo interferômetro virtual de Mach-Zehnder. Outras pesquisas já foram desenvolvidas nessa linha, contudo destacamos que a presente proposta se diferencia das demais, na medida em que foi implementada no contexto de uma escola pública estadual gaúcha. Nossa problemática de pesquisa é identificar *De que forma os estudantes envolvidos na atividade regulam a outros e a si mesmos no sentido de apropriar-se de explicações oficiais da física quântica? Se houver dinâmicas na forma como eles definem a situação, quais movimentos percebidos nas perspectivas referenciais por eles adotadas?* Para responder a essa pergunta nos apoiamos nas ideias do psicólogo norte americano James Wertsch, em específico, seu tratamento da *ação mediada*. O delineamento metodológico perpassa pelas dinâmicas na zona de desenvolvimento proximal e é, fortemente, apoiado nas características do enunciado.

Palavras-chave: Perspectiva sociocultural; Ação Mediada; Física Quântica; Interferômetro de Mach-Zehnder; Escola pública estadual.

ABSTRACT

The theme of the present study contemplates two lines of the area of Physics/Sciences Teaching, namely: *Languages and speech* and *Insertion of topics of modern and contemporary physics in teaching*. Through the dialogue with the literature pertinent to the second line, we identify, as current tendencies, the foundation in referents linked to the socio-cultural perspective; the use of simulations as teaching and research strategies; and the focus on quantum physics topics, the wave-particle duality in specific. We place ourselves in these tendencies and structure the present study so that it can contribute to the discussions of the area. We focused on the analysis of emerging discursive interactions during an activity mediated by the Mach-Zehnder virtual interferometer. We emphasize that this proposal has a pioneering character, since it was implemented in the context of a public school in the state of Rio Grande do Sul. Our research problem is *whether the students involved in the activity can regulate others and themselves in order to appropriate official explanations of quantum physics?* To answer this question we rely on the ideas of the North American psychologist James Wertsch, in particular, his treatment of *mediated action*. The methodological delineation runs through the dynamics in the zone of proximal development and is strongly supported in the characteristics of the statement.

Keywords: Socio-Cultural Perspective; Mediated Action; Quantum Physics; Mach-Zehnder Interferometer; State Public School.

SUMÁRIO

1 Introdução	10
1.1 Física moderna no Ensino Médio, por quê? Quais tópicos inserir?	10
1.2 Como inserir a MQ no EM?	12
2 Um panorama das pesquisas sobre o ensino de FMC/MQ	15
2.1 O que apontam as revisões de literatura?	15
2.1.1 Estudos sobre concepções de estudantes ou professores acerca de tópicos de FMC/MQ	21
2.1.2 Propostas de estratégias de intervenções didáticas	22
2.1.3 Propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem	24
2.1.4 Análise de materiais didáticos e análise curricular	26
2.2 Uma nova revisão	27
2.2.1 Estudos sobre concepções de estudantes ou professores acerca de tópicos de FMC/MQ	30
2.2.2 Propostas de estratégias de intervenções didáticas	30
2.2.3 Propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem	32
2.2.4 Análise de materiais didáticos e análise curricular	36
2.2.5 Uma forma diferente de olhar para as publicações	38
2.3 Qual é o panorama da linha de inserção de tópicos de FMC no ensino?	39
3 Referencial teórico-metodológico: A ação mediada	42
3.1 A teoria sociocultural e os três temas em Vygotsky	42
3.1.1 Método genético	43
3.1.2 Origens sociais das funções mentais superiores	44
3.1.3 Mediação	46
3.1.4 Zona de desenvolvimento proximal	49
3.2 Gêneros de fala e linguagens sociais: contribuições de Bakhtin	51
3.2.1 Enunciado, voz e dialogismo	52
3.2.2 Gêneros de fala e linguagens sociais	54
3.3 Heterogeneidade e a metáfora do kit de ferramentas	55
3.3.1 Propriedades da ação mediada	56
3.3.2 Heterogeneidade, kit de ferramentas e privilegiação	59
3.3.3 Delineamento da análise	63
3.4 Conclusões a respeito do referencial	67
4 A atividade didática e a análise das interações discursivas	69
4.1 Contexto de aplicação	69

4.2 Descrição da atividade.....	71
4.2.1 <i>Planejamento da atividade</i>	72
4.2.2 <i>Implementação da atividade</i>	73
4.2.3 <i>O interferômetro virtual de Mach-Zehnder</i>	75
4.2.4 <i>A sequência didática</i>	78
4.3 Gênero de fala da instrução formal.....	80
4.4 Gênero de fala da Ciência Oficial.....	81
4.5 A apresentação dos resultados.....	85
4.6 Privilegiação do gênero de fala da Ciência Oficial	86
4.7 Domínio, apropriação e resistência do gênero de fala da Ciência Oficial.....	96
5 Considerações finais	104
6 Referências bibliográficas.....	109
Apêndices.....	117
Apêndice A.....	117
Apêndice B	119

1 INTRODUÇÃO

1.1 Física moderna no Ensino Médio, por quê? Quais tópicos inserir?

A temática da presente dissertação de mestrado é o ensino de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio (EM), mais especificamente, de elementos de física quântica (FQ). Uma categoria empregada na revisão de literatura de Ostermann e Moreira (2000) se ocupa em investigar as justificativas do *porquê* se levar tópicos de FMC para o EM. Para Batista e Siqueira (2017), a contínua evolução da Física e a insatisfação com os processos de ensino e aprendizagem de seus conteúdos têm gerado uma demanda crescente para pesquisadores e professores acerca de uma efetiva inovação curricular e metodológica na Educação Básica. A crescente influência que tais conteúdos exigem para o entendimento do mundo criado pelo homem atual baseia-se fortemente em máquinas, aparelhos e artefatos tecnológicos que, cada vez mais, são compreendidos se algumas noções estabelecidas desde o final do século XIX forem utilizadas, conforme defende Terrazzan (1992) em um trabalho pioneiro no Brasil.

Por outro lado, a justificativa que defendemos se alinha mais com o projeto desenvolvido pelo nosso grupo de pesquisa, que “pretende integrar pesquisa e extensão por meio de ações afirmativas que visam promover a alfabetização científica em escolas da rede pública”. Situamo-nos, portanto, na perspectiva que busca a alfabetização científica¹ em escolas públicas ao desenvolvermos nossa pesquisa em uma escola estadual que, teoricamente, não detém os mesmos privilégios de instituições privadas e federais. Vide um item do próprio edital do concurso vestibular²:

Não suprirá a exigência de ser egresso do Sistema Público de Ensino Médio o candidato que houver cursado disciplinas isoladas ou séries de Ensino Médio em escolas particulares, comunitárias, filantrópicas, confessionais ou pertencentes ao Sistema S (Sesc, Senai, Sesi e Senac), independentemente de sua gratuidade ou da percepção de bolsa de estudos, ainda que custeadas pelo Poder Público (UFRGS, 2018, p. 2).

¹ Sasseron e Carvalho (2011) discutem a pluralidade semântica vinculada ao termo “alfabetização científica”. Assim como fazem as autoras “defendemos uma concepção de ensino de Ciências que pode ser vista como um processo de “enculturação científica” dos alunos, no qual esperaríamos promover condições para que os alunos fossem inseridos em mais uma cultura, a cultura científica.” (SASSERON; CARVALHO, 2011, p. 61).

² Disponível em : < <http://www.ufrgs.br/coperse/concurso-vestibular/antecedentes/2019/concurso-vestibular-2019/EDITALCV2019FINALPGINA.pdf> >

Um dos fatores que poderíamos elencar para isso são as já conhecidas condições das escolas públicas e das políticas neoliberais em favor de seu sucateamento, assim como a realidade socioeconômica dos estudantes dessas instituições. Um reflexo a esse respeito pode ser identificado pela formação dos professores que nelas atuam. Silva et al. (2017) investigaram a formação dos professores atuantes, na disciplina de Física, no estado do Rio Grande do Sul e concluem que apenas 19% desses profissionais são licenciados em Física. Para que haja a adequada inserção de tópicos de FMC na educação básica, a formação do professor é crucial (SILVA, ALMEIDA, 2011). Em estudos desenvolvidos em outros estados brasileiros, se pontua a necessidade de maior investimento na formação de professores para transpor tópicos de FMC em suas aulas (SABINO; PIETROCOLA, 2016; BATISTA; SIQUEIRA, 2017). Rocha, Moreira, Herscovitz (2018), no que tange a formação continuada de professores, chamam a atenção para:

[...] o pequeno número de artigos relacionados à formação continuada de professores (do EM) nesta área, o que parece estar sugerindo a conveniência de ampliar a oferta de cursos e análises de resultados correspondentes a estes docentes (p. 1306-17).

Quanto à formação dos professores de modo geral, para Silva e Almeida (2011):

Dado que o professor é, sem dúvida, o principal mediador em sala de aula, registramos, aqui, a importância da realização de maior número de estudos voltados para a compreensão do imaginário dos docentes de Física sobre esse ensino e também sobre as dificuldades encontradas por aqueles que buscaram realizá-lo (p. 647).

As recentes pesquisas revelam que, apesar de um acúmulo significativo da produção acadêmica recente, cujo propósito é auxiliar pedagogicamente os professores, poucas são as propostas fundamentadas teoricamente que buscam investigar como essa inserção acontece.

No cenário atual, Pereira e Ostermann (2009), Netto, Cavalcanti e Ostermann (2015) revelam que, apesar desse acúmulo de produções científicas recentes (módulos didáticos, jogos, hipermídias, simulações computacionais, textos didáticos, dentre outros), presentes na literatura, poucos são os estudos fundamentados em referenciais teórico-metodológicos para a sua construção que buscam investigar como a inovação curricular e metodológica acontece, na prática, em sala de aula (BATISTA; SIQUEIRA, 2017, p. 882).

Considerando que, apenas recentemente, começaram a aparecer na literatura estudos fundamentados em uma visão sociocultural da aprendizagem para investigar a fala dos alunos sobre tópicos de FQ, novas ferramentas que auxiliem esse tipo de investigação podem ser úteis à área de Ensino de Ciências.

Nesse sentido, o que ensinar também passa a ser uma discussão importante. A FMC pode ser encarada como um grande “guarda-chuva” que contempla uma grande diversidade de conteúdos e não há um consenso quanto à sua demarcação em relação à física clássica (OSTERMANN; MOREIRA, 2000). Pereira e Ostermann (2009), ao investigar quais os tópicos de FMC mais presentes nas publicações da área entre 2001 e 2006, identificam que:

[...] a grande maioria dos temas de pesquisa sobre o ensino de FMC refere-se à MQ. Esses trabalhos totalizam um número de 26 artigos contra 11 trabalhos sobre RE e RG e 13 trabalhos sobre outros temas (radiação, supercondutividade, física de partículas, física nuclear, armas nucleares, etc.) (PEREIRA; OSTERMANN, 2009, p. 413).

Destacamos então, dentre os diversos tópicos contemplados pelo “guarda-chuva” da FMC, a FQ como um conteúdo de importância indiscutível. Contudo, o formalismo e o nível de matemática inerentes à FQ podem representar obstáculos para sua aprendizagem conceitual (OSTERMANN; PRADO, 2005; OSTERMANN; RICCI, 2004; ROCHA; RICARDO, 2016). Greca e Moreira (2001) identificaram que os estudantes de graduação se limitam, muitas vezes, ao tratamento matemático da FQ. Propostas de abordagens conceituais e fenomenológica começaram a aparecer na literatura nas últimas duas décadas (PEREIRA, et al., 2012) e com elas sugestões de inserção de FQ no nível médio (ROCHA, 2015). A pertinência da FQ no EM:

[...] parece ser cada vez mais consensual entre os pesquisadores do Ensino de Física. Os estudos sobre esse assunto apresentam muitas justificativas para que isso deva ocorrer. A busca por alternativas para que esse ensino seja efetivado nas escolas é bastante necessária e a realização de pesquisas em sala de aula nos parece o caminho para obtenção destas alternativas. Complementarmente a isso, é urgente a necessidade por uma formação inicial do professor, para que ele, quando estiver em sala de aula, sinta-se capaz de ensinar esses tópicos, pois de outra forma, a abordagem da FQ no EM não evoluirá do status de pertinência para o status de realidade em grande parte dos cursos de EM (SILVA; ALMEIDA, 2011, p. 646).

1.2 Como inserir a MQ no EM?

Passado mais de duas décadas de justificativas sobre *por que* inserir tópicos de FMC no EM, os desafios, atualmente, voltaram-se para *como*, na prática, inserir seus conteúdos de maneira inovadora em sala de aula (BATISTA; SIQUEIRA, 2017). Essa discussão, assim como “*o quê inserir*”, passa, necessariamente, pelas discussões com respeito ao currículo, no sentido que Silva (2010) aborda. A preocupação com a inserção de tópicos de física moderna e contemporânea no Ensino Médio perpassa por todos os trabalhos de revisões de literatura

anteriores (conforme abordaremos no capítulo 2). Uma das justificativas é justamente o currículo da disciplina na educação básica, conforme seção anterior. Trabalhos do próprio programa de ensino de Física da UFRGS, como os de Telichevesky (2015) e Rocha (2015), já exploraram tópicos de física quântica na escola secundária. Contudo, defendemos que a relevância do presente trabalho se encontra para além do nível de ensino, mas no contexto social mais amplo. O cenário da escola pública estadual gaúcha apresenta particularidades institucionais, históricas e culturais que o distingue do cenário de escolas privadas e institutos federais. Na área de ensino de Ciências, uma alternativa teórica que possa contemplar essas particularidades é a perspectiva sociocultural.

Reconhecendo a relevância e atualidade da problemática da linha de pesquisa de inserção de FMC na educação básica, tanto para professores quanto para pesquisadores em ensino de Ciências, manifestamos nosso objetivo de investigar interações discursivas emergentes em uma atividade de FQ em uma turma de Ensino Médio de uma escola pública sob a lente de um referencial ainda pouco utilizado nas pesquisas em Ensino de Física, a teoria da ação mediada (WERTSCH, 1991; 1998). Apresentamos um quadro teórico para examinar a organização do discurso no ensino da física quântica baseado na aproximação sociocultural proposta por Wertsch (1991); na contribuição deste autor ao construto vygotskyano da zona de desenvolvimento proximal (WERTSCH, 1984); e nas características da ação mediada (WERTSCH, 1998).

No *capítulo 2*, da presente dissertação, buscamos um panorama das pesquisas desenvolvidas na área de ensino de Ciências/Física, para identificar possíveis tendências e adentrar na discussão sobre como tratar a inserção de tópicos de FMC no EM, bem como quais seriam os seus temas relevantes nesse nível de ensino. Inicialmente olhamos para as revisões de literatura sobre o tema de interesse, buscando o *estado da arte* das publicações da área. Na sequência, propomos uma atualização nas revisões que contemple as publicações dos dois últimos anos. Adiantamos que nesse passo identificamos que nos últimos anos aumentaram os trabalhos de investigação fundamentados na perspectiva sociocultural e o uso de simulações computacionais para abordar tópicos de física quântica. Situamos a pesquisa nessas duas tendências da área de Ensino.

No *capítulo 3* apresentamos as bases teóricas, assim como pressupostos filosóficos, que sustentam essa pesquisa. Neste capítulo exploramos o referencial do psicólogo norte-americano James Wertsch (1984; 1985; 1991; 1998; 2002). Wertsch se posiciona no programa sociocultural, e como tal, atribui valor ao discurso. Nesse sentido, importa ideias de grandes

nomes como Vygotsky e Bakhtin. Contudo, o diferencial de sua obra está em colocar como elemento central a ação humana; o sujeito-atuando-com-ferramentas-culturais, ou seja, a *ação mediada*. Wertsch fornece aportes teóricos frente ao desenvolvimento dos indivíduos e dos grupos sociais. Além desses aspectos, Wertsch também é usado para orientar a metodologia da pesquisa, especialmente da análise dos resultados.

No *capítulo 4* apresentaremos e discutiremos os resultados aos quais chegamos em nossa investigação de uma atividade didática de MQ na qual dividiu-se os estudantes em pequenos grupos para que respondessem à questões presentes em um roteiro de exploração do Interferômetro virtual de Mach-Zehnder (IVMZ) (OSTERMANN; PRADO; RICCI, 2006). Seguindo as características do enunciado (WERTSCH, 1991), organizamos as interações discursivas durante a atividade. Classificamo-las de acordo com algumas características da ação mediada (WERTSCH, 1998) e investigamos, entre outros aspectos, a dinâmica da zona de desenvolvimento proximal dos pequenos grupos (WERTSCH, 1984). Essa proposta é bastante semelhante ao que foi desenvolvido por Pereira (2008) e Netto (2015) com alunos de licenciatura em Física e Telichevesky (2015) em uma escola de Ensino Médio da rede privada, no entanto, nosso contexto é a realidade da escola pública e a relevância desse diferencial do ponto de vista de uma pesquisa qualitativa vinculada a um paradigma transformativo (MERTENS, 2009).

No *capítulo 5* será feita uma reflexão de todo o percurso, onde serão discutidas implicações/contribuições gerais das presentes asserções para a área. Nossas reflexões finais serão tecidas a partir da análise dos resultados, indicada no capítulo 4. As asserções conversam com nossa questão de pesquisa. Pode-se dizer que a presente pesquisa busca responder uma questão foco principal, a saber: *De que forma os estudantes envolvidos na atividade regulam a outros e a si mesmos no sentido de apropriar-se de explicações oficiais da física quântica? Se houver dinâmicas na forma como eles definem a situação, quais movimentos percebidos nas perspectivas referenciais por eles adotadas?* Esperamos ser capazes de responder essa questão, sem perder a dimensão de que os participantes da pesquisa são estudantes de uma escola pública.

2. UM PANORAMA DAS PESQUISAS SOBRE O ENSINO DE FMC/MQ

Buscaremos, neste capítulo, identificar um panorama das publicações que tratem a inserção de tópicos de FMC no Ensino Médio. Para isso, procuramos identificar o *estado da arte* dessa linha de pesquisa por meio de revisões de literatura que já selecionaram e exploraram publicações que datam desde a década de 1970 até 2016. De acordo com Rocha, Herscovitz e Moreira (2018), “desde a década de 1970 e até a de 2000, cerca de 270 artigos foram analisados nestas revisões. Este número pode ser um pouco menor, visto que alguns artigos aparecem em mais de uma resenha” (p. 1306-17). Aportados nessas revisões, procuramos por padrões nas formas de categorização dos trabalhos selecionados. Discutimos as transições nessas categorias ao longo da história e, após, a replicamos para uma nova revisão. Essa nova revisão é restrita às publicações dos últimos dois anos nos periódicos nacionais. Apresentamos nosso processo de busca e seleção de trabalhos e, por fim, discutimos esses trabalhos contrastando-os com o “*estado da arte*” identificado na etapa anterior.

2.1 O que apontam as revisões de literatura?

Objetivando estabelecer um panorama das pesquisas sobre ensino de FMC/MQ, nos apoiaremos em revisões da literatura que buscaram identificar o *estado da arte* da área de Ensino, sobre esta linha de pesquisa. Essa investigação dar-se-á através de uma análise de revisões de literatura anteriores sobre o tema, relevantes para a área. Na sequência apresentamos uma por uma, destacando suas asserções e as categorias empregadas em cada uma.

Com o intuito de estabelecer relações com essas revisões de literatura anteriores sobre o ensino de tópicos de física moderna e contemporânea, não poderíamos deixar de trazer o artigo seminal de Ostermann e Moreira (2000). Nesta obra os autores propõem investigar de que forma se deu, ou não, a introdução de FMC no EM desde 1970 até o final do século passado. Os autores classificam os artigos encontrados em seis grandes grupos distintos, sendo eles: a) *justificativas* (para a inserção de FMC no EM); b) *questões metodológicas, epistemológicas e históricas referentes ao ensino de FMC; estratégias de ensino e currículos* (dividindo este grupo em dois subgrupos, separando *as três vertentes principais* das demais); c) *concepções alternativas dos estudantes acerca de tópicos de FMC*; d) *temas de FMC*

apresentados como divulgação ou como bibliografia de consulta para professores e alunos;
e) *propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem* (na qual os autores dividem em três subgrupos por assuntos trabalhados nas escolas: *MQ, armas nucleares e raios cósmicos*); f) *livros didáticos que inserem temas de FMC* (indicando quais livros o fazem na época e de que forma).

Como conclusão deste artigo de revisão da literatura, seria interessante ressaltar que a maior concentração de publicações aparece na seção 5.1 (“apresentação de um tema de FMC”) em contraposição com as seções 4 (“concepções alternativas sobre FMC”) e 6 (“propostas testadas em sala de aula”). É possível que isto demonstre uma necessidade de amadurecimento da linha de pesquisa “FMC no ensino médio”. Parece que há muitas justificativas em favor da atualização curricular e até uma bibliografia que apresenta (não tão aridamente como a literatura especializada) temas modernos. Entretanto, colocar todas estas reflexões na prática da sala de aula é ainda um desafio. [...]É também, cremos, época de mais pesquisas sobre atualização dos currículos de Física em todos os níveis (p. 43).

Em uma proposta de revisão direcionada, especificamente, ao ensino de MQ, Greca e Moreira (2001) investigam estudos relativos ao ensino da MQ introdutória tanto no EM como no Ensino Superior (ES). As produções analisadas pelos autores datam do período que contempla publicações de 1970 até 2000. A classificação dos trabalhos selecionados pelos autores se manifesta através da segregação em três categorias distintas: a) *artigos sobre concepções dos estudantes a respeito de conteúdos de MQ*; b) *trabalhos com críticas aos cursos introdutórios de MQ*; c) *estudos contendo propostas de novas estratégias didáticas*. Eles concluem que, de modo geral:

[...] é possível constatar que pesquisas sobre concepções dos estudantes, embora muito desenvolvidas em áreas como Mecânica, Termodinâmica, Ótica ou Eletromagnetismo, são muito escassas em relação a conceitos quânticos. O interesse a respeito do tema, porém, cresceu muito nos últimos anos. Os resultados obtidos até aqui parecem confirmar as suspeitas dos professores de que os estudantes não compreendem os conceitos quânticos propostos – ainda que as pesquisas não sejam conclusivas em indicar quais em particular, ou por que, em parte devido a que poucos deles têm sido pesquisados até hoje –, e que os alunos limitam-se, em geral, a manipular o formalismo ou, pior, evitam qualquer estudo posterior que envolva tais conceitos. [...]Como respostas a essas críticas têm surgido diversas tentativas, muitas delas visando enfatizar aspectos conceituais da Mecânica Quântica, porém seus resultados estão ainda longe de ser conclusivos (p. 52).

Pereira e Ostermann (2009) apresentam “uma revisão da literatura sobre o ensino de física moderna e contemporânea realizada através da consulta a artigos publicados nas principais revistas de ensino de ciências do Brasil e do exterior no período de 2001 a 2006”

(PEREIRA, OSTERMANN, 2009, p. 393). Os autores consideram, em sua versão ampliada de um trabalho anteriormente apresentado em evento da área, que faz-se pertinente uma revisão naquele momento sobre o tema, tendo em vista as problemáticas e lacunas apontadas em revisões anteriores (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; GRECA; MOREIRA, 2001). Sua investigação abrangeu trabalhos sobre o ensino de FMC em todos os níveis de ensino. Os autores classificam os trabalhos encontrados nas seguintes categorias: a) *propostas didáticas testadas em sala de aula*; b) *levantamento de concepções*; c) *bibliografia de consulta para professores*; d) *análise curricular*. Um dos temas que se destaca entre os textos didáticos é a Mecânica Quântica.

Dos 102 artigos consultados, 52 trabalhos foram classificados com bibliografia de consulta para professores (categoria 3) enquanto que os 50 trabalhos restantes foram distribuídos entre as demais categorias. [...] Dentre os trabalhos de pesquisa apresentados, constatamos um número de 16 trabalhos que testaram o conhecimento de estudantes (concepções) acerca de temas de FMC, o que corresponde a 32% dos trabalhos de pesquisa consultados e 15,69% da amostra total. Dos 50 artigos de pesquisas consultados, 22 referem-se à inserção de temas de FMC no ensino médio e um artigo relata uma experiência didática desenvolvida no ensino fundamental. [...] No que se refere aos trabalhos de desenvolvimento, 18 artigos apresentam textos didáticos para professores contra uma amostra de 30 artigos que apresentam recursos didáticos (simulações computacionais e experimentos de baixo custo) ou propostas de estratégia didática (modelos didáticos e analogias). (PEREIRA; OSTERMANN, 2009, p. 413-414).

Pantoja, Moreira e Herscovitz (2011), buscam trabalhos de pesquisa em ensino de MQ entre 1999 até 2009. Já no resumo, os autores apresentam sua motivação de complementar revisões de literatura anteriores (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; GRECA; MOREIRA, 2001) considerando que “o conhecimento produzido sobre a temática de pesquisa em Ensino de Física Moderna/Mecânica Quântica era incipiente até os anos 2000/2001 se comparado com o produzido pela pesquisa em Ensino de Física Clássica (Mecânica Clássica, Eletromagnetismo, Termodinâmica)” (PANTOJA; MOREIRA; HERSCOVITZ, 2011, p. 2). Não há especificação de nível de ensino entre os critérios de busca/exclusão adotados. Ao longo do texto os autores justificam a emersão de cinco categorias, com base naquelas empregadas nas revisões nas quais se espelham, a saber: a) *propostas didáticas*; b) *implementações de propostas didáticas*; c) *estudos de concepções*; d) *análise curricular e críticas aos cursos introdutórios de MQ*; e) *análise teórica/epistemológica*.

O maior número de publicações analisado se encontra na categoria de implementação de propostas didáticas (27 trabalhos) e o menor nas categorias de análise teórica/epistemológica e análise curricular (quatro trabalhos em cada uma). [...] Outro ponto a ser destacado é o progresso da pesquisa nesta temática. O número de artigos por ano vem apresentando avanços e retrocessos, porém, em termos gerais o número tem aumentado. [...] Na categoria de propostas didáticas o número de

publicações foi aproximadamente uniformemente distribuído ao longo do tempo. Já na categoria de implementações de propostas didáticas, ocorreu um salto no número de publicações nos anos de 2008 (5 artigos) e 2009 (8 artigos). No que tange à classificação dos estudos de concepções, o salto também ocorreu em 2009 (6 artigos). Nas duas classificações restantes a distribuição foi quase uniforme (p. 27-28).

Preocupados especificamente com as pesquisas desenvolvidas em âmbito de EM, Silva e Almeida (2011) trazem em sua revisão um panorama das publicações relacionadas a MQ neste contexto. Sua revisão contempla os anos de 1997 a 2010. Os trabalhos encontrados foram separados em cinco categorias: a) *revisão da literatura sobre o ensino de MQ/FMC*; b) *análise curricular*; c) *análise dos conteúdos em livros que abordam MQ/FMC*; d) *elaboração e/ou aplicação de propostas de ensino*; e) *concepções de professores sobre o ensino de MQ/FMC no EM*.

No levantamento de pesquisas realizado neste estudo, encontramos 16 propostas de ensino e/ou aplicação de propostas de ensino de FQ. É um número pequeno, se considerarmos o amplo espectro de assuntos possíveis relacionados a esse conteúdo. Por outro lado, encontramos um único trabalho relacionado a concepções de professores sobre o ensino de FQ/FMC no EM. [...] Finalizamos ressaltando, novamente, a necessidade de realização de mais trabalhos sobre o ensino de FQ no EM, de forma a ampliar o conhecimento sobre o assunto, tendo em vista aumentar a possibilidade de o professor trabalhá-la em sala de aula (p. 647).

Rocha, Herscovitz e Moreira (2018) trazem “uma revisão da literatura recente acerca de publicações envolvendo o ensino e a aprendizagem de conceitos fundamentais de MQ, especialmente no Ensino Médio (EM) ou com implicações para este nível de ensino” (p. 1306-1). Em um capítulo que sucede a introdução do seu artigo, os autores buscam estabelecer um movimento de diálogo com revisões de literatura anteriores, muito semelhante ao que estamos nos propondo nesta seção. Entendendo a dinâmica da transição que a temática de FMC/MQ teve na área de ensino de Física/Ciências desde os apontamentos das revisões de literatura do início do século (OSTERMANN, MOREIRA, 2000; GRECA, MOREIRA, 2001) até as mais atuais (PANTOJA, et al., 2011; SILVA, ALMEIDA, 2011), Rocha, Herscovitz e Moreira (2018) definem o *escopo* temporal de sua busca com publicações ainda mais recentes, que datem entre 2010 e 2016. De sua pesquisa emergem cinco categorias: a) *propostas pedagógicas*; b) *propostas didáticas implementadas*; c) *estudos sobre concepções de estudantes ou professores acerca de tópicos fundamentais de Mecânica Quântica*; d) *análise de material didático*; e) *estudos sobre formação continuada*. Rocha, Herscovitz e Moreira (2018) estimam com base na sua revisão de literatura, e nas anteriores, que cerca de 270 trabalhos foram publicados sobre a temática do ensino de FMC/MQ desde 1970 (na

verdade, reconhecem ser um número um pouco menor tendo em vista que um mesmo trabalho pode ter sido contabilizado em mais de uma revisão). De sua busca, selecionaram oitenta trabalhos que abordam tópicos de MQ, particularmente. Desses:

Foram encontrados 34 trabalhos relativos ao EM ou com implicações para ele (nove em propostas pedagógicas, onze em propostas didáticas implementadas, sete em estudos sobre concepções, cinco em estudos sobre material didático e dois em estudos de formação continuada). No período em análise, a revisão inclui o conteúdo e os temas mais atuais de MQ apresentados no Ensino de Física, segundo os periódicos analisados. As cinco revisões anteriores apontaram escassez ora na aplicação de propostas didáticas, ora nos estudos de levantamento de concepções, enquanto na presente revisão constata-se que os trabalhos estão bastante concentrados na segunda e terceira categorias com, respectivamente, 25 e 30 trabalhos encontrados, indicando que os estudos desta década sobre a inserção de tópicos de MQ visam especialmente a análise da compreensão conceitual da MQ e das concepções adotadas pelos estudantes. Em contrapartida, foi possível constatar que existem poucos trabalhos, dentre os analisados, que visam a implementação de uma proposta didática com conceitos e princípios fundamentais da MQ para alunos de EM (p. 1306-17).

No quadro 1, compactamos uma relação entre os trabalhos de revisão e as categorias empregadas pelos autores.

Quadro 1: Relação de trabalhos e as categorias empregadas por eles.

Autores	Categorias empregadas
Ostermann e Moreira (2000)	<p>a) <i>justificativas;</i></p> <p>b) <i>questões metodológicas, epistemológicas e históricas referentes ao ensino de FMC; estratégias de ensino e currículos;</i></p> <p>c) <i>concepções alternativas dos estudantes acerca de tópicos de FMC;</i></p> <p>d) <i>temas de FMC apresentados como divulgação ou como bibliografia de consulta para professores e alunos;</i></p> <p>e) <i>propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem;</i></p> <p>f) <i>livros didáticos que inserem temas de FMC</i></p>

	(indicando quais livros o fazem na época e de que forma)
Greca e Moreira (2001)	<p>a) <i>artigos sobre concepções dos estudantes a respeito de conteúdos de MQ;</i></p> <p>b) <i>trabalhos com críticas aos cursos introdutórios de MQ;</i></p> <p>c) <i>estudos contendo propostas de novas estratégias didáticas.</i></p>
Pereira e Ostermann (2009)	<p>a) <i>propostas didáticas testadas em sala de aula;</i></p> <p>b) <i>levantamento de concepções;</i></p> <p>c) <i>bibliografia de consulta para professores;</i></p> <p>d) <i>análise curricular.</i></p>
Pantoja, Moreira e Herscovitz (2011)	<p>a) <i>propostas didáticas;</i></p> <p>b) <i>implementações de propostas didáticas;</i></p> <p>c) <i>estudos de concepções;</i></p> <p>d) <i>análise curricular e críticas aos cursos introdutórios de MQ;</i></p> <p>e) <i>análise teórica/epistemológica.</i></p>
Silva e Almeida (2011)	<p>a) <i>revisão da literatura sobre o ensino de MQ/FMC;</i></p> <p>b) <i>análise curricular;</i></p> <p>c) <i>análise dos conteúdos em livros que abordam MQ/FMC;</i></p> <p>d) <i>elaboração e/ou aplicação de propostas de ensino;</i></p>

	e) <i>concepções de professores sobre o ensino de MQ/FMC no EM.</i>
Rocha, Herscovitz e Moreira (2018)	a) <i>propostas pedagógicas;</i> b) <i>propostas didáticas implementadas;</i> c) <i>estudos sobre concepções de estudantes ou professores acerca de tópicos fundamentais de Mecânica Quântica;</i> d) <i>análise de material didático;</i> e) <i>estudos sobre formação continuada.</i>

Uma dentre as vantagens do quadro 1 é permitir a comparação de forma simplificada entre as categorias empregadas em cada trabalho de revisão. Como era de se esperar, variações de uma mesma categoria são empregadas em distintas revisões. Tentando compactar as ideias apresentadas nas categorias utilizadas, conforme ilustra quadro 1, propomos um conjunto de quatro grandes categorias, sendo elas: a) *estudos sobre concepções de estudantes ou professores acerca de tópicos de FMC/MQ;* b) *propostas de estratégias de intervenções didáticas;* c) *propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem;* d) *análise de materiais didáticos e análise curricular.* Cada categoria traz consigo subsídios históricos que permitem identificar elementos característicos das pesquisas da área de Ensino de Física/Ciências no que tange o estudo da inserção de tópicos de FMC/MQ nos diferentes níveis de ensino que serão discutidos com maior profundidade nas subseções apresentadas a seguir.

2.1.1 Estudos sobre concepções de estudantes ou professores acerca de tópicos de FMC/MQ

Nas décadas de 80 e 90 a área de Ensino teve grande parte de suas pesquisas concentradas no mapeamento das concepções de professores e estudantes sobre os mais diversos conteúdos científicos (MORTIMER, 1996; NARDI, GATTI, 2004; PEREIRA, 2012; 2017). Com o passar dos anos surgiram modelos cognitivistas (em sua maioria) que buscavam

a transição (ou abandono) de concepções alternativas (ou errôneas) no sentido das concepções cientificamente aceitas (MORTIMER, 1996; NARDI; GATTI, 2004). Esses modelos ficaram conhecidos como modelos de mudança conceitual, sendo o principal deles proposto por Posner et al. (1982), presente na área até hoje (ROSA, ROSA e PEREIRA, 2019). A disciplina específica com maior número de investigações desta natureza era a Física (NARDI, GATTI, 2004). No entanto, mesmo concentrando o maior número de publicações, poucas investigações no Ensino de Física contemplavam concepções a respeito de FMC/MQ (OSTERMANN; MOREIRA, 2000). Na revisão pioneira de Ostermann e Moreira (2000), os autores avaliam a carência de trabalhos dedicados a investigar concepções alternativas sobre FMC, seja por parte de professores ou estudantes. No que diz respeito à Física quântica em específico, Greca e Moreira (2001) acusam a escassez de publicações que investiguem as concepções dos estudantes e reiteram a relevância desse tipo de trabalho.

Em todas as revisões de literatura posteriores à essas duas (seção 2.1), os respectivos autores dedicam uma categoria na qual arrolam as produções referentes às concepções alternativas de alunos e/ou professores. Observa-se que o número de publicações a este respeito vem aumentando proporcionalmente nos últimos anos (PANTOJA; MOREIRA; HERSCOVITZ, 2011; SILVA; ALMEIDA, 2011). Além disso, Pereira e Ostermann (2009) chamam a atenção para a presença de trabalhos nessa categoria que contemplam atitudes, modelos mentais, invariantes operatórios, modos de raciocínio, perfis conceituais, interpretações entre outros. Pantoja, Moreira e Herscovitz (2011) avaliam que, dos trabalhos analisados em sua revisão, poucos recorrem a referenciais teóricos de aprendizagem, pois somente um terço destes apropria-se deste recurso.

Ao considerarmos o fato de os trabalhos serem estudos de concepções, este dado se torna justificável, pois neste tipo de pesquisa o objetivo principal é a descrição da forma da estrutura cognitiva ao invés da explicação dos mecanismos subjacentes à aquisição de conhecimento pela mesma. [...] Deve-se destacar ainda a quantidade de estudos de concepções que vem progredindo ao longo do tempo, fato crucial para o avanço da área de pesquisa em Ensino de MQ, visto que nos permite tanto verificar o conhecimento prévio dos estudantes como suas concepções alternativas (ou errôneas), um fator fundamental para a determinação de pontos de partida para o desenvolvimento de estratégias didáticas facilitadoras da aprendizagem. [...] Alguns dos trabalhos, entretanto, são muito introdutórios, pois focam na construção de questionários para a detecção de concepções e por vezes descrevem mais a capacidade do instrumento que as concepções obtidas (PANTOJA; MOREIRA; HERSCOVITZ, 2011, p. 22).

2.1.2 Análise de materiais didáticos e análise curricular

A preocupação com a inovação curricular da disciplina de Física na Educação Básica e também no ES transpõe praticamente todas as revisões. Uma das principais justificativas empregadas por Ostermann e Moreira (2000) frente à relevância de sua revisão é justamente que a mesma pudesse servir como um instrumento que auxiliasse o processo de mudança curricular.

Os parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio, recentemente, divulgados pelo Ministério da Educação, também apontam na direção de uma profunda reformulação do currículo de Física na escola média. [...] com a finalidade de obter uma lista consensual, entre físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores de Física do ensino médio, sobre quais tópicos de Física Contemporânea deveriam ser abordados na escola média, se quiséssemos atualizar o currículo de Física neste nível, chegamos a seguinte lista final: *efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang, estrutura molecular, fibras ópticas* (p. 43).

Já os materiais didáticos que trazem conteúdos de FMC/MQ, também já foram alvo de investigações anteriores como aponta a literatura (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; PEREIRA; OSTERMANN, 2009; SILVA; ALMEIDA, 2011; ROCHA; HERSCOVITZ MOREIRA, 2018). Entretanto, não há um consenso entre pesquisadores de que forma proceder com a análise desses materiais. No entanto, concordamos com Silva e Almeida (2011) quando afirmam que “quanto aos trabalhos que analisam os conteúdos de livros, podemos dizer que eles cumprem importante papel como consequência do fato de que esses recursos podem ser utilizados pelos professores em aula” (SILVA, ALMEIDA, 2011, p. 645). Quanto às conclusões das análises dos trabalhos arrolados nessa categoria nas respectivas revisões, temos na revisão de Ostermann e Moreira (2000) apenas cinco livros, sendo que os autores destacam que, na época, “o livro-texto de Física possivelmente mais adotado nas escolas gaúchas (Bonjorno, 1993) não apresenta nenhum tópico de FMC” (OSTERMANN; MOREIRA, 2000, p. 39). A maioria dos demais traziam os temas em seções especiais ao final de capítulos.

Pereira e Ostermann (2009) identificam que os trabalhos que analisam livros didáticos estão ocupados com a teoria da relatividade. Dessas análises, chegou-se a diferentes conclusões, a saber:

[...] contextualização histórica da RE; reflexão epistemológica referente à gênese da RE; repercussão da RE em diferentes âmbitos; discussões conceituais. [...] a grande maioria, quando não apresenta a teoria de forma muito superficial, apresenta em seus textos erros conceituais a respeito da contração de Lorentz-FitzGerald e a aparência visual de objetos relativísticos. [...] além de interpretar de forma errônea a

equivalência massa-energia, delegam ao conceito de massa relativística uma importância fundamental, quando, de fato, trata-se de um conceito inadequado que não deveria ser abordado (p. 413).

Silva e Almeida (2011) arrolam apenas um trabalho nessa categoria, trabalho esse que se propõe a investigar:

[...] a maneira como experimentos de pensamento sobre a teoria da Relatividade e a MQ são apresentados em livros-texto e livros de divulgação da Física; e se eles poderiam despertar o interesse de estudantes e agir como material educacional para familiarizá-los com as teorias modernas da Física. Segundo o trabalho, experimentos de pensamento seriam ferramentas conceituais que possibilitariam aos cientistas estudarem o mundo físico, tendo importante papel no avanço da Ciência. [...] A conclusão a que se chega é de que os experimentos de pensamento foram amplamente usados pelos físicos que desenvolveram as teorias da Relatividade e da MQ e, após terem passado por processos de adaptação da linguagem e do formalismo matemático, constituiriam conteúdo insubstituível de livros-texto e de livros de divulgação da Física. Além disso, as técnicas narrativas utilizadas para apresentá-los teriam provado serem atrativas a estudantes secundários (p. 632).

Enquanto Ostermann e Moreira (2000) olham direto para livros didáticos da sua época, as outras duas revisões identificam um total de quatro trabalhos de análise de materiais didáticos. Porém, entre 2010 e 2016, Rocha, Herscovitz e Moreira (2018) identificam o dobro, ou seja, oito trabalhos nessa linha. Vale apontar que nessa revisão, além de materiais didáticos, são contempladas análises de materiais paradidáticos. Como materiais didáticos os autores incluem animações, conjuntos de materiais disponibilizados *online* e, inclusive, algumas propostas experimentais. Um ponto geral dos pesquisadores se dirige aos trabalhos investigados que fazem estudos com os próprios estudantes sobre os materiais e esses reforçam o papel da didática do professor e materiais que abordem os temas de forma mais conceitual e fenomenológica enquanto promotores de índices maiores de aprendizagem.

2.1.3 Propostas de estratégias de intervenções didáticas

A categoria de “propostas de estratégias de intervenção didática” aparecem em todas as revisões (seção 2.1), assim como a de “concepções”. Da mesma forma que identificam trabalhos anteriores (PEREIRA, OSTERMANN, 2009; GRECA, MOREIRA, 2001), o maior número de produções está situado nessa categoria. É possível constatar que, apesar do notável aumento relativo de publicações sobre o ensino de FMC que apresentam resultados de pesquisa, a maioria dos artigos ainda se refere à bibliografia de consulta para professores. Das produções arroladas nessa categoria, é possível identificar: textos didáticos para professores (atuantes ou em formação), propostas de confecção de aparato experimental com material reciclável ou de baixo custo, estratégias didáticas e orientações quanto ao uso didático de

hardwares de coleta de dados (sensores e arduino) assim como *softwares* de simulação computacional. Contudo, ressaltamos a ponderação apresentada por Pereira e Ostermann (2009):

Embora os trabalhos de desenvolvimentos sejam extremamente relevantes para o ensino de ciências, pois são fontes de informação e recursos para professores e alunos, é necessário que o material resultante desses trabalhos seja submetido a uma avaliação crítica para verificar em que medida eles realmente facilitam os processos de ensino-aprendizagem. (PEREIRA, OSTERMANN, 2009, p. 414).

Além da preocupação, as propostas de “como” inserir a FMC nos diferentes níveis de ensino, especialmente na educação básica, percebe-se também uma grande preocupação com o “porquê” e com o “que” ensinar. Quase duas décadas depois das problematizações iniciais, Rocha, Herscovitz e Moreira (2018) concluem, com respeito à inserção de tópicos de física quântica no ensino, que:

O desafio inerente à pesquisa neste campo de conhecimento fica explícito em praticamente todos os trabalhos apresentados, seja os relativos ao EM, ao ensino superior ou na *formação continuada de professores*. Isto, no entanto, não deve oferecer obstáculos para o desenvolvimento de tais pesquisas em Ensino de Física, mas sim promover uma busca por *diferentes formas de apresentação da MQ, visando a atualização curricular e o interesse dos alunos nos conteúdos de Física e na carreira científica*. Atente-se para o fato de a tecnologia atual estar em uma fase de ampla aplicação de consequências da MQ, destacando ainda mais a matéria para o ensino em diversas carreiras de nível médio e superior (p. 1306-17; nosso destaque).

Destacamos na fala dos autores, além da pertinente preocupação com a mudança curricular, a “formação continuada de professores”. Silva e Almeida (2011) advogam que se deve investir tanto na formação inicial quanto continuada dos professores de Física, visto que, “o principal elo da corrente da inserção de tópicos de FMC no EM é o professor”. Vale lembrar que o trabalho de Silva e Almeida está preocupado, especificamente, com o EM. Com respeito ao “como”, “por que” e “o quê” levar (d)a física quântica para esse nível de ensino os autores identificam que:

[...] há certo consenso na questão de que só faz sentido levar a FQ para o EM se for privilegiado seu caráter qualitativo, conceitual, filosófico, cultural, em detrimento de um enfoque excessivamente matemático. Dentro dessa perspectiva, destaca-se o uso de textos de divulgação científica, de textos originais de cientistas, de simulações computacionais e de experimentos de pensamento. Essas estratégias, além de atuarem em prol da construção conceitual e cultural, poderiam, também, possibilitar a compreensão da maneira humana como a Ciência é construída, evidenciando que, nela, são criados modelos intentando explicar a realidade. Por outro lado, constatamos que há algumas propostas em relação aos conteúdos de FQ que poderiam ser apresentados no EM, incluindo as formas de fazê-lo. Há aquelas que

defendem que o conceito de dualidade onda-partícula seria central. Já outras, advogam a importância da interpretação probabilística da FQ, ou do Princípio da Incerteza de Heisenberg, ou, ainda, do conceito de spin. Simultaneamente, contrariando essas distinções, há certo consenso na ideia de que seria necessário abordar a “nova” FQ, não se limitando apenas ao efeito fotoelétrico, aos raios-X e à quantização da energia (p. 647).

2.1.4 Propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem

Apesar da crítica tecida às propostas didáticas não testadas e avaliadas empiricamente, ainda são poucas aquelas que são de fato aplicadas e têm seus resultados analisados. Embora se reconheça o aumento histórico da densidade de publicações sobre o tema, ainda se mantém a grande diferença para as propostas não avaliadas. Este é um indício de que essa densidade de produções vem se intensificando nas últimas décadas como avaliam Rocha, Herscovitz e Moreira (2018), apesar de se manterem proporções indesejadas na natureza dessas produções. O único trabalho de revisão que divergiu dessa conclusão foi o de Pantoja, Moreira e Herscovitz (2011). No referido trabalho, os autores chamam atenção para o aumento da quantidade de artigos publicados na categoria de implementação de propostas didáticas (cinco e oito trabalhos, respectivamente, nos dois últimos anos da revisão) e que tais implementações ocorrem, em sua maioria, no Ensino Superior (21 dos 25 trabalhos encontrados). Uma crítica tecida por Pereira e Ostermann (2009), ao olhar para as publicações entre 2000 e 2006, é que:

[...] a maioria dos trabalhos de pesquisas que avaliam propostas didáticas em sala de aula se ocupa da organização do conteúdo e do rigor científicos com que eles são apresentados. Embora o rigor e a ênfase em conceitos-chave sejam imprescindíveis para um bom ensino, é necessário também investigar os processos conduzidos em sala de aula que estruturam e condicionam a aprendizagem. Somente assim poderemos adquirir uma melhor compreensão dos mecanismos utilizados por professores e alunos na construção de conhecimentos relativos a temas de FMC. (p. 413-414).

Outro aspecto é que não é difícil notar pelos relatos das propostas testadas que aparecem nas revisões posteriores à de Pereira e Ostermann, uma forte tendência em recorrer a referenciais teóricos cognitivistas para fundamentar as propostas arroladas nessa categoria. Ao longo de seu escrito, Pantoja, Moreira e Herscovitz (2011) demonstram estar alinhados com essa perspectiva de aprendizagem. Sobre as implementações, eles concluem que um:

Ponto positivo é a grande quantidade de trabalhos a usar referenciais teóricos, seja de aprendizagem, seja de epistemologia, para a fundamentação das intervenções. 18 dos 25 trabalhos valem-se de fundamentação teórica para a construção da instrução

[Em sua maioria construtivista, como os campos conceituais de Vergnaud ou a aprendizagem significativa de Ausubel]. A aula expositiva é a metodologia mais usada pelos autores para o desenvolvimento da instrução, tendo 12 dos trabalhos encabeçados pela metodologia. Outra metodologia de expressivo uso nas pesquisas é a de instrução via laboratórios virtuais, sendo esta explícita em seis dos 25 trabalhos. A combinação das duas metodologias mais usadas ocorre em três dos trabalhos e outras metodologias contabilizam quatro ocorrências (tutoriais, jogos, etc). A integração entre laboratórios virtuais e aulas expositivas no Ensino de Mecânica Quântica, revela-se, portanto, como um fértil campo de pesquisa na área (p.17; nossa observação).

2.2 Uma nova revisão

Na seção 2.1, procuramos identificar o panorama na linha de pesquisa de inserção de tópicos de FMC/MQ na área de Ensino de Física/Ciências. Para isso, procedemos com uma espécie de “meta-revisão” de artigos de pesquisa da área, na qual apresentamos algumas revisões de literatura sobre o nosso tema de interesse na presente dissertação. Nosso objetivo geral de conhecer o *estado da arte* das pesquisas que seguem nessa linha entre 1970 e 2016 assenta parcialmente contemplado. Contudo, ao final do processo passamos a nos questionar: *qual será a realidade das publicações dos últimos dois anos? Seguiriam elas tendências identificadas em revisões anteriores?* Motivados por essa inquietação propomos uma nova revisão de literatura. Tendo em vista o objetivo de obter um panorama local e mais atual das pesquisas, foi feita uma busca nos principais periódicos da área entre 2017 e 2018. Embora identifiquemos que das seis revisões de literatura abordadas na seção anterior, todas apresentaram uma busca de trabalhos tanto no Brasil quanto no exterior, optamos por limitar nossa busca apenas ao cenário brasileiro.

Entre os “tipos inesquecíveis” de revisões de literatura que aponta criticamente Alves (1992), está aquele que ela chama de “Xenófobo”. Ao apresentar sua “categoria”, ela defende que esse tipo de revisão “não admite citar literatura estrangeira, mesmo quando a produção nacional sobre o tema é insuficiente” (ALVES, 1992, p. 58). Concordamos com as ideias de Alves sobre a qualidade de uma revisão de literatura, entretanto, defendemos nossa decisão de nos limitarmos à literatura nacional apesar da crítica e de que nenhuma outra revisão em que nos baseamos tenha optado por essa limitação. Nossa pesquisa se concentra no cenário sociocultural de uma escola pública estadual, brasileira, gaúcha. Portanto, nosso interesse são justamente as produções locais, nacionais, pois assumimos que cada contexto possui suas particularidades e por isso nos ocupamos com contextos que partilhem a mesma linguagem nacional e proximidades históricas, culturais e geográficas. As contribuições das revisões anteriores já nos dão uma boa ideia “do contexto global”, ainda mais que a mais recente delas

promoveu por sua vez esse diálogo com revisões anteriores à sua publicação e contempla trabalhos publicados até 2016, o que julgamos bastante recente.

Assumindo, definitivamente, nossa posição de limitar a busca em periódicos nacionais, da mesma forma que em Rosa, Rosa e Pereira (2019), também adotaremos o parâmetro para definir os “principais periódicos” basicamente seguindo classificação A1 e A2 na área de *Ensino*, de acordo com a última avaliação quadrienal do *Qualis* da CAPES. Seguiu-se então certo *corpus* pré-definido de periódicos mais relevantes nesse universo, de acordo com as revisões de literatura discutidas na seção anterior. Esse *corpus* é constituído de 7 revistas e periódicos nacionais (Ciência & Educação, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Revista Brasileira de Ensino de Física, Investigações em Ensino de Ciências, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências).

Após a definição do *corpus* a ser investigado, procedeu-se a etapa de busca dos artigos diretamente nos *web sites* das revistas. Obedecendo ao escopo definido anteriormente, usou-se o critério de seleção temporal, limitando a busca a publicações entre 2017 e 2018. Este critério se justifica, pois, além de estar de acordo com as pretensões desta dissertação, também possibilita uma continuação à revisão de Rocha, Herscovitz e Moreira (2018). Na referida revisão, os autores iniciam procedendo com uma breve análise de revisões anteriores expressivas na área sobre a temática (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; GRECA; MOREIRA, 2001; PEREIRA; OSTERMANN, 2009; PANTOJA; HERSCOVITZ; MOREIRA, 2011; SILVA; ALMEIDA, 2011) e seguem analisando publicações no intervalo entre 2010 e 2016.

O levantamento do universo de artigos trazidos na presente dissertação ocorreu durante o mês de janeiro de 2019. Procurou-se, nos sítios eletrônicos dos periódicos indicados anteriormente, pelos termos “quântica”, “moderna” e “contemporânea”. Retornaram da busca um total de 62 (sessenta e dois) trabalhos. Primeiramente, leu-se o título e os resumos dos mesmos. Com isso foram excluídos alguns trabalhos que divergiam do interesse da presente pesquisa, restando assim 30 (trinta) artigos. A esta primeira etapa chamamos de *pré-seleção*. Com base nas categorias e restringindo para trabalhos que contemplem a educação básica e tratem de temas específicos de FQ ou abordem FMC de modo geral procedeu-se a leitura na íntegra dos textos, etapa que levou à exclusão de mais trabalhos, restando assim apenas 16 (dezesesseis) artigos. A segunda etapa é identificada por *seleção final*. Após a definição do escopo da revisão e aplicação dos critérios de seleção e exclusão, montou-se a tabela 1, para

possibilitar ao leitor uma melhor visão da distribuição dos trabalhos encontrados, tanto que retornaram das revistas, na pré-seleção e na seleção final.

Tabela 1: Relação de revistas e quantidade artigos selecionados em cada fase do processo

Periódico	Retornaram da busca	Pré-seleção	Seleção final
Ciência & Educação	2	1	1
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	18	11	7
Revista Brasileira de Ensino de Física	29	12	5
Investigações em Ensino de Ciências	3	2	1
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	3	2	2
Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia	4	1	0
Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências	3	1	0
Total	62	30	16

De forma análoga ao que foi proposto por Pantoja, Moreira e Herscovitz (2011), nossas categorias emergem das categorias já empregadas anteriormente por outras revisões de literatura. Na seção 2.1, ao olharmos para as categorias empregadas de forma mais recorrente nas revisões anteriores, identificamos quatro categorias que apareceram em, pelo menos, quatro das seis revisões, a saber: a) *estudos sobre concepções de estudantes ou professores acerca de tópicos de FMC/MQ*; b) *propostas de estratégias de intervenções didáticas*; c) *propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem*; d) *análise de materiais didáticos e análise curricular*. Como as próprias revisões alertam, existem diferentes maneiras de agrupar os materiais, podendo muitas vezes, o mesmo trabalho poder pertencer a mais de uma categoria. Com base no padrão encontrado nas próprias revisões, essas quatro categorias não apenas serviriam para classificar os trabalhos

encontrados, mas também como lente para a seleção. Então, após a leitura dos trabalhos e seleção daqueles que tratassem de MQ ou tópicos de FMC de uma forma geral (excluindo-se aqueles que tratavam de temas específicos como relatividade e radioatividade), procuramos enquadrá-los nas quatro categorias determinadas *à priori*. Na sequência, discutiremos cada uma delas.

2.2.1 Estudos sobre concepções de estudantes ou professores acerca de tópicos de FMC/MQ

Apenas um trabalho foi arrolado nessa categoria, o trabalho de Kleinke (2017), publicado pela Revista Brasileira de Ensino de Física. As concepções dos estudantes acerca de tópicos de Física moderna aparecem como uma dimensão secundária do estudo que busca compreender como fatores econômicos podem ter afetado o desempenho em física no Enem de 2012. O autor recorreu aos microdados disponibilizados pelo INEP, presente em um banco de dados que permitiu extrair a nota bruta de cada um dos itens da prova de múltipla escolha, assim como, um extenso conjunto de indicadores socioeconômicos (escolaridade dos pais, renda, rede escolar, etc.) os quais foram utilizados na construção do indicador de status socioeconômico.

Kleinke busca estabelecer uma correlação entre o desempenho dos candidatos e o seu perfil socioeconômico. Ele separou as questões em quatro grupos que foram suas categorias, a saber: exercícios de fixação; problemas de lápis e papel; problemas contextualizados no cotidiano e física moderna e contemporânea. De forma geral, ele indica melhor desempenho de estudantes com status socioeconômico mais elevado. A investigação que diz respeito às questões de FMC da prova, em específico, leva o pesquisador a inferir que há falhas no ensino deste conteúdo no nível médio tendo em vista a distribuição identificada, independente do status socioeconômicos dos estudantes. Kleinke procura justificar a pertinência de seu estudo à luz da sociologia de Pierre Bourdieu.

2.2.2 Análise de materiais didáticos e análise curricular

Nessa categoria são arrolados apenas dois trabalhos, publicados em periódicos diferentes, mas assinados por três autores em comum. Ambos dizem respeito a análise de materiais didáticos. Um deles é assinado por Lima, Ostermann e Cavalcanti (2017) e traz a análise de discurso bakhtiniana para analisar os enunciados a respeito da abordagem de

conteúdos de Física Quântica em livros didáticos aprovados no Plano nacional do livro didático – Ensino Médio (PNLDEM-2015). Os autores reconhecem a necessidade de se aprofundar a pesquisa em Ensino de FQ no Ensino Médio, principalmente, em relação a questões relacionadas a implementações pedagógicas em sala de aula e identificam que um componente importante da aula de FQ é justamente o livro didático. Os autores discutem o referencial utilizado e investigam as abordagens apresentadas, os conceitos, as teorias e os experimentos que são privilegiados e as visões de ciência que são veiculadas nos livros. Concluem que os livros privilegiam uma perspectiva histórica para tratar os limites dos modelos clássicos e da FMC. Contudo, a maioria se restringe à “velha FQ”. Os pesquisadores investigam também a formação dos autores dos livros didáticos e suas produções acadêmicas e supõe que:

[...] esses se inspiraram em sua própria formação para a escrita dos livros didáticos, cometendo inclusive os mesmos erros de historicidade dos livros usados no Ensino Superior. [...] os autores utilizam, em diferentes frequências, construções frasais que expressam explicitamente uma visão positivista e uma visão ingênua das interações ciência, tecnologia e sociedade [...] os livros didáticos aprovados não rompem com esse paradigma didático proveniente do período da ditadura militar, silenciando discussões filosóficas e críticas em benefício de um ensino simplista, pragmatista e ingênuo. [...] os livros aprovados no PNLDEM 2015 ainda representam uma produção didática dissonante em relação aos avanços epistemológicos contemporâneos e aos resultados da pesquisa em Ensino de Física (p. 454).

O outro trabalho é assinado pelos mesmos três autores além de Bruno Brickheaur de Souza. Lima et al. (2018) recorrem novamente a análise discursiva bakhtiniana, dessa vez buscando propor uma articulação teórica com a filosofia de Bruno Latour e assim desenvolver uma ferramenta de análise metalinguística que aplicam para identificar relações dialógicas existentes entre diferentes discursos empregados em artigos científicos e nos livros didáticos (PNLDEM-2015), explicitando a reelaboração de sentido existente. Como uma forma de extensão das investigações do artigo anterior, os pesquisadores apontam 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). [...] 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 (p. 331).

2.2.3 Propostas de estratégias de intervenções didáticas

Nessa categoria são arrolados nove dos trabalhos selecionados na busca, ou seja, mais da metade. Vale destacar que em parte dos trabalhos arrolados nessa categoria os autores reconhecem a importância de implementar essas propostas na realidade concreta na sala de aula, inclusive alguns cogitam fazê-lo. Avaliamos que, embora as pesquisas aqui categorizadas sejam bem estruturadas e remetam à ideias muito interessantes e pertinentes, a falta de avaliação empírica da aplicação das mesmas pode gerar insegurança aos professores que pretendam utilizá-las, afinal “é necessário que o material resultante desses trabalhos seja submetido a uma avaliação crítica para verificar em que medida eles realmente facilitam os processos de ensino-aprendizagem” (PEREIRA; OSTERMANN, 2009, p. 414). Do total de trabalhos, cinco deles foram publicados pelo caderno brasileiro de Ensino de Física, três pela Revista Brasileira de Ensino de Física e um pela Ciência & Educação. Dividimos essa categoria em trabalhos que são específicos de Ensino Médio (seis trabalhos) e aqueles que não são (três trabalhos), os quais todos foram publicados pelo Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Começamos abordando aqueles destinados ao EM.

Além dos trabalhos direcionados explicitamente para o EM, arrolou-se nessa categoria trabalhos que não especificavam para qual o nível de ensino se destinava a proposta, mas que consideramos acessíveis ao nível médio, os quais discutiremos após os específicos. Contudo, faz-se importante destacar que trabalhos foram excluídos durante o processo de seleção por trazerem posicionamentos dos autores de que tratavam de “abordagens simples”, porém abusavam de notação matemática mais formal (como integrais, derivadas e até mesmo o formalismo de Dirac)³. A maioria dos trabalhos excluídos por esse critério foram publicados pela Revista Brasileira de Ensino de Física. Por outro lado, todos trabalhos selecionados que não foram direcionados explicitamente para o Ensino Médio foram publicados pelo Caderno Brasileiro de Ensino de Física.

O trabalho de Eberhardt et al. (2017), publicado pelo Caderno Brasileiro de Ensino de Física, apresenta uma atividade experimental referente ao efeito fotoelétrico. Eles identificam na literatura outras propostas de se trabalhar o tema superando métodos meramente transmissivos, e destacam o uso de recursos computacionais instrutivos para o aumento de interatividade nas aulas. Entretanto, eles defendem um posicionamento epistemológico de conceber a Física enquanto uma ciência experimental, e dessa forma justificam a pertinência

³ Acreditamos que isso implique em uma potencial inviabilidade de implementação dessas propostas na educação básica.

de seu trabalho. Esta proposição se originou no entendimento de que as alternativas experimentais usuais para o ensino deste conteúdo podem ser relativamente problemáticas. A experimentação descrita como alternativa usa ondas de diferentes frequências emitidas por LEDs que incidem em uma lâmpada néon. Eles fazem diversas medidas e concluem que os dados obtidos estão de acordo com o modelo científico atualmente aceito do fenômeno.

Outro trabalho, também publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, é o de Fernandes et al. (2017). Nesse trabalho, os autores apresentam uma proposta didática de se levar algumas pinturas de Salvador Dalí para o Ensino Médio. Os autores buscam estabelecer interdisciplinaridade entre Física e Artes e entendem que a relação entre essas disciplinas fortalece, além das relações entre educação científica e cultura, a capacidade de abstração dos estudantes, capacidade esta fundamental para compreensão conceitual de tópicos de FMC. Na sequência didática que elaboram, não abrem mão da dimensão matemática por reconhecer sua importância estruturante da própria Física. Essa sequência foi desenvolvida por estudantes da Universidade Federal de São Paulo ao longo de uma disciplina de Prática de Ensino de Física. Os autores reconhecem a importância da implementação das propostas didáticas e planejam implementar a sua em uma escola do estado de São Paulo.

O trabalho de Ramos e Piassi (2017), publicado na revista *Ciência & Educação*, apresenta uma proposta didática de relacionar a Física com a Literatura, através de contos. Os autores analisam, à luz da semiótica greimasiana, algumas obras literárias e sua relação com conteúdos científicos, a saber: “Edgar Allan Poe e as conquistas científicas”, “Jorge Luis Borges e os multiuniversos” e “Murilo Rubião e os estados quânticos”. Eles buscam estabelecer uma interdisciplinaridade, mostrando como os chamados “contos fantásticos” podem suscitar a abordagem de conceitos e temáticas da Física. Eles argumentam que os contos podem auxiliar no tratamento de conteúdos abstratos como, por exemplo, na analogia entre o “morto-vivo” da literatura e os estados quânticos. Segundo os autores, esta relação nos leva a refletir sobre o próprio conceito de realidade Física, aspecto desejável, mas pouco abordado na educação em ciências. Por fim, os autores comentam de experiências de tratar contos na formação inicial de professores de Física, além de um projeto em desenvolvimento que conta com a participação de alunos voluntários do ensino fundamental de um clube de leitura científica. Os autores esperam com este desdobramento possa aprofundar o estudo da leitura e sua relação com a Física, mas reconhecem que ainda está longe de ser efetivamente implementado.

O trabalho de Silva Neto e Freire Júnior (2017), publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física, apresenta uma discussão histórica a respeito da invenção do maser e do laser, que pode ser utilizada no Ensino Médio e permite discutir tanto o princípio de funcionamento do laser, quanto aspectos da relação entre ciência e sociedade no século XX. Os conteúdos elencados estão fundamentalmente ancorados na discussão que permeia a natureza da luz, como os fenômenos de difração e interferência (com viés mais clássico) e o modelo atômico de Bohr e o efeito fotoelétrico (com viés mais moderno). Os autores enfatizam a importância de ensinar física moderna no Ensino Médio e a importância da história das ciências como forma de discutir questões relativas à natureza das ciências e à relação das ciências com a política e a sociedade. Eles concluem que com a discussão sobre o laser, é possível abranger vários campos, criando uma interdisciplinaridade entre diversas áreas.

O trabalho de Silveira e Girard (2017), publicado pela Revista Brasileira de Ensino de Física, apresenta a construção de um kit experimental de baixo custo para demonstrar o efeito fotoelétrico utilizando como peça principal um *kit* arduino. O kit foi concebido inicialmente para ser utilizado em experimentos de análise qualitativa do efeito fotoelétrico e das propriedades elétricas do plasma. Os autores exploram detalhadamente o procedimento de montagem do aparato para detecção dos fótons. Porém, eles notaram que era possível utilizar o kit para outras aplicações, como o efeito termiônico e demonstrações de eletrostática. Para eles, o principal benefício é o custo baixíssimo, o que viabiliza a utilização em laboratórios didáticos de escolas públicas.

O trabalho de Perez et al. (2018), publicado pela Revista Brasileira de Ensino de Física, apresenta uma proposta para trabalhar com o movimento browniano no EM. Os autores acreditam que a facilidade da montagem do experimento, aliada ao uso de tecnologias computacionais para a análise dos resultados, faz com que a técnica possa ser facilmente implementada no EM, possibilitando ao estudante discutir aspectos históricos do desenvolvimento dos modelos atômicos. O principal objetivo desse estudo foi aproximar o estudante de graduação do ambiente de pesquisa científica. Esse experimento foi desenvolvido por estudantes de licenciatura em Física da Universidade Federal do Pará, como parte das atividades de uma disciplina de Física Estatística.

Dentre os trabalhos que não especificam o nível de ensino, o trabalho de Tenfen e Tenfen (2017) apresenta o modelo atômico de Bohr e discute limitações do mesmo, apontando a necessidade de recorrer à explicações oriundas da MQ para uma descrição

adequada do espectro do átomo de hélio. Os autores abordam aspectos históricos do contexto de proposição do modelo. Apresentam uma proposta experimental que consiste na construção de um espectroscópio de baixo custo, usando uma câmera fotográfica digital, ou aparelho celular, e uma rede difração (que pode ser obtida de um CD). Após descreverem a montagem do aparato, eles fotografaram uma fonte de luz (no caso, uma lâmpada espectral de hélio ligada a uma fonte de alta tensão). Eles usaram um *software* livre para a análise quantitativa das intensidades dos picos observados na fotografia. Por fim, discutem os dados obtidos e a necessidade de ideias da MQ quântica para a interpretação adequada dos dados, além de destacarem a viabilidade de implementar esse experimento simples em diferentes níveis de ensino.

Medeiros, Crovador e Silva (2018) apresentam uma simulação computacional desenvolvida para mostrar as propriedades de um gás ideal bidimensional. Em sua abordagem teórica dos fenômenos que a simulação busca explorar os autores enfatizam as diferenças de uma situação clássica (observada no tratamento macroscópico do gás) e situação moderna (observada no tratamento microscópico do gás). Eles descrevem o funcionamento da simulação, desenvolvida em *Javascript/HTML*, e a obtenção das grandezas macroscópicas do gás através da dedução da equação de estado para o caso de duas dimensões. Eles exploram as diferenças entre as situações a partir de leis típicas da termodinâmica e, principalmente, ao analisar as colisões das moléculas do gás com as paredes do recipiente. Avaliam que a discussão qualitativa dos fenômenos pode ser transposta para a educação básica.

Netto, Ostermann e Cavalcanti (2018) apresentam distintas formas de se abordar vários conteúdos de MQ usando apenas a simulação computacional do Interferômetro virtual de Mach-Zehnder (IVMZ). As atividades propostas pelos autores foram desenvolvidas à luz de pressupostos da teoria da mediação de Vygotsky e da filosofia linguística de Bakhtin. Além disso, os autores dedicam uma extensa seção na qual promovem uma revisão de literatura sobre a implementação da simulação em diferentes níveis de ensino e abordando diferentes tópicos. Eles identificam que a maioria das produções envolvendo o IVMZ no ensino são oriundas de um mesmo grupo de pesquisa em Ensino de Física da UFRGS. O número expressivo das publicações investigando implicações na última década, não só por esse grupo de pesquisa, indicam uma tendência de utilização desta simulação para tratar de tópicos de MQ na área de Ensino de Ciências no Brasil.

2.2.4 Propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem

Quatro trabalhos são arrolados nessa categoria, sendo que cada um deles foi publicado por um periódico diferente. Um elemento que nos chama a atenção, na presente investigação, é que identificamos um movimento mais preocupado com a natureza social dos discursos empregados pelos estudantes. Isso não foi observado nas revisões de literatura anteriores. Esse aspecto corrobora o posicionamento das pesquisas desenvolvidas nas últimas décadas identificado por Netto, Ostermann e Cavalcanti (2018).

Na Revista Brasileira de Pesquisa de Educação em Ciências foi publicado o trabalho de Silva e Zanatello (2017), no qual os autores se preocupam especificamente com os discursos empregados por estudantes após lerem textos de divulgação científica. Seu objetivo é compreender sentidos que estudantes no Ensino Médio atribuem a questões científicas contemporâneas e controversas através da leitura de textos de divulgação científica. Essa pesquisa foi realizada em 2014, em um colégio particular localizado na zona norte da cidade de São Paulo que oferece desde a educação infantil até o Ensino Médio. Pela narrativa dos autores, trata-se de uma escola com ótima infra-estrutura. Participaram um total de 56 estudantes do terceiro ano do Ensino Médio. Para proceder com a análise dos discursos, os pesquisadores recorrem ao referencial de Análise de discurso francesa, segundo a vertente de Michel Pêcheux. Os autores pontuam a relevância de usar textos de divulgação científica para abordar temas atuais que normalmente não são contemplados nos manuais didáticos oficiais; propiciar o contato das pessoas com certas características do mundo científico; desenvolver certo senso crítico nos estudantes; possibilitar que estudantes possam relacionar informações pertinentes à física e formular opiniões com reais condições de dialogar com temas de seu tempo; entre outros aspectos.

Em trabalho publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Santana e Santos (2017) desenvolvem e aplicam uma sequência didática sobre espectroscopia na qual dedicam boa parte para discutir as bases da mecânica quântica, contemplando a divergência ontológica entre as quantizações de energia propostas por Planck e por Einstein. Essa sequência didática, de 13 aulas, abrange tópicos da ótica, astronomia e as bases da mecânica quântica. A sequência didática foi aplicada em duas turmas do segundo ano do EM de uma escola privada situada no município de São José (Grande Florianópolis). Além de realizar várias atividades ao longo das aulas, os estudantes fizeram uma avaliação escrita e individual, na qual os autores analisaram as respostas dadas a 5 questões de um total de 11. Um total de 61 alunos

fez essa avaliação. Todavia, mesmo que os autores manifestem que sua análise de dados é qualitativa, não explicitam o referencial metodológico utilizado. Eles agrupam as respostas em 5 níveis de satisfação e buscam interpretar a porcentagem da distribuição nesses grupos. Ao final, concluem que a sequência foi bem-sucedida, uma vez que mais de 50,0% dos estudantes elaboraram respostas satisfatórias para as questões referentes às quantizações da energia e da radiação.

Na revista *Investigações em Ensino de Ciências*, temos o trabalho de Ferraz e Sasseron (2017). Tendo como plano de fundo uma aula de Física que discutia o tema dualidade onda-partícula da luz, por meio de uma sequência de ensino planejada considerando as diretrizes do Ensino por Investigação. Os autores buscam construir um instrumento metodológico para melhor entendimento e análise de como o professor pode ser capaz de instaurar e promover a argumentação em sala de aula. Os autores discutem qual o papel do professor na promoção da argumentação e a linha de pesquisa no ensino de ciências que se caracteriza pelo foco na argumentação nas aulas de ciências. Valorizando as interações típicas da sala de aula, eles delineiam seu instrumento a partir de 5 ações do professor, organizando-as em cinco grupos distintos denominados de *Propósitos Epistêmicos para Promoção da Argumentação*. Eles aplicam esse instrumento para análise de um caso empírico que consiste na implementação de duas aulas para uma turma de terceiro ano do EM, constituída por 30 alunos. “Como resultado da proposição teórica e análise empírica de nossos dados, foi revelado que a produção de argumentos pelos estudantes tem uma grande dependência da forma como a problematização de um objeto a ser compreendido é feita pelo professor” (p. 42). Ressalta-se o papel do professor e a necessidade de que ele desempenhe ações que resultem em contribuições de diferentes naturezas para construção e ampliação de argumentos pelos estudantes.

Em trabalho publicado pela *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Silva e Leal (2017) apresentam:

[...] uma proposta de construção de um laboratório de Física utilizando materiais recicláveis e de baixo custo que proporcione aos professores e alunos da rede pública de Ensino Médio a oportunidade de ter contato com experimentos de Física, sem que sejam necessários grandes investimentos financeiros na aquisição de equipamentos e de materiais de laboratório (p. e1401).

Os autores criticam medidas que buscam “facilitar o acesso à universidade” sem realizar melhorias efetivas na educação básica. Os autores definem experimentações para serem aplicadas nos três anos do Ensino Médio; confeccionam roteiros para os experimentos

selecionados; constroem os experimentos; aplicam os experimentos com estudantes e coletam dados. Para o terceiro ano os pesquisadores elaboraram experimentos de baixo custo que tratavam de eletromagnetismo e Física Moderna. A proposta de implementação do laboratório de Física em uma Escola Estadual na periferia do Rio de Janeiro atendeu a cerca de mil alunos, distribuídos nas diversas turmas/turnos das três séries. Por se tratar de uma proposta mais genérica, pouco podemos afirmar sobre o conteúdo de FMC abordado nessas experiências. As conclusões também são genéricas e defendem a importância desse tipo de intervenção.

2.2.5 Uma forma diferente de olhar para as publicações

A definição das categorias à priori, com base na literatura, forneceu lentes que nos auxiliaram na etapa de classificação dos artigos que foram selecionados em grupos distintos. Cada categoria traz consigo subsídios históricos que permitem identificar elementos característicos das pesquisas da área de Ensino de Física/Ciências no que tange o estudo da inserção de tópicos de FMC/MQ nos diferentes níveis de ensino que foram discutidos na seção 2.1. Entretanto, acreditamos que essa organização talvez não seja a mais adequada para a classificação dos nossos dados. Uma possível distinção, alternativa a essa forma de categorização, talvez mais adequada para olharmos as publicações selecionadas em nossa revisão fosse com respeito ao referencial teórico-epistemológico empregado. Pantoja, Moreira e Herscovitz (2011) chamavam a atenção para o uso de referenciais teóricos nas propostas implementadas, mesmo que, sem problematizar a natureza da vertente filosófica desses referenciais. Outra forma de categorizar poderia ser referente à metodologia de ensino/pesquisa empregada. As revisões mais atuais chamavam a atenção para recursos que envolvessem simulações computacionais e experimentos de baixo custo, em detrimento de apenas aulas expositivas.

Nosso objetivo, no entanto, não é traçar uma nova categorização para os trabalhos encontrados, apenas chamar a atenção para que trabalhos futuros de revisão sobre o tema levem em consideração tais formas de categorizar os trabalhos que retornarem em suas respectivas buscas. Apesar disso, não é difícil observar que os referenciais adotados nas publicações de 2017 e 2018 são, em sua maioria, construtivistas ou socioculturais. Esse é um ponto relevante de se destacar, visto que, a abordagem sociocultural aparecia de forma tímida nos trabalhos até 2016, mas aparece com bastante peso nesses últimos dois anos. Os dois trabalhos que analisam materiais didáticos o fazem a partir de análise discursiva. Das

propostas implementadas, metade está explicitamente centrada no discurso dos estudantes e sua argumentação⁴. Dessa forma, observamos uma maioria de trabalhos de análise sociocultural. Isso pode nos indicar uma tendência em usar esse tipo de referencial em pesquisas de inserção de tópicos de FMC.

2.3 Qual é o panorama da linha de inserção de tópicos de FMC no ensino?

Neste capítulo foi apresentada uma investigação do que artigos de revisão de literatura anteriores à data de escrita desta dissertação trouxeram sobre a temática da inserção de tópicos de FMC/MQ em diferentes níveis de ensino. Tentamos identificar, através desses artigos, panoramas das pesquisas em diferentes momentos e dessa forma um certo *estado da arte* das publicações nessa linha de pesquisa. Identificamos as formas de categorização empregadas em cada uma das revisões, conforme quadro 1. Após tal identificação, traçamos categorias comuns empregadas nessas revisões. Quatro categorias foram destacadas e, na sequência, discutimos a evolução histórica por qual cada uma dessas categorias passou, sob a lente das revisões anteriores.

Em um segundo momento, propusemos uma nova revisão. Justificamos o delineamento de nossa revisão que se limitou a artigos publicados em periódicos nacionais nos anos de 2017 e 2018. Usamos as quatro categorias que emergiram de nosso olhar para as revisões anteriores para classificar os trabalhos que foram selecionados em nossa busca. Apresentamos brevemente os 16 trabalhos selecionados, de um total de 61 que retornaram na busca. Identificamos um trabalho na categoria de concepções de estudantes; nove na categoria de propostas de intervenções didáticas (na qual, 6 são explicitamente direcionados para o EM e os outros três foram considerados adequados a esse nível de ensino); quatro implementações avaliadas em sala de aula de EM; e dois que avaliam materiais didáticos, mais especificamente os livros didáticos aprovados no plano nacional de livro didático (EM) de 2015.

Por fim, iniciamos uma problematização com respeito à forma como categorizamos os trabalhos. Questionamos o uso de categorias *a priori* que emergiram das revisões anteriores. Essa forma de categorizar pode ter se mostrado pertinente em cada contexto, mas destacamos que atualmente uma distinção que destoa diz respeito à natureza dos referenciais adotados nas

⁴ Apesar de estudos sobre argumentação terem seu foco no discurso, não os consideramos como integrantes da perspectiva sociocultural, assim como exploram Rosa e Pereira (2019).

pesquisas, categoria empregada por Pantoja, Moreira e Herscovitz (2011). Embora os autores não delineiem sua categorização nesse sentido, é perceptível a predominância da presença de referenciais cognitivos que inclusive, orientam os autores. Destacamos a preocupação dos trabalhos mais recentes, tanto os identificados nessa revisão, quanto aqueles discutidos em outros trabalhos que fizeram levantamentos de publicações (ROCHA; MOREIRA; HERSCOVITZ, 2018; NETTO; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2018), com os discursos emergentes nas aulas de Física.

A mudança de foco das pesquisas, passando da preocupação com aspectos cognitivos para uma preocupação com o discurso caracteriza a chamada “virada linguística” ou “virada sociocultural” no Ensino de Ciências (LEMKE, 2001; MORTIMER; SCOTT, 2002; PEREIRA, 2012). Percebemos autores que se ocupam com referências da linguagem e da argumentação, por vezes, articulados com referenciais da psicologia do desenvolvimento. Identificamos que essa “virada” que marcou a área de Ensino de Física no final do século passado, começa a ser identificada na linha de pesquisa de inserção de tópicos de FMC no Brasil nos últimos anos. Tratamos esse movimento como uma importante tendência para as quais as novas produções venham a se inserir nos debates ainda incipientes, de como trabalhar com os discursos emergentes nas aulas de MQ.

Além da tendência de recorrer ao uso de referenciais ligados à perspectiva sociocultural, identificamos também o uso de recursos experimentais de baixo custo, leituras de textos de divulgação científica, obras de arte e de simulações computacionais. O recurso mais utilizado identificado nos artigos são os experimentos de baixo custo, em especial, propostas de elaboração de espectroscópios. Porém, as discussões que esses trabalhos trazem estão mais ligados à modelos atômicos e astronomia. A divisão entre a física clássica e a física moderna não é clara, como discutem diversos trabalhos (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; PESSOA JR., 2006; MEDEIROS; CROVADOR; SILVA, 2018). Conforme Pessoa Jr. (2006), um dos marcos pode ser a dualidade onda-partícula, marco esse que o autor adota. Corroboramos que a dualidade onda partícula é um conteúdo fundamental para se introduzir a FQ. Como uma demanda das revisões mais pioneiras (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; MOREIRA; GRECA, 2001), uma abordagem conceitual e fenomenológica da FQ pode ser uma alternativa de se introduzir seus tópicos no EM.

Alguns pesquisadores abordam formas de se tratar conceitualmente a dualidade onda partícula através do interferômetro de Mach-Zehnder (PEREIRA, et al., 2012; NETTO; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2018). Uma dentre as simulações computacionais

identificada em nossa análise da literatura é justamente o IVMZ (OSTERMANN; PRADO; RICCI, 2006). Como o uso de simulações é um dos recursos mais empregados dentre os recursos metodológicos de ensino nos artigos investigados e o IVMZ se mostra uma simulação com potencial na área (NETTO; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2018), propomos implementar uma atividade que aborde conceitual e fenomenologicamente a dualidade onda-partícula através do IVMZ. Há certo consenso da área em se levar os tópicos de FMC para o EM através de abordagens conceituais e fenomenológicas; o IVMZ se mostra uma simulação com potencial na área (NETTO; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2018); e concordamos que um conteúdo importante da MQ é a dualidade onda partícula optamos por explorar esse conteúdo usando como recurso o IVMZ. Dessa forma, situamos a presente pesquisa em duas tendências identificadas através da revisão na linha de pesquisa em inserção de tópicos de FMC no EM: O uso de referenciais alinhados à perspectiva sociocultural e o uso de simulações computacionais, especificamente, o IVMZ para abordar a dualidade onda partícula.

3. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO: A AÇÃO MEDIADA

No capítulo anterior foi apresentada uma revisão de literatura que buscou um panorama geral das pesquisas atuais sobre inserção de tópicos de FMC/MQ no Ensino de Física, em particular, na educação básica. Nas conclusões do capítulo, o trabalho foi situado enquanto uma proposta que será desenvolvida e aplicada à luz de referenciais alinhados à perspectiva sociocultural. No presente capítulo será apresentado o referencial adotado: a vertente da abordagem sociocultural do psicólogo norte-americano James Wertsch (1991, 1998), que assume como unidade de análise a *ação mediada*. Para Pereira e Ostermann (2012), “embora Wertsch seja frequentemente citado em estudos que utilizam como aporte teórico autores como Vygotsky e Bakhtin, sua verdadeira contribuição intelectual, têm sido pouco apreciada como fundamentação teórica em pesquisas em educação em ciências” (p. 24). Assim como esses autores, apresentaremos as ideias de Wertsch e seu potencial como um possível referencial teórico para as pesquisas em educação em ciências e para as práticas em sala de aula. Também exploramos, neste capítulo, os aspectos metodológicos das obras de Wertsch. Discutimos implicações das ideias do autor para o delineamento de uma metodologia de análise do discurso emergente em aulas de ciências.

3.1 A teoria sociocultural e os três temas em Vygotsky

A perspectiva sociocultural de Wertsch tem suas raízes no programa de pesquisa Sócio-histórico, em especial, na teoria de Lev S. Vygotsky. Podemos afirmar que a teoria de Vygotsky é um dos pilares de sustentação fundamental para a obra de Wertsch. Wertsch (1985) identifica, no entanto, diversos problemas nas traduções das obras de Vygotsky para o ocidente⁵. Wertsch (1985, 1991) delineou a teoria de Vygotsky a partir de três temas gerais que estão presentes em todas as suas obras. Dividiremos esta seção em subseções que contemplarão esses três temas, a saber: a) *Método genético*; b) *as origens sociais das funções mentais superiores*; c) *mediação*. Além de uma subseção destinada a cada um desses temas, ainda haverá outra que explorará a releitura de Wertsch (1984) sobre a *zona de desenvolvimento proximal*.

⁵ Pereira e Lima Jr. (2014) apresentam uma síntese desses problemas de tradução além de indicar implicações das interpretações errôneas da obra vygotyskyana no Ensino de Ciências no Brasil.

3.1.1 Método genético

Segundo Wertsch (1985), o termo *genético* se refere aos *processos de desenvolvimento*. Não tem ligação direta com termos típicos da biologia como código genético ou genes. A expressão “processos de desenvolvimento” aparece grifada mais acima, pois é importante destacar que o método genético da análise vygotyskyana foi desenvolvido para análise de processos e não de objetos. O uso do método genético⁶ é um tema presente em todos os textos de Vygotsky.

Segundo Vygotsky (1978), pode-se diferenciar duas abordagens para análise de diversos fenômenos. Em uma delas o experimentador analisa os fenômenos baseado na sua origem (genótipo), enquanto na outra, o faz a partir de suas características externas (fenóticas). Este tipo de diferenciação é comum em estudos biológicos, no entanto, Vygotsky propõe uma transposição deste tipo de análise para a psicologia. O método genético é motivado pelo pressuposto de que só é possível entender muitos aspectos da mente humana recorrendo-se às suas origens e às transições pelas quais ela tem passado (WERTSCH, 1991). Todavia, para conseguir compreender comportamentos facilmente observados em processos psicológicos já automatizados (VYGOTSKY, 1994), faz-se necessário buscar situações em que esses comportamentos surjam inicialmente (por isso genético). Para Vygotsky (1978), o requisito básico do método é compreender que estudar alguma coisa historicamente, significa estudá-la no processo de mudança. Um exemplo dessa diferenciação entre comportamentos em desenvolvimento e aqueles já fossilizados é apresentado e discutido por Pereira e Lima Jr. (2014):

Considere o caso de um professor que pergunta em sala de aula “quanto é três vezes quatro?” e ouve de um aluno a resposta “doze!”. A simples resposta nada nos revela sobre o processo que levou o aluno ao resultado dado. Com base na observação, podemos apenas enumerar as características externas deste processo (o tempo de reação do aluno, se a resposta está correta ou não, etc.), fornecendo assim uma mera análise fenotípica (descrição) do mesmo. Se voltarmos às origens deste processo e observarmos o modo como crianças pequenas passam a dominar a multiplicação (isto é, sua base dinâmica causal), presenciaremos o desenvolvimento de um método baseado no uso de signos. Inicialmente, a criança aprende a multiplicar formando conjuntos com igual número de elementos (por exemplo, três grupos de quatro blocos) para depois somar o número total de elementos. Mais tarde, a criança passa a utilizar a tabuada para obter o resultado de certas multiplicações. Em um estágio inicial deste processo, a criança só consegue fornecer o resultado correto de uma multiplicação mediante o uso da tabuada. Com o tempo, após um longo processo de repetição, estas operações se tornam mecanizadas, dando a falsa impressão de não serem mediadas. Este tipo de análise, que retorna à origem do processo e revela suas relações dinâmicas reais ao invés de enumerar suas características externas,

⁶ Na literatura é possível encontrar trabalhos que se referem ao método genético como método evolutivo, método histórico ou ainda método dialético.

Vygotsky (1994) chamou de análise genotípica (explicação) (PEREIRA; LIMA JR, 2014, p. 530).

Este trecho sintetiza, através de um exemplo palpável, as bases que sustentam o método genético de Vygotsky. Uma das bases da obra de Wertsch é, justamente, a confiança no método genético. Por outro lado, as teorias tradicionais da psicologia do desenvolvimento, em sua maioria, inspiradas na proposta cognitivista de Piaget, estão centradas na análise do desenvolvimento de “estruturas cognitivas”, esquemas ou de qualquer outra entidade abstrata que, supostamente, existe dentro da cabeça das pessoas. Um ponto que ainda não abordamos sobre o método genético diz respeito às várias linhas de desenvolvimento. Enquanto os esquemas e suas transições cognitivistas ocupam-se com a evolução da criança até sua vida adulta (linha ontogenética), a teoria de Vygotsky identifica outras duas linhas principais de desenvolvimento, relativas à evolução biológica da espécie humana (linha evolutiva) e ao desenvolvimento histórico da humanidade (linha histórica). Wertsch (1985) ainda propõe a existência de uma quarta linha, a da microgênese. Nessa linha ocorre desenvolvimento em um curto intervalo de tempo ou evento, como em uma aula de Física, por exemplo.

3.1.2 Origens sociais das funções mentais superiores

O método genético se ocupa com comportamentos em desenvolvimento, em detrimento dos que já passaram por longo aprimoramento histórico e que se tornaram mecanicamente repetitivos com o passar do tempo, aos quais Vygotsky chama de *fossilizados*. Por exemplo, ao estudar o raciocínio, se recorrermos ao exemplo da multiplicação da seção anterior, mas mudarmos os valores a fim de questionar ao estudante o resultado de operações mais complexas (como 547 vezes 293) cria-se artificialmente situações que exijam o desenvolvimento de estratégias do indivíduo para resolução dos problemas, dessa forma possibilitando o estudo da gênese de tais funções. O método vygotksyano transfere o foco da análise para o desenvolvimento das chamadas *funções mentais superiores*. Vygotsky divide o comportamento humano entre as funções mentais elementares e as funções mentais superiores. Para Wertsch (1991), as funções mentais superiores são como um produto de fatores biológicos, sociais, culturais, históricos e individuais. Cada um destes fatores atua de forma relacionada aos demais, porém, obedecendo a leis próprias. Por definição, as funções mentais superiores são formas tipicamente humanas de ação mental que têm como base o uso

de ferramentas culturais⁷ (WERTSCH, 1985). Algumas características que distinguem as funções mentais superiores das funções elementares são: O controle realizado pelo indivíduo e não pelo ambiente; a realização consciente dos processos mentais; e a sua origem social.

De acordo com Vygotsky, “a dimensão social da consciência é primária em tempo e de fato. A dimensão individual da consciência é secundária e derivada” (VYGOTSKY, 1979; citado por WERTSCH, 1985; nossa tradução). Essa colocação está diretamente ligada à famosa “lei genética geral do desenvolvimento cultural” (VYGOTSKY, 1981). Em síntese, o autor refina sua proposição inicial na afirmação de que as funções mentais superiores, no indivíduo, derivam da vida social.

Todas as funções no desenvolvimento da criança aparecem duas vezes: primeiro, no nível social, e, depois, no nível individual; primeiro, entre pessoas (interpsicológica), e, depois, no interior da criança (intrapicológica). Isso se aplica igualmente para a atenção voluntária, para a memória lógica e para a formação de conceitos. Todas as funções superiores originam-se das relações reais entre indivíduos humanos (VYGOTSKY, 1994, p. 75).

O enunciado acima apresenta a visão de Vygotsky a respeito da separação entre as dimensões intrapsicológicas (internas, cognitivas) e interpsicológicas (sociais, interativas). Ao processo que não se limita apenas à transição que ocorre entre o plano interpsicológico para o intrapsicológico, mas que leva a um substancial desenvolvimento psicológico devido à reconstrução intrapsicológica concomitante, Vygotsky (1994) chama de *internalização*. É importante destacar que a internalização não é a simples transferência da atividade externa para um plano de consciência interno, pré-existente. De acordo com Leontiev (1981), ela representa o processo no qual este plano interno é formado. “Isto significa que o título da obra *A formação social da mente* deve ser interpretado de maneira literal! (a mente se forma na interação social)” (PEREIRA; LIMA JR, 2014, p. 528). Pereira e Lima Jr. (2014) avaliam que as ideias expostas não costumam ser muito bem entendidas no contexto do ensino de Física. Em primeiro lugar, este enunciado afirma que termos como “memória”, “atenção voluntária”, e “formação de conceitos” podem ser apropriadamente aplicados tanto a *grupos* como a *indivíduos* (WERTSCH, 1985). A fim de ilustrar o caráter coletivo das funções mentais, Wertsch (1991) recorre ao seguinte exemplo:

⁷ De maneira geral, as ações humanas são mediadas por instrumentos e signos (WERTSCH, 1991). É importante frisar que o termo “função” é compatível com a noção de “ação”, que se tornou o grande foco das pesquisas desenvolvidas na antiga União Soviética (ZINCHENKO, 1985). Vladimir Zinchenko (1985) afirma que a ação – e não o “significado da palavra” como o próprio Vygotsky havia assinalado – é a unidade de análise mais adequada para o referencial vygotkiano.

Uma criança de 6 anos de idade perdeu um brinquedo e pede ajuda ao seu pai. O pai pergunta onde ela viu o brinquedo pela última vez; a criança responde “não consigo lembrar”. Ele faz uma série de perguntas – não está em seu quarto? Lá fora? No vizinho? Para cada pergunta, a criança responde “não”. Quando ele diz “no carro?”, ela responde “acho que sim” e sai para reaver seu brinquedo (THARP; GALLIMORE, 1988; citado por WERTSCH, 1991, p. 27, tradução nossa).

Neste exemplo, não é possível apontar um ou outro indivíduo isoladamente como sendo o responsável por lembrar onde estava o brinquedo. A dupla enquanto um “sistema colaborativo” realizou a função de lembrar no plano social (WERTSCH, 1991). “Esta mesma linha de raciocínio pode ser estendida até outros aspectos do funcionamento mental humano tais como o pensamento dedutivo ou a resolução de problemas” (PEREIRA, LIMA JR, 2014, p. 527). Dessa forma, fica explícito que as funções mentais superiores se originam socialmente, ou seja, surgem, primeiramente, entre pessoas.

Qualquer função mental superior foi externa porque ela foi social em algum ponto antes de se tornar uma função interna, verdadeiramente mental. Ela foi antes uma relação social entre duas pessoas. Os meios de se influenciar alguém foram originalmente meios de influenciar outros ou meios de outros influenciarem um indivíduo (VYGOTSKY, 1981, p. 162; tradução nossa).

3.1.3 Mediação

Com a finalidade de discutirmos a ideia de mediação, iniciaremos recorrendo a um exemplo que foi empregado por Pereira e Lima Jr. (2014):

[...] um estudante de Física combinou de emprestar um livro para um colega, no entanto, ao sair de casa, ele esqueceu de levar o livro consigo. Somente após encontrar o colega na sala de aula é que o estudante lembrou que deveria ter colocado o livro na mochila. Este é claramente um caso de memória natural, uma vez que foi a estimulação visual do colega que causou a lembrança no estudante. Ele não teve controle algum sobre sua memória; a imagem do livro simplesmente apareceu em sua mente. No dia seguinte, no entanto, ele resolveu colocar um lembrete no seu telefone celular, programando-o para despertar minutos antes de ele sair de casa. Ao ouvir o toque do celular, ele se lembrou de colocar o livro na mochila, podendo assim emprestar o livro para o colega. Neste segundo caso, a memória também foi o resultado de uma estimulação externa (toque do celular). No entanto, há uma diferença crucial: a lembrança do livro resultou de um ato intencional. Através do uso do celular (mediação), o estudante passou a ter controle sobre sua própria memória. Controle não apenas do objeto a ser lembrado (livro), mas inclusive do instante exato de sua manifestação (minutos antes de sair de casa). Assim, os signos servem como meios auxiliares para os seres humanos influenciarem o próprio comportamento, assim como o comportamento de outros seres humanos (considere o caso alternativo, no qual o colega envia uma mensagem de texto para o estudante, minutos antes de ele sair de casa, lembrando-o de levar o

livro). Este nível de controle dos fenômenos psicológicos, baseado no uso de signos, é uma característica exclusiva da atividade humana (p. 525).

Na citação acima, é possível observar que as “formas superiores de memória” resultam não apenas do desenvolvimento de constituições mentais e nervosas vinculadas ao processo de memória, mas, sobretudo, do desenvolvimento de um método de memorização baseado no uso de signos (no caso, o despertar do celular). Uma pertinente colocação diz respeito à diferenciação entre instrumentos e signos na obra vygotyskyana. Os instrumentos são meios mediacionais utilizados pelas pessoas para controlar e mudar fisicamente o mundo. Os signos, em contrapartida, são símbolos, diagramas, mapas, etc. que são utilizados para controlar comportamentos em uma dimensão psicológica. Ou seja, enquanto os instrumentos são orientados externamente, os signos são orientados internamente.

Portanto, toda atividade conduzida no plano social é sempre *mediada* por signos. A partir da perspectiva vygotskiana, o desenvolvimento humano representa a “história natural das operações com signos” (VYGOTSKY, 1994). É nesse sentido que podemos afirmar que o signo é um meio de interação social e apenas mais tarde se torna um meio de controle do próprio comportamento. “Assim, tudo aquilo que conseguimos realizar mentalmente, com o auxílio de signos, foi, em algum estágio do nosso desenvolvimento, realizado em colaboração com outros, através da interação social” (PEREIRA; LIMA JR, 2014, p.527). Entretanto, faz-se fundamental não perder a dimensão de que o signo é uma parte importante da investigação sociocultural. Ela, em si, não é o foco. O foco é a ação, o indivíduo em atividade prática. Wertsch (1998) traz, com intuito de evitar confusões entre os instrumentos e os signos, a ideia de ferramentas culturais. O uso do termo “ferramentas culturais” se relaciona com o desenho da teoria que o autor está delineando, na medida em que pode se afirmar que o foco de sua análise é o “agente atuando com ferramentas culturais”. São essas ferramentas que tornam as ações possíveis.

É precisamente no uso mediado de ferramentas culturais (externas ao corpo humano) que se define a natureza “distribuída” da atividade mental (PEREIRA, OSTERMANN, CAVALCANTI, 2012; PEREIRA, 2012). Através da noção de distribuição que se tornou famosa uma ideia da obra de Wertsch, a de que “a mente se estende para além da pele” (WERTSCH, 1991). O uso de ferramentas culturais realiza um papel fundamental na mediação e na internalização. Afinal de contas, o processo de internalização consiste em uma reconstrução no plano intrapsicológico de uma atividade externa, de uma ação realizada

socialmente, e necessariamente mediada por ferramentas culturais (como o celular, no exemplo a cima).

“Podemos inferir que quando uma função mental parece não envolver mediação, há apenas duas explicações possíveis: a) trata-se de uma função elementar, comum a outros animais (não humanos); b) ou trata-se de uma função superior fossilizada” (PEREIRA; LIMA JR, 2014, p.530). Ao compreender melhor as ideias de mediação e de como se originam as funções mentais superiores, é possível revisitar o método genético resumindo-o da seguinte forma, conforme sugerem Pereira e Lima Jr. (2014):

- todas as funções mentais superiores devem ser estudadas utilizando-se a análise genotípica;
- o desenvolvimento das funções mentais superiores deve ser descrito tanto em termos de mudanças qualitativas (radicais) quanto em termos de incrementos quantitativos;
- os principais pontos de “viragem” no desenvolvimento envolvem mudanças nas formas de mediação utilizadas;
- o entendimento completo dos processos psicológicos requer o exame de várias linhas de desenvolvimento (evolutiva, histórica e ontogenética), cada qual governado por um conjunto próprio de princípios explicativos.

A maioria dos estudos empíricos de Vygotsky envolvia crianças. Sua intenção com isso era mapear a origem de certas funções superiores para entender a sua dinâmica. Os pontos de “viragem” no desenvolvimento mental da criança estão associados à internalização de novas formas de mediação. É possível perceber, então, a necessidade da interação nas pesquisas de Vygotsky, em especial, na díade adulto-criança. Vygotsky (1994) conclui que neste tipo de interação o adulto orienta as ações da criança através do uso da linguagem (não apenas verbal). No que tange a aprendizagem, pode-se falar que o sujeito aprende algo na medida em que “aprende a lidar” (domina ou se apropria de)⁸ uma ferramenta que lhe permite realizar uma ação. A ideia de ação mediada está ligada intimamente com a própria noção de mediação.

⁸ As ideias de “domínio” e “apropriação” serão discutidas com maior profundidade mais a diante.

3.1.4 Zona de desenvolvimento proximal

As noções sobre as origens sociais das funções superiores, discutidas nas seções anteriores, se encontram articuladas ao ensino através da noção de *zona de desenvolvimento proximal*, definida por Vygotsky como:

[...] a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com parceiros mais capazes (VYGOTSKY, 1994, p. 112).

Contudo, Wertsch (1984) identifica uma ausência de especificação no que diz respeito à definição de zona de desenvolvimento proximal por parte de Vygotsky. O autor então propõe que para podermos compreender esse conceito, é necessário o domínio de outros conceitos subjacentes à teoria vygotskyana apresentados por ele. São eles: *definição da situação*, *intersubjetividade* e *mediação semiótica*.

Vygotsky fez vários comentários gerais adicionais sobre a zona de desenvolvimento proximal, mas em nenhum lugar em seus escritos ele forneceu uma explicação mais detalhada do que constitui “Resolução de problemas sob orientação de adultos ou em colaboração com parceiros mais capazes.” Na ausência de tal relato, o nível de desenvolvimento potencial, e, portanto, a zona de desenvolvimento proximal em geral, não pode ser definido de qualquer maneira precisa. (WERTSCH, 1984, p. 8; tradução nossa).

Com a finalidade de exemplificar a problemática identificada, Wertsch nos apresenta duas situações distintas. Na primeira, temos um adulto que auxilia uma criança de quarta/quinta série a realizar as tarefas de matemática. Na divisão de 217 por 35, por exemplo, podemos esperar tais declarações do adulto como “Quantas vezes 35 cabe em 217?” ou “O que você faz com o restante?”. Isto é, nós poderíamos esperar perguntas importantes sobre divisores, dividendos, restos, e etc. Na segunda situação, devemos considerar o mesmo contexto, no entanto, ao invés de utilizar as perguntas instrucionais, o adulto instrui o estudante para escrever certos números em certos locais em uma folha de papel. Neste caso, podemos esperar tais declarações como "Agora coloque um quatro aqui, logo após o cinco." Wertsch defende que se seguirmos as definições de Vygotsky para olhar para as duas situações, considerando que ambos os estudantes consigam resolver o problema ao final, concluiremos que o mesmo nível de desenvolvimento potencial é atingido. Afinal, ambos resolvem o mesmo problema sob orientações de adultos, atingindo os mesmos resultados.

Para tentar solucionar o desconforto que temos frente a esse resultado e assim auxiliar a entender a dinâmica da zona de desenvolvimento proximal, Wertsch introduz seus três construtos teóricos adicionais à teoria de Vygotsky. Uma *definição de situação* é, segundo as palavras do próprio Wertsch,

[...] a maneira pela qual um cenário ou contexto é representado - isto é, definido - por aqueles que estão operando nesse cenário. Eu uso o termo *definição* porque eu quero enfatizar que os humanos criam ativamente uma representação de uma situação; eles não são receptores passivos desta representação. [...] A definição da situação é necessária em qualquer descrição completa da zona de desenvolvimento proximal, porque a colaboração nessa zona envolve tipicamente os objetos e eventos que os adultos representam de um jeito e as crianças representam de outro. (WERTSCH, 1984, p. 8; tradução nossa).

Qualquer explicação completa da zona de desenvolvimento proximal deve contemplar a definição de situação por parte dos envolvidos. No exemplo anterior, temos indícios que o adulto e a criança definem a situação da resolução daquele problema de formas distintas. Nesse caso, é essencial reconhecer que, mesmo embora o adulto e a criança estejam atuando no mesmo contexto espaço-temporal, eles geralmente entendem esse contexto de maneiras tão diferentes que eles não estão realmente fazendo a mesma tarefa. É claro que essa ideia de que um mesmo objeto ou tarefa podem ser representados ou definidos de maneiras bem diferentes não se restringe a esse exemplo. Em uma obra posterior (WERTSCH, 1991), o autor apresenta diversos outros exemplos de crianças resolvendo tarefas com o auxílio de algum adulto. Assim, Wertsch (1984) defende que um aspecto essencial de uma definição de situação é a forma de representação dos objetos. As diferenças na definição do objeto ou representação estão inextricavelmente ligadas às diferenças no que alguém está fazendo com os objetos, ou seja, à *ação* que está sendo realizada. “Em um sentido importante, objetos e ações completamente diferentes são envolvidos em diferentes níveis de desenvolvimento” (WERTSCH, 1984, p. 11; tradução nossa). Wertsch ainda defenderá que o desenvolvimento da criança se caracteriza no processo de desistir de uma definição de situação existente para ela em favor de outra qualitativamente nova. Esse processo indica mudanças que ela sofre em sua zona de desenvolvimento proximal.

No entanto, nunca podemos perder a dimensão de que o nível potencial na zona de desenvolvimento proximal não pode ser conceituado, muito menos medido, unicamente em termos de capacidade de um indivíduo. As funções mentais superiores só se desenvolvem no plano intrapsicológico após a internalização via interação instrucional no plano interpsicológico. A fim de expandir a noção de definição de situação de modo a contemplar

tanto o plano interpsicológico quanto o intrapsicológico é que Wertsch (1985) importa o construto da *intersubjetividade* (ROMMETVEIT, 1979). “Para nossos propósitos, podemos dizer que a intersubjetividade existe entre dois interlocutores em uma configuração de tarefa quando eles compartilham a mesma definição de situação” (WERTSCH, 1984, p. 12; tradução nossa). No exemplo dado, a criança e o adulto definem a situação de formas distintas individualmente, ou seja, no plano intrapsicológico. Para lidar com esse aparente paradoxo, precisamos reconhecer que a intersubjetividade pode existir em vários níveis diferentes.

Em um extremo, pode consistir em não mais do que o acordo sobre a localização de objetos concretos em uma configuração de comunicação. No outro extremo, a intersubjetividade quase completa existe quando dois interlocutores representam objetos e eventos de maneiras idênticas. Se isso fosse acontecer na interação adulto-criança, não haveria razão para o adulto fornecer qualquer assistência adicional. O nível real de desenvolvimento da criança já seria equivalente à definição de situação intrapsicológica do adulto e ao nível potencial que poderia ser alcançado no funcionamento interpsicológico (WERTSCH, 1984, p. 13; tradução nossa).

A colaboração entre adultos e crianças no nível potencial de desenvolvimento envolve, além das definições de situação do adulto e da criança, uma terceira definição de situação que representa objetos e eventos de uma maneira que permitirá a comunicação entre o adulto e a criança. Assim, o adulto e a criança poderão negociar uma definição de situação intersubjetiva que difere de ambas as formas de compreender a situação nos seus planos intrapsicológicos.

O terceiro construto discutido por Wertsch é o da *mediação semiótica* (adaptado da ideia mais geral de mediação vygotskyana, discutida na subseção anterior). Este mecanismo serve para especificar como ocorre a negociação da definição de situação “intersubjetiva”. Durante a interação entre o adulto e a criança, ou qualquer outra díade, cabe ao “parceiro mais capaz” identificar a forma como o outro está definindo a situação. Ele então deve recorrer aos signos a fim de fazer o outro perceber a situação de uma forma distinta, ou seja, proporcionar uma negociação de significados para realização da tarefa. A importância da linguagem enquanto um dos signos mais marcantes nesse contexto levou Wertsch (1991) a buscar subsídios nas teorias da própria linguística.

3.2 Gêneros de fala e linguagens sociais: contribuições de Bakhtin

O terceiro capítulo do livro *Voices of the mind: a sociocultural approach to mediated action* (WERTSCH, 1991) tem um nome bem sugestivo para o que iremos explorar nesta

seção: *Beyond Vygotsky: Bakhtin's Contribution* (Além de Vygotsky: a contribuição de Bakhtin). Wertsch defende que ao incorporar as ideias de Bakhtin se torne possível desenvolver um relato muito mais rico, especificamente, de como os processos fundamentais são situados socioculturalmente. De acordo com o próprio Wertsch:

A análise de Vygotsky do funcionamento mental superior fornece uma base para uma abordagem sociocultural da ação mediada. Neste contexto, a sua investigação das origens sociais do funcionamento mental dos indivíduos e suas afirmações sobre mediação semiótica são particularmente importantes. No entanto, em certos aspectos essenciais, ele não conseguiu fornecer uma abordagem genuinamente sociocultural da mente. Em particular, ele fez pouco para explicar como cenários históricos, culturais e institucionais específicos estão ligados a várias formas de ação mediada. [...] Quando se considera a lista de ferramentas psicológicas de Vygotsky ("linguagem; vários sistemas de contagem; técnicas mnemônicas; sistemas de símbolos algébricos; obras de arte; escrita; esquemas, diagramas, mapas e desenhos mecânicos; todos os tipos de signos convencionais; e assim por diante"), a tarefa de diferenciar os meios de mediação pode parecer relativamente direta. Como ficará evidente, no entanto, identificar ferramentas psicológicas distintas dentro da linguagem natural é um pouco mais difícil. [...] Quando incorporamos as ideias de Bakhtin no quadro, no entanto, é possível desenvolver um relato muito mais rico, especificamente, de como os processos intermentais e intramentais estão socioculturalmente situados. Neste contexto, as noções de Bakhtin sobre linguagem social e gênero de fala são úteis. (WERTSCH, 1991, p. 46 e 104; tradução nossa).

Wertsch, buscando ir para além do referencial vygotskyano, encontra na filosofia da linguagem de Bakhtin uma possível forma de expandi-lo. Wertsch (1991) dedica especial atenção para mostrar que as bases da teoria vygotskyana e da translinguística de Bakhtin podem ser aproximadas. Dividiremos o restante da seção em subseções para abordar cada elemento específico utilizado por Wertsch que diz respeito a translinguística bakhtiniana.

3.2.1 Enunciado, voz e dialogismo

Começamos a conceitualizar a linguagem falada como meio mediacional em termos bakhtinianos. O primeiro construto bakhtiniano para qual Wertsch (1991) chama a atenção é o *enunciado*. Para nós, esse será um dos aspectos mais importantes da teoria bakhtiniana, inclusive tornaremos a abordá-lo com maior profundidade na seção de delineamento metodológico. A importância que atribuímos a esse construto passa pela forma como Wertsch (1991) o encara, ou seja, “a linguagem é uma ferramenta cultural e a fala é uma forma de ação mediada [...] Os casos concretos de fala se dão na forma de *enunciados*” (WERTSCH, 1998, p. 121; tradução nossa). Portanto, uma forma de ação mediada pode ser vista como o ato de enunciar.

A fala somente pode existir na realidade na forma de enunciados concretos de

peças falantes individuais, sujeitos falantes. A fala é sempre proferida na forma de um enunciado pertencente a um sujeito falante particular e fora dessa forma ela não pode existir (BAKHTIN, 1986, p. 71, tradução nossa).

Para demarcar a diferença de sua análise da linguagem em sua realização concreta com relação à análise puramente linguística, Bakhtin propõe o conceito de enunciado como a unidade real da comunicação falada. Todavia, um enunciado só pode existir por ser produzido por uma voz. A voz, por sua vez, pode ser entendida como um ponto de vista, portanto, ela está relacionada com as visões de mundo do falante. Esse é o conceito fundamental para se fazer o *link* da fala com um contexto social (WERTSCH, 1991).

No relato de Bakhtin, a noção de enunciação está intrinsecamente ligada aquela da voz, ou "a personalidade falante, a consciência falante" (Holquist e Emerson, 1981, p. 434). Isto é assim, em primeiro lugar, porque um enunciado só pode existir sendo produzido por uma voz: "Um enunciado, falado ou escrito, é sempre expresso de um ponto de vista [uma voz], que para Bakhtin é um processo e não um local. É uma atividade que promulga diferenças nos valores. Em um nível elementar, por exemplo, as mesmas palavras podem significar coisas diferentes dependendo da entonação particular com a qual eles são proferidas em um contexto específico: entonação é o som que o valor faz" (Clark e Holquist, 1984, p. 10). [...] Embora ele estivesse frequentemente interessado nas qualidades concretas da voz, sua descrição da consciência de fala é mais geral. Aplica-se à comunicação escrita bem como a fala, e está preocupado com as questões mais amplas da perspectiva de um sujeito falante, horizonte conceitual, intenção e visão de mundo (WERTSCH, 1991, p. 51; tradução nossa).

Há outro elemento central da obra bakhtiniana, explorado por Wertsch (1991): a *dialogicidade*. Na visão de Bakhtin, a noção de autoria única e isolada é falaciosa. Um aspecto essencial de sua construção da dialogicidade é que a múltipla autoria é um fato necessário sobre todos os textos, escritos ou falados (WERTSCH, 1991). Quando o sujeito fala, ele o faz por meio de um enunciado produzido por pelo menos duas vozes⁹ e direcionado a alguém. E este alguém, por sua vez, ao entrar em contato com o enunciado, profere um outro enunciado responsivo. Este é o caráter sempre dialógico de qualquer enunciado, mesmo escrito.

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).

⁹ A própria voz do falante e outra voz a qual ele evoca para "povoar" seu enunciado com um sentido já existente no meio social. Na sequência do capítulo buscar-se-á explorar de forma mais detalhada o construto da voz.

O *direcionamento* do enunciado de um falante para um (ou mais) ouvinte(s) caracteriza a intencionalidade e o contexto no qual esse enunciado é produzido. O ouvinte, por sua vez, sempre terá uma *atitude responsiva* frente a um enunciado que lhe foi direcionado. O significado¹⁰ só pode existir no contato dialógico direcionado a um ouvinte. É justamente em função deste direcionamento que uma voz nunca aparece isolada de outras vozes (WERTSCH, 1991). Dificilmente apenas duas vozes estão presentes ao se produzir um enunciado, afinal, durante a vida de alguém, esse alguém conviveu com seus amigos, seus parentes, colegas, professores e a comunidade do bairro, além de ter assistido há filmes, seriados, *animes*, telenovelas, partidas de futebol e ainda ter lido revistas e livros. Enfim, em diversas situações esse alguém entrou em contato com outras vozes.

3.2.2 Gêneros de fala e linguagens sociais

Em geral, o dialogismo do discurso envolve um direcionamento de enunciados de um indivíduo aos enunciados de outros dentro de uma única linguagem. Temos a *linguagem nacional*, que pode ser entendida como o idioma de um determinado contexto (como português e inglês, por exemplo). Porém, essa relação entre enunciados não depende apenas de uma linguagem nacional. Também depende da *linguagem social*. Dentro da linguagem nacional, os agentes da ação têm acesso a mais de uma linguagem social (PEREIRA, 2012). Para Bakhtin, uma linguagem social são tipos distintos de vozes, que possuem jargões e formas de expressão típicas, que podem ser associadas a grupos sociais, estando relacionada com diferentes estratos sociais¹¹. Por exemplo, gaúchos tradicionalistas, músicos, enólogos, colecionadores de relógio de pulso e qualquer comunidade inserida em um certo cenário sociocultural comunicam-se utilizando formas características de linguagem, apesar de partilharem a mesma linguagem nacional (considerando grupos brasileiros).

O direcionamento dado ao discurso também molda o conteúdo da fala. Por exemplo, um professor de Física, ao comentar sobre a temperatura ambiente em um dado dia, formulará um enunciado sensivelmente diferente ao proferi-lo para um estudante em uma aula de termodinâmica ou para a sogra em um churrasco de família. Esta alternância dá-se, em boa

¹⁰ Para Vygotsky, sentido (dinâmico) é diferente de significado (fixo). Para ele, sentido “é o agregado de todos os fatos psicológicos que emergem em nossa consciência devido à palavra”. Significado “é aquele fixo, ponto imutável que permanece estável durante todas as mudanças de fatos que são considerados na análise semiótica da fala”. “O sentido real de uma palavra não é constante. Em uma operação uma palavra emerge num sentido e em outra ela toma um outro significado” (VYGOTSKY, 1934; citado por WERTSCH, 1991, p. 42, tradução nossa).

¹¹ A diferenciação proporcionada pela linguagem social nos estratos sociais não se manifesta, necessariamente, em termos de classes sociais, mas de grupos sociais, institucionais, etc.

parte, pela diferença hierárquica institucional do contexto na qual esse professor faz a enunciação. Dessa forma, podemos dizer que cada campo de utilização da língua elabora seus tipos relativamente estáveis de enunciados, os quais são denominados gêneros do discurso, ou *gêneros de fala* (BAKHTIN, 2016). A restrição do enunciado é sujeita à escolha de um gênero de discurso.

Isso reforça o caráter contextual dos diferentes gêneros de fala, pois, é através do contato com vozes específicas em cada contexto que o indivíduo (ou grupo) internaliza regras implícitas específicas de cada contexto. Algumas formas de gênero de discurso incluem comandos militares; gêneros cotidianos de saudação, despedida e parabéns; conversas de salão cotidianas, assuntos sociais, estéticos e outros; gêneros de conversas de mesa; conversas íntimas entre amigos; e narração cotidiana. Os gêneros são caracterizados principalmente em termos das situações típicas da comunicação de fala (WERTSCH, 1991). “Se um outro ouvinte de uma dada fala num dado gênero não dispuser da mesma forma típica, tenderá a interpretá-la em termos de outros gêneros que ele considere compatível, e assim muitas das vezes o entendimento dos significados serão diversos” (FREITAS, 2019, p. 44).

A ciência possui também suas formas típicas de discurso. A linguagem científica distingue-se da linguagem do cotidiano dos alunos (MORTIMER; SCOTT; 2002). As características distintivas da ciência em relação à linguagem do cotidiano dos alunos podem torná-la estranha e difícil para os mesmos (MORTIMER; CHAGAS; ALVARENGA, 1998). A aprendizagem de ciências está, assim, indissolavelmente ligada à aprendizagem das formas específicas de discurso, próprias da atividade científica (MORTIMER; SCOTT, 2002; MORTIMER; SCOTT; EL-HANI, 2009).

3.3 A metáfora do kit de ferramentas

Na seção anterior buscou-se mostrar como Wertsch (1991) estabelece uma conexão entre a obra de Vygotsky e os conceitos que ele importa da filosofia translinguística bakhtiniana. Após apresentar os pilares teóricos que sustentam a obra wertschiana, iremos, na presente seção, explorar as nuances que vão para além das ideias de Vygotsky e Bakhtin. Wertsch (1998) atribui sua ênfase em como o uso de meios mediacionais particulares leva ao desenvolvimento de habilidades específicas, mais do que ao desenvolvimento de capacidades ou aptidões gerais. “Assim, para compreender as formas de ação que um indivíduo pode realizar, é necessário examinar a história de encontros reais desse indivíduo com ferramentas

culturais materiais” (WERTSCH, 1998; citado por PEREIRA, OSTERMANN, 2012, p. 32). No entanto, focaremos em apenas alguns elementos da sua obra na presente dissertação.

3.3.1 Propriedades da ação mediada

Como a proposta de analisar a ação mediada (WERTSCH, 1998) centra sua atenção na ação humana (seja ela individual ou coletiva), destaca-se a necessidade de olhar para o agente e para a ferramenta cultural empregada na ação (não de forma isolada). Dessa forma, Wertsch identifica dez propriedades da ação mediada, a saber:

Tensão irreduzível: característica da ação mediada que indica que o agente de determinada ação não pode ser outro, senão, a(s) pessoa(s)-agindo-com-meios-mediacionais, ou seja, a essência da análise se encontra na interação entre esses elementos. Um estudante de Física que resolve uma questão proposta em um livro que pede a quantidade de calor sensível transferida a certo corpo para que esta sofra uma determinada variação de temperatura. Teria, realmente, o estudante resolvido este problema? Caso ele não pudesse usar a ferramenta $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, ele teria conseguido resolver o problema?¹²

A materialidade dos meios mediacionais: além dos instrumentos que possuem materialidade evidente, alguns signos também a possuem. Portanto, as ferramentas culturais são materiais. Estes aspectos de materialidade geralmente associam-se com a palavra artefatos, no sentido de artefatos históricos que seguem existindo depois que os humanos que os utilizaram já tenham desaparecido.

O caso mais relevante de uma ferramenta cultural aparentemente imaterial é o da linguagem falada. Com frequência é mais fácil reconhecer a materialidade dos objetos da linguagem escrita que seguem existindo ainda quando não são utilizados como meios de mediação (por exemplo, o manuscrito enterrado em um baú durante décadas) que compreender a materialidade da linguagem falada. [...] No entanto, a materialidade é uma propriedade de qualquer meio de mediação (WERTSCH, 1998, p. 59; tradução nossa).

Os múltiplos objetivos da ação: A ação mediada geralmente serve a múltiplos propósitos. Além disso, estes propósitos (ou objetivos) múltiplos da ação mediada geralmente podem estar em conflito (WERTSCH, 1998). Considerando o exemplo de um “problema de Física”, o objetivo que possivelmente se pensa é obter o resultado correto. Mas em qual

¹² Considere um estudante do ensino médio e que as informações disponibilizadas pela questão fossem a massa do corpo, o calor específico da substância que o compõe e a variação de temperatura sofrida por ele.

cenário? O de uma avaliação institucional? O de praticar por praticar? O de buscar refletir sobre a(s) teoria(s) que o sustenta(m)? O de questionar o limite das aproximações idealizadas no modelo empregado, frente a uma atividade experimental?

Caminhos evolutivos: A ideia aqui é defender que a ação mediada se situa em um, ou mais, caminhos evolutivos (ou domínios genéticos, conforme discutido na seção 3.1.1). Um exemplo trazido pelo autor é o de projetar aviões. Ele afirma que na década de 60 tal tarefa era desempenhada por dezenas de engenheiros que dominavam o ferramental do cálculo e do desenho técnico. Esses projetos levavam muito tempo para estar concluídos em comparação aos dias de hoje. Hoje em dia, a mesma tarefa pode ser desempenhada por um único operador e seu computador, o que demonstra uma modificação da ação no domínio genético histórico-cultural.

Recursos e Restrições: São as ferramentas que nos proporcionam os recursos necessários para realização de determinadas tarefas. Contudo, Wertsch (1998) aponta que da mesma forma que as ferramentas proporcionam recursos para realização de tarefas, também apresentam restrições. Para Wertsch (1998), não há dúvidas de que a perspectiva de olhar para os meios de mediação como “possibilitadores” da ação humana é muito importante, porém ele nos chama atenção para o fato de que as ferramentas também limitam a ação desempenhada. Na medida em que uma nova ferramenta cultural nos libera de limitações prévias, esta trás consigo novas limitações próprias (WERTSCH, 1998).

As transformações da ação mediada: Não importa o domínio genético em questão, a introdução de um novo meio de mediação cria uma espécie de desproporção na organização sistemática da ação mediada. É possível considerarmos que em alguns casos surge uma ação mediada completamente nova. No entanto, além da inserção da nova ferramenta, existem outras formas de promover modificações na ação. Por exemplo, se houver variações nos níveis de habilidade do agente no uso da ferramenta, conseqüentemente, há modificações na ação. Um exemplo na área de ensino é a avaliação, na medida em que essa pode ser compreendida como uma ferramenta. Afinal, ao avaliarmos (medirmos habilidades) de um sujeito, estamos de certa forma, avaliando a habilidade desse sujeito com a ferramenta utilizada para avaliação em específico (por exemplo, a prova).

[...] os agentes podem demonstrar habilidades sobressalentes com determinada ferramenta cultural, porém, apenas uma habilidade comum ao utilizar outra ferramenta. É fácil passar despercebido por essa problemática, já que a ferramenta que se emprega em qualquer avaliação peculiar geralmente é uma parte fixa e não questionada da estrutura institucional, em um determinado contexto sociocultural (WERTSCH, 1998, p. 81; tradução nossa).

A internalização como domínio: Quando se analisa a materialidade dos meios de mediação, conseqüentemente se avalia a habilidade de um agente ao manusear a ferramenta cultural específica. As habilidades surgem através da utilização dos meios de mediação. Nessa perspectiva, a ênfase é dada em como o uso de ferramentas culturais levam ao surgimento de habilidades peculiares, mais do que atitudes ou capacidades gerais, que seriam justamente, o que distingue um indivíduo de outro. A essas habilidades inerentes do agente ao empregar uma dada ferramenta cultural na realização de certa ação é que chamamos de domínio. Há, portanto, uma diferença importante entre as ideias de internalização (no sentido vygotskyano) e de domínio, vide a colocação de Pereira e Ostermann (2012):

Segundo o autor, a noção de domínio possui importantes vantagens com relação à noção mais geral de internalização. Isso porque essa última evoca uma imagem na qual os processos realizados inicialmente em um plano externo passam a ser realizados em uma espécie de plano interno. Tal imagem é encorajada por análises como a de Vygotsky (1994) sobre como a ação de contar ocorre originalmente no plano externo, com a ajuda dos dedos, para, posteriormente, sumir de vista, quando o processo é internalizado. De acordo com o autor, muitas formas de ação mediada são (e devem ser) realizadas no plano externo. Por exemplo, no caso do uso de simulações computacionais no ensino de ciências, não está claro o que significa realizar esse tipo de ação em um plano interno. Mesmo no exemplo da multiplicação, é pouco provável que a operação como um todo seja completamente internalizada. Dependendo dos números envolvidos, tal operação requer uma ferramenta cultural que “realize parte do pensamento”. Assim, a metáfora da internalização resulta demasiadamente forte porque implica algo que frequentemente não ocorre. A noção de domínio, por outro lado, é mais adequada, uma vez que ela é aplicável a praticamente todas as formas de ação mediada (p. 32).

A internalização como apropriação: A crítica apresentada por Wertsch (1998) referente à internalização com uma visão genérica é válida também para justificar sua outra particularização, a apropriação. A ideia de apropriar-se de uma ferramenta pode ser vista, em linhas gerais, como um processo de tornar para si uma ferramenta que existe externamente, empregada por outros, no contexto de outros e com a intencionalidade de outros. A apropriação considera essa transposição para o contexto sociocultural específico daquele que busca empregá-la. Com respeito à relação entre domínio e apropriação Wertsch (1998) enuncia que:

[...] a apropriação dos meios de mediação não se relaciona necessariamente com o seu domínio de uma maneira simples. Em alguns casos, o domínio e a apropriação se correlacionam em níveis altos e baixos, porém, em outros, o uso de ferramentas culturais se caracteriza por um alto nível de domínio e um baixo nível de apropriação (p. 99; tradução nossa).

Consequências laterais: as ferramentas culturais são, com frequência, produzidas por razões outras que não a facilitação da ação. Essa afirmação contrasta com a concepção na qual os meios mediacionais surgem em respostas às necessidades dos agentes.

Por exemplo, a tecnologia usada nos computadores não surgiu como consequência do avanço no campo da pesquisa em educação em ciências. Os primeiros computadores de mesa, desenvolvidos na década de 1970, foram projetados para operacionalizar o fluxo de caixa nas empresas por meio de uma planilha eletrônica. Do ponto de vista da ação mediada, a aplicação dessa tecnologia no ensino de ciências é um “efeito colateral”, ou seja, um acidente que teve o potencial não antecipado de transformar a ação mediada (PEREIRA; OSTERMANN, 2012, p. 31).

Poder e autoridade: A afirmação de que as ferramentas culturais estão associadas ao poder e à autoridade contrasta com a concepção na qual a linguagem e outros meios mediacionais constituem instrumentos neutros de pensamento e comunicação. Essas características são inerentes ao contexto histórico, cultural e institucional mais amplo, na medida em que diferentes níveis de poder podem ser atribuídos às mesmas ferramentas em contextos diferentes. “Essa propriedade deriva dos escritos de Bakhtin (1981) sobre sua formulação acerca dos tipos de discurso ‘autoritário’ e ‘internamente persuasivo’. O pressuposto geral é o de que o poder e a autoridade não são atributos do indivíduo, considerado em isolamento, mas sim da tensão irreduzível entre os agentes e as ferramentas culturais” (PEREIRA; OSTERMANN, 2012, Pg. 31).

Embora Wertsch (1998) tenha apresentado essas dez propriedades da ação mediada, por uma questão de espaço, não exploraremos todas as características, apenas as que julgamos mais importantes ao presente estudo, a saber: *internalização como domínio, internalização como apropriação, tensão irreduzível, recursos e restrições e poder e autoridade*. Isso não significa que as demais características não estejam presentes, até porque todas elas são inerentes à ação mediada.

3.3.2 Heterogeneidade, kit de ferramentas e privilegiação

Para compreender a noção de heterogeneidade das formas de pensamento empregada por Wertsch (1991), devemos partir do princípio de que "o fenômeno da heterogeneidade do pensamento verbal (ou 'pluralismo cognitivo') consiste no fato de que em qualquer cultura e em qualquer indivíduo não existe uma forma homogênea de pensamento, mas diferentes tipos de pensamento verbal" (TULVISTE, 1986; citado por WERTSCH, 1991, p. 96; tradução

nossa). Esse posicionamento é o que Tulviste (1991) apresenta como *heterogeneidade*. Tal noção de heterogeneidade pressupõe a existência de uma variedade de formas qualitativamente diferentes de representar o mundo e atuar sobre ele. “Para Wertsch (1991), a distinção entre diferentes ferramentas culturais (ou tipos de pensamento verbal) dentro de uma linguagem natural pode ser feita com base nas noções de ‘gêneros de fala’ e ‘linguagens sociais’, propostas por Bakhtin (1986)” (PEREIRA; OSTERMANN, 2012, p. 34). Tulviste (1991) considera surpreendente que a heterogeneidade não tenha sido um tópico de investigação das análises de diferenças históricas e transculturais, na área da psicologia.

Transpondo essa questão para a área de Ensino de Ciências, Mortimer, Scott e El-Hani (2009) avaliam que em qualquer sala de aula há uma inevitável heterogeneidade de modos de pensar e falar, que precisam ser modelados se tivermos a intenção de produzir alguma teoria sobre o ensino e a aprendizagem. A maneira como se encara as diferentes heterogeneidades das formas de pensamento pode ser entendida como um pressuposto epistemológico pelo qual se dá o desenvolvimento dos envolvidos em uma negociação de significados. Essa diferenciação permite olharmos para o “significado” construído socialmente de uma perspectiva diferente, associada com a forma como sujeitos e grupos definem as situações e, conseqüentemente, relacionados com as dinâmicas na zona de desenvolvimento proximal.

A Perspicácia de Vygotsky (1994), em distinguir várias funções da fala e seus critérios, constitui um primeiro passo para identificar os vários meios mediacionais que compõe o que Wertsch (1991) irá chamar de *kit de ferramentas* de mediação. Para ele, os meios mediacionais, ou ferramentas culturais, não devem ser concebidos como um todo único e indiferenciado, mas sim como diversos itens de um *kit de ferramentas*. Wertsch (1991) reconhece a importância da analogia entre ferramentas técnicas e ferramentas psicológicas de Vygotsky (1994), assim como suas limitações.

Em particular, ele [Vygotsky] não a usou para examinar a diversidade de meios mediacionais disponíveis para os seres humanos. [...] Vygotsky não abordou essa questão nesses termos, mas em vários pontos em seus escritos ele sugeriu algo ao longo destas linhas. [...] Ele observou, por exemplo, que "os seguintes podem servir como exemplos de ferramentas psicológicas e seus sistemas complexos: linguagem; vários sistemas para contar; técnicas mnemônicas; sistemas de símbolos algébricos; escrita; esquemas, diagramas, mapas e desenhos mecânicos; todos os tipos de sinais convencionais; e assim por diante "(1981a, p.137)." [...], no entanto, ele não consegue lidar com muitas das implicações explícitas da visualização das ferramentas psicológicas como parte do todo maior organizado de um kit de ferramentas. (WERTSCH, 1991, p. 93; tradução nossa).

Dentro da linguagem natural, os agentes da ação têm acesso a mais de uma linguagem social e um gênero de fala. De acordo com Wertsch (1991), todas as linguagens são concebidas como ferramentas culturais que organizam a ação mental e comunicativa. Não há qualquer garantia, no entanto, de que um indivíduo de fato opte por empregar ferramentas mais apropriadas para uso em determinados contextos. Isso é algo a ser aprendido e aprender a este respeito significa compreender sobre a própria heterogeneidade do pensamento e da linguagem na diversidade de contextos em que usamos nossas ideias e declarações (MORTIMER; SCOTT; EL-HANI, 2009).

Em linhas gerais pode-se dizer que a obra de Wertsch adquire identidade própria com a noção dos *kits de ferramentas*. O autor consegue expandir a teoria vygotskyana, importando construtos da filosofia de Bakhtin, ao ponto de reconhecer que as distintas formas de pensar e falar são como ferramentas materiais de fato, as quais o indivíduo pode escolher para realizar algum tipo de tarefa. Tomemos como exemplo, um problema de Física, no qual é requisitado a um estudante que encontre com que velocidade uma maçã atingirá ao solo após se desprender do galho de uma macieira de altura informada, em um contexto ao qual se despreze a resistência do ar. O aluno pode responder esse problema recorrendo à equação de Torricelli (abordagem cinemática) ou igualando os teoremas da energia potencial gravitacional e da energia cinética (considerando o princípio da conservação da energia), por exemplo.

O processo de seleção da ferramenta, em um *kit*, está relacionado às diferentes formas de heterogeneidade de pensamento. Contudo, é a ação que será realizada que define qual a ferramenta mais adequada (no caso de encontrar a velocidade da maçã, por exemplo). Outro exemplo, considerando signos (ferramentas semióticas), é o emprego de formas distintas de linguagem. As formas de linguagem estão organizadas de acordo com alguma classe de hierarquia dominante que está relacionada ao poder ou à aplicabilidade dessas ferramentas, em determinado contexto. “Os modelos de seleção utilizados pelos agentes para escolher uma determinada ferramenta cultural são descritos em termos da noção de *privilegiação*” (WERTSCH, 1991; citado por PEREIRA, OSTERMANN, 2012, p. 34). Ao falar em poder, Wertsch (1991) procura justificar com isso o uso do termo “*privilegiação*” em detrimento de outros possíveis. Em suas próprias palavras:

Meu uso de *privilegiar* em vez de um termo como *domínio* ou *dominação* é motivado por várias considerações. Primeiro, o ‘privilégio’ vem com muito menos bagagem teórica ligada a ele, então pode-se usá-lo em um sentido mais restrito. Além disso, em contraste com a *dominação*, que está intimamente ligada ao estudo

da estrutura social, seu foco são os processos psicológicos. [...] Outra razão para usar o privilégio do que a dominação é que o último está implicitamente associado a algum tipo de situação, ao passo que o privilégio é assumido como mais dinâmico. É dinâmico em parte porque os contextos socioculturais não determinam de forma mecânica ou unilateral a ação mediada; em muitas situações, é pelo menos possível que os participantes definam a situação de formas novas, inesperadas ou criativas. Assim, há um grau de negociação dinâmica envolvida. Uma fonte importante dessa dinâmica deriva do fato de que os padrões de privilégio são acessíveis à reflexão consciente e, portanto, à mudança autogerada (WERTSCH, 1991, p. 124; tradução nossa).

A privilegiação é um processo fundamental na obra de Wertsch, especialmente, no livro de 1991. No capítulo 5 deste livro, logo após propor a analogia do *kit de ferramentas*, Wertsch, já inclinado pela necessidade da busca da definição de um construto a respeito da seleção das ferramentas de mediação, propõe a seguinte questão ao seu leitor: “*Qual é a natureza da diversidade dos meios mediacionais e por que um, em oposição ao outro, é utilizado para realizar determinada tarefa?*” (WERTSCH, 1991, p. 94; tradução nossa). Ao propor a noção de privilegiação, Wertsch refere-se ao fato de que uma ferramenta cultural, tal como uma linguagem social, é concebida como mais eficaz ou adequada do que outras em um determinado cenário sociocultural. Durante o processo de domínio dos modelos de privilegiação, a escolha de uma ferramenta cultural pode basear-se fortemente na orientação de outros, proporcionada através da interação social. Esses modelos têm como resultado a suposição de que determinada ferramenta cultural é a mais adequada (ou, inclusive, a única possível) em um cenário sociocultural particular, mesmo quando existem outras igualmente disponíveis (PEREIRA; OSTERMANN, 2012).

Ou seja, as forças do contexto é que podem estar relacionadas com esse processo de escolha, e esta é uma linha de pesquisa em psicologia, segundo Wertsch, que necessita de mais estudos (WERTSCH, 1987). No geral, os meios mediacionais são usados com pouca ou nenhuma reflexão consciente do sujeito. (WERTSCH, 1991). Para distinguir uma ferramenta de outra na linguagem natural podemos usar as considerações de Bakhtin para a situacidae sociocultural dos processos intermentais e intramentais com as noções de linguagem social e gênero de fala. Para ele, as diferentes linguagens sociais e gêneros de fala são vistos como meios de organizar a ação mental comunicativa. (FREITAS, 2019, p. 47).

Ao identificar que uma das intenções de Wertsch (1991), ao trazer a voz de Bakhtin para sua costura teórica, é a possibilidade de expandir o programa vygotskyano contemplando com ênfase adequada a linguagem, assume-se que diferentes “linguagens sociais” e “gêneros de fala” podem ser compreendidos como diferentes ferramentas que contemplam o *kit* de ferramentas e cabe ao agente (falante) privilegiar uma em detrimento de outra, em um

contexto sociocultural específico. Contudo, privilegiar também é uma ação e, como tal, passa por um processo de internalização.

[...] a noção de privilegiar está relacionada com o aspecto psicológico de julgar quais linguagens sociais e gêneros de fala são mais apropriados do que outros em um contexto sociocultural particular. Durante o processo de dominar os padrões de privilégio, este julgamento pode depender fortemente da orientação de outros que é fornecida através do funcionamento intermental. [...] Com relação a isso, chegamos a sentir que algumas linguagens sociais e os gêneros de fala são mais apropriados do que outros para descrever e explicar vários fenômenos (WERTSCH, 1991, p. 135; tradução nossa).

Privilegiar uma ferramenta cultural, em determinado contexto, traz consigo algumas características inerentes à ferramenta na realização da ação. Os *recursos e restrições* inerentes à utilização de dada ferramenta na realização de uma ação são fatores importantes no processo de privilegiação. Conforme identificamos entre as propriedades da ação mediada (seção anterior), na medida em que uma nova ferramenta cultural nos libera de limitações prévias esta traz consigo novas limitações próprias. Wertsch (1998) critica Vygotsky ao categorizá-lo como um autor que não soube reconhecer as restrições proporcionadas pelas ferramentas culturais. Ao mesmo tempo, salienta que autores, como o dramaturgo Burke (1969) estão demasiadamente preocupados com as restrições.

Outra das propriedades da ação mediada que destacamos versa sobre *poder e autoridade*. O poder atribuído a uma determinada ferramenta cultural, em um contexto específico, está intimamente ligado ao processo de privilegiação. Em termos da analogia do *kit de ferramentas*, isso novamente aponta para a noção de que os itens do *kit* são organizados de acordo com uma hierarquia baseada em poder ou aplicabilidade (WERTSCH, 1991).

3.3.3 Delineamento da análise

Nesta seção discutiremos a forma como estruturamos nossa análise dos dados, à partir das ideias apresentadas. Para proceder com a análise das transcrições das interações discursivas recorreremos aos pressupostos da própria análise sociocultural proposta por Wertsch. Ao desenhar a dimensão mais metodológica de sua obra, Wertsch (1991) vai aprofundar o uso do construto “enunciado” na sua aproximação sociocultural.

Considerando as ideias de Wertsch (1991) com respeito à analogia do *kit* de ferramentas, há alguns problemas concretos que surgem ao considerar várias linguagens

sociais e gêneros de fala como itens de um *kit*. Para Wertsch, Wittgenstein consegue apontar um desses problemas que, em termos bakhtinianos, se traduz na afirmação de que muitas vezes é difícil distinguir as várias linguagens sociais e gêneros de fala em uma linguagem nacional. Embora diferentes linguagens sociais e gêneros de fala tenham funções diferentes, eles parecem "mais ou menos parecidos", pois aparecem dentro de uma mesma linguagem nacional. Entendendo o enunciado como a unidade real de comunicação de fala, Wertsch (1991) irá recorrer a esse construto na tentativa de tornar mais objetiva a distinção entre os diferentes gêneros de fala empregados pelos falantes. Ser capaz de identificar isso auxilia ao reconhecer a forma como os sujeitos definem a situação em um debate (WERTSCH, 1984).

Wertsch (1991) busca esse detalhamento com respeito ao enunciado na obra de Bakhtin e identifica três propriedades fundamentais para o mesmo, a saber: limites, finalização e forma genérica. Os *limites* de cada enunciado concreto como uma unidade de comunicação de fala são determinados por uma mudança de sujeitos falantes, isto é, uma mudança de falantes.

Independentemente de quão variados enunciados possam ser em termos de seu comprimento, seu conteúdo e sua estrutura composicional, eles têm características estruturais comuns como unidades de comunicação de fala e, acima de tudo, limites bastante claros [...] Qualquer enunciado - desde uma tréplica curta (única palavra) no diálogo cotidiano até o grande romance ou tratado científico - tem, por assim dizer, um começo absoluto e um fim absoluto: seu começo é precedido pelos pronunciamentos de outros, e seu fim é seguido pelas declarações responsivas de outros (ou, embora possa ser silencioso, a compreensão responsiva ativa dos outros, ou, finalmente, uma ação responsiva baseada nesse entendimento). Entre os tipos de pares de tréplica, ele listou "questão e resposta, afirmação e objeção, afirmação e concordância, sugestão e aceitação, ordem e execução" (WERTSCH, 1991, p. 106; tradução nossa).

A segunda característica do enunciado como unidade de comunicação falada é sua *finalização*. Para o próprio Bakhtin, essa característica é "inseparavelmente ligada à primeira", podendo ser considerada "o lado interno da mudança dos sujeitos da fala".

Essa mudança [dos sujeitos da fala, ou vozes] só pode ocorrer porque o falante disse (ou escreveu) tudo o que ele deseja dizer em um momento particular ou em circunstâncias particulares. Quando ouvimos ou lemos, sentimos claramente o fim do enunciado, como se ouvíssemos a *dixi* conclusiva do falante. Essa finalização é específica e é determinada por critérios especiais (BAKHTIN, 1986; citado por WERTSCH, 1991, p. 107; tradução nossa).

A especificidade da finalização na última sentença significa que diferentes formas de finalização caracterizarão diferentes linguagens sociais e gêneros da fala, ou esferas da atividade humana. Em alguns casos (como questões puramente factuais, pedidos ou ordens),

há pouco espaço para variação e criatividade em como um enunciado pode ser finalizado; em outros casos, há uma variedade muito maior (WERTSCH, 1991).

A terceira característica do enunciado é sua *forma genérica*, que para Wertsch (1991) é a mais importante. Em sua discussão sobre o papel dos gêneros de fala na formação de enunciados, Bakhtin afirmou que uma das principais características do enunciado é sua relação "com o próprio falante (o autor do enunciado) e com os outros participantes na comunicação de fala" (p. 107). Trataremos a relação com o próprio falante de forma separada da relação com os outros participantes da comunicação. Contudo, antes de explorarmos esses pontos é importante destacar que:

De acordo com Bakhtin, a escolha de um gênero de fala "é determinada pela natureza específica da esfera dada de comunicação de discurso, considerações semânticas (temáticas), a situação concreta da comunicação de fala, a composição pessoal de seus participantes e assim por diante." Como sempre, no entanto, Bakhtin sublinhou que existem limites estritos para o quão individualizado um enunciado pode ser: "Quando o discurso do falante, com toda a sua individualidade e subjetividade, é aplicado e adaptado a um gênero escolhido, ele é moldado e desenvolvido dentro de uma certa forma genérica " (BAKHTIN, 1986; citado por WERTSCH, 1991, p. 107; tradução nossa).

Entendemos, dessa maneira, a *forma genérica* como o molde ao qual o enunciado é enquadrado sob à luz de determinado gênero de fala. Ao tratarmos da relação do enunciado com o próprio falante, olhando para a forma genérica temos dois construtos apresentados por Bakhtin, a saber: o conteúdo semântico de referência específico e o aspecto expressivo. O conteúdo semântico de referência específico (ou apenas *conteúdo semântico referencial*) refere-se ao tópico de um enunciado, e é isso que fornece o foco da maioria das falas. O conteúdo semântico referencial de um enunciado pode, assim, variar de uma peça de quebra-cabeça de uma criança ou a natureza ontológica da luz. Como para Bakhtin um enunciado é um elo na cadeia de comunicação da fala, o conteúdo semântico referencial dependerá de seu lugar em relação a outros enunciados.

A gama de conteúdos semânticos de referência (ou "esferas" ou "temas") de enunciados pode ser dividida de acordo com vários critérios. Por exemplo, é possível distinguir entre objetos que supostamente existem independentes do enunciado, tanto como os que não pertencem a um contexto extralinguístico imediato. Assim, pode-se referir a um computador que está imediatamente presente à percepção (extralinguístico), em oposição a um computador que não está perceptivelmente presente, mas que se torna objeto da atenção dos interlocutores, porque é trazido à conversa. Outro critério de distinção que pode ser usado

para delinear os tipos de conteúdo semânticos de referência disponíveis para falantes é aquela entre objetos não linguísticos e linguísticos. Sob o título linguístico estão todos aqueles casos em que a linguagem é usada para falar sobre a linguagem (WERTSCH, 1991). Ao falarmos sobre o que é um computador ou recorrermos ao significado de computador de maneira mais genérica, descontextualizada, apenas enquanto palavra, estaríamos falando de um objeto linguístico. Já um objeto não-linguístico é aquele cuja a existência independe da linguagem.

Mantendo o foco na relação do enunciado com o próprio falante, temos uma segunda questão que é o *aspecto expressivo*. Associamos esse aspecto expressivo à perspectiva referencial do falante. Tratando desse ponto, Bakhtin focou na “avaliação subjetiva do falante”. Porém para Wertsch,

[...] em uma abordagem sociocultural da ação mediada, uma noção mais geral de perspectiva, ou ponto de vista (Uspensky, 1973), sobre o conteúdo semântico referencial de um enunciado é útil. Isso é consistente com a observação de Bakhtin de que "não pode haver algo como um enunciado absolutamente neutro" (1986, p. 84), mas admite um conjunto mais amplo de questões - como a "perspectiva referencial" (Wertsch, 1980, p. 84), que desempenha um papel tão importante na dinâmica do funcionamento interpsicológico na zona de desenvolvimento proximal (WERTSCH, 1991, p. 109; tradução nossa).

Mudando o foco para a relação do enunciado com os outros participantes da comunicação falada é onde encontramos o núcleo de sua explicação, baseada em diálogos, para as diferenças entre os enunciados de uma linguagem social e os de outra (WERTSCH, 1991). Ainda para Wertsch,

[...] a principal contribuição de Bakhtin foi sua compreensão de como um enunciado entra em contato com outros enunciados. De fato, em sua opinião, esta forma de dialogicidade está presente em quase todos os enunciados: "enunciados não são indiferentes uns aos outros e não são auto-suficientes; eles estão conscientes e se refletem mutuamente". Essa consciência e reflexão ocorrem de várias maneiras: "as declarações dos outros podem ser repetidas", "podem ser referidas", "podem ser silenciosamente pressupostas", ou "a reação responsiva a elas pode ser refletida apenas na expressão da própria pessoa falante" (1986, p. 91). (WERTSCH, 1991, p. 109; tradução nossa).

Com base nesse trecho, não é de surpreender que, dado seu papel central no pensamento de Bakhtin, a dialogicidade tenha desempenhado um papel importante em sua categorização de enunciados, linguagens sociais e gêneros da fala. Ao que Bakhtin tratou como “consciência e reflexão” inerentes à dialogicidade, nós iremos nos referir às distintas maneiras de *enunciação*. Esse movimento que propomos é justificado pelo fato de que o enunciado pode assumir diferentes formas em função da intencionalidade do falante, podendo

assumir “a repetição de enunciados de outros”, “uma referência a enunciados dos outros” entre outras.

3.4 Conclusões a respeito do referencial

Uma das importantes asserções de conhecimento que tiramos do capítulo de revisão de literatura é a tendência identificada de trabalhos que tratem da inserção de tópicos de FMC/MQ no EM fundamentados sob a perspectiva sociocultural. Nesta pesquisa, nos enquadrámos nessa tendência na medida em que adotamos o referencial teórico de James Wertsch. Destacamos, neste capítulo, as bases que sustentam a obra de Wertsch, em especial, as contribuições de nomes recorrentes nos trabalhos de revisão de literatura como Vygotsky e Bakhtin. Conceber distintos caminhos evolutivos (domínios genéticos) para os quais hajam leis próprias em que ocorre o desenvolvimento, tanto de indivíduos como de grupos, juntamente às noções de internalização e zona de desenvolvimento proximal, são indícios do caráter epistêmico e da visão de mundo adotados pelo autor em sua obra.

Usamos como roteiro o livro *Voices of the mind* de Wertsch (1991), do qual seguimos a estrutura, começando por apresentar as influências da teoria histórico-cultural de Vygotsky, passando pela translinguística de Bakhtin e chegando na analogia de *kit* de ferramentas, proposta pelo próprio Wertsch. Além de apenas o livro de 1991, também recorreremos a trabalhos da área de Ensino de Ciências fundamentados no autor, a discussão proposta por ele com respeito a zona de desenvolvimento proximal (WERTSCH, 1984) e o livro de 1998, no qual Wertsch discute as características da ação mediada, refinando sua analogia do *kit* de ferramentas e com isso delineando sua teoria da ação mediada.

A ação mediada é o foco da análise sociocultural proposta por Wertsch (1991; 1998; 2002). Uma das características principais dos trabalhos vinculados à perspectiva sociocultural é o foco no discurso e na linguagem. Wertsch, através de sua analogia com o *kit* de ferramentas, encara os recursos textuais empregados (sejam eles falados ou escritos) como ferramentas disponíveis em um *kit*. O sujeito possui várias ferramentas para utilizar a sua disposição, mas a escolha passa pelo contexto mais amplo, considerando (implícita ou explicitamente) fatores históricos, culturais e institucionais. Conseguir diferenciar o gênero de fala de um falante, normalmente, não é uma tarefa fácil. Wertsch (1991) propõe que recorramos aos *enunciados* (enquanto unidade real da comunicação falada) para sermos capazes de proceder tal distinção. Três características do enunciado são fundamentais nesse processo: *limites, finalização e forma genérica*.

[...] os critérios que distinguem um enunciado de outro são importantes para diferenciar um gênero de fala de outro. Os limites de um enunciado, sua finalização, seu conteúdo semântico referencial, seu aspecto expressivo (perspectiva) e sua relação com outros enunciados são todos critérios úteis. Quanto maior o nível de detalhes de cada um desses critérios, maior o número de gêneros que podem ser distinguidos (WERTSCH, 1991, p. 110; tradução nossa).

O objetivo do presente trabalho é proceder com uma investigação das interações discursivas emergentes no domínio microgenético (WERTSCH, 1985) específico de um episódio didático de uma aula de Física. Para isso, desenhamos nossa análise nos diferentes gêneros de fala empregados pelos participantes da pesquisa, ou seja, recorreremos às características do enunciado. Além das três características, outros elementos que podem auxiliar na análise são as formas de enunciação e a interpretação de Wertsch (1984) para a zona de desenvolvimento proximal. O episódio investigado consiste na resolução de problemas conceituais presentes em um roteiro de exploração do IVMZ. No capítulo seguinte iremos explorar de forma detalhada os aspectos metodológicos presentes na obra de Wertsch e a forma como faremos uso dessa ferramenta na presente pesquisa, além de apresentar os resultados.

4. ATIVIDADE DIDÁTICA E ANÁLISE DE INTERAÇÕES DISCURSIVAS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os procedimentos metodológicos referentes à parte de investigação empírica da presente pesquisa. Através do diálogo com a literatura específica da linha de inserção de tópicos de FMC/MQ, da área de Ensino de Física, identificou-se algumas tendências (capítulo 2). Entre essas tendências está o uso de referenciais teóricos socioculturais. Apresentaremos as bases teóricas e metodológicas adotadas no presente estudo (capítulo 3), orientadas pela perspectiva sociocultural, mais precisamente, a obra de J. Wertsch (1991; 1998). O presente capítulo apresenta um planejamento de aulas para um conjunto de turmas do terceiro ano do EM e o desenvolvimento, e aplicação, de uma atividade didática envolvendo o IVMZ. Também exploramos o processo de coleta de dados e a análise dos mesmos. O registro dos dados foi feito com gravações de áudio que foram posteriormente transcritas. As transcrições das interações discursivas são apresentadas na íntegra no apêndice B.

4.1 Contexto de aplicação

O local no qual se desenvolveu a presente pesquisa foi uma escola da rede pública do estado do Rio Grande do Sul, situada em um bairro de classe média baixa da cidade de Porto Alegre. A pesquisa foi desenvolvida no segundo semestre de 2018. Os participantes da pesquisa foram estudantes entre 16 e 19 anos, do terceiro ano do EM. Embora no documento de chamada das turmas envolvidas (3 turmas) conste 61 nomes (descontando os transferidos e cancelados), 48 foi a quantidade de alunos presentes que realizaram a atividade proposta. A relação entre os alunos variava de turma para turma, mas, no geral, em cada turma os estudantes são colegas desde o início do EM, o que contribuiu para o tipo de ambiente desinibido em que as aulas ocorreram. Embora um número expressivo de alunos seja da própria região da escola, a maioria é de outros bairros (normalmente mais periféricos), acessando a escola através do transporte público municipal.

A escola contemplava, no período da investigação, dois níveis de ensino, o ensino fundamental e o Ensino Médio, sendo o segundo dividido em duas modalidades: regular e educação de jovens e adultos. No Ensino Médio regular, há um total de nove turmas, sendo três delas de cada série. Duas turmas de cada série tinham aulas no turno da manhã enquanto que a terceira turma tinha aulas no turno da tarde. Todas as nove turmas têm em comum o

mesmo professor¹³ na disciplina de Física. O professor propôs a mesma atividade para as três turmas. As aulas de exposição do conteúdo que antecederam a aplicação da atividade que será o alvo central da investigação foram gravadas em áudio e vídeo (apenas com a imagem do professor e do quadro, mantendo em sigilo as imagens e identidades dos estudantes).

Referiremo-nos as três turmas por I, II e III. Dos 48 estudantes que participaram da atividade, há a seguinte distribuição quanto ao sexo biológico (masculino e feminino, respectivamente): 8 e 8, na turma I; 7 e 5, na turma II; 11 e 9, na turma III. A realidade socioeconômica de cada aluno era bem particular, resultando em um grupo bastante heterogêneo nesse aspecto.¹⁴ No período de realização da pesquisa, o professor trabalhava na escola há pouco mais de quatro anos e havia acompanhado os estudantes desde o primeiro ano do Ensino Médio. Avaliamos que este elemento seja importante para se estabelecer uma boa relação entre as turmas e o professor. Como tanto as aulas anteriores à aplicação da atividade como a própria aplicação da mesma foram registradas em áudio e vídeo, a análise dos dados dar-se-á através da investigação deste material. A atividade proposta consiste na resolução de questões conceituais presentes em um roteiro de exploração do IVMZ. Na próxima seção, discutiremos a atividade.

Entretanto, antes de prosseguirmos para a atividade em si, chamaremos a atenção para outro aspecto a qual julgamos importante. Ao apresentarmos o contexto de realização da tarefa, a escola e sua realidade, assim como um pouco das turmas envolvidas, estamos abordando alguns elementos pentáticos da ação (BURKE, 1969). Wertsch (1998) recorre as idéias de Burke buscando delinear a sua proposta de ação mediada. Ele incorpora em seu construto a noção de que a ação não pode ser dissociada dos elementos pentáticos elencados por Burke, sendo eles: ato, agente, cenário, agência e propósito. O(s) agente(s) em questão são os próprios estudantes (participantes da pesquisa). O ato pode ser entendido como a realização da atividade em si. A agência guarda relações intrínsecas com a ferramenta cultural empregada na ação, no caso os recursos textuais aos quais os estudantes recorrem. O propósito é muito subjetivo para cada participante, algo que converge para a propriedade dos múltiplos objetivos da ação mediada (WERTSCH, 1998). Por fim, o cenário, ou cenário sociocultural, é o espaço onde a ação ocorre. Esse espaço não é neutro, pois é moldado por fatores históricos, culturais e institucionais.

¹³ Nesse caso, o professor da escola e o pesquisador, autor da presente dissertação, são a mesma pessoa.

¹⁴ Não foi elaborado nenhum questionário ou mecanismo similar para investigar distribuições étnicas e socioeconômicas dos estudantes. De acordo com o caderno de chamada, apenas duas alunas eram contempladas pelo programa governamental “bolsa família”, ambas da turma III.

O cenário sociocultural no qual é desenvolvida a presente pesquisa é o espaço da escola pública estadual descrita nesta seção. As forças sociais que atuam nos diferentes cenários socioculturais influenciam as ações neles realizados e nesse caso, não é diferente. Tomando “a escola” como uma instituição social genérica, assim como fez Bourdieu, Wertsch (1991) irá identificar gêneros de fala típicos empregados nesse contexto (conforme discutiremos nas seções 4.3 e 4.4). Defendemos, contudo, que no contexto brasileiro há diferenças entre as escolas das diferentes redes de ensino. Essa diferença pode ser exemplificada pelo desempenho dos estudantes nas avaliações nacionais (ANDRADE; SOARES, 2008). Alinhando-nos às premissas do paradigma transformativo (MERTENS, 2009), valorizamos o contexto no qual desenvolvemos nossa pesquisa, no caso o cenário sociocultural da realização da atividade, em uma escola estadual gaúcha. Como o referencial que utilizamos na presente pesquisa valoriza o discurso e a linguagem é justamente através desses elementos que destacamos os limites do cenário sociocultural de nossa pesquisa. A linguagem social cotidiana dos estudantes envolvidos na pesquisa revela que estes agentes partilham as linguagens sociais típicas de classes populares do Rio grande do Sul. Acreditamos que esse elemento se caracterizará, inclusive, enquanto obstáculo para o domínio de uma linguagem social da Ciência Oficial.

4.2 Descrição da atividade

Fundamentando-se na abordagem conceitual e fenomenológica com a qual alguns autores tratam a dualidade onda-partícula e o interferômetro de Mach-Zehnder (OSTERMANN; PRADO, 2005; PESSOA JR., 2006; PIETRECOLA et al., 2016; PEREIRA et al., 2012), o professor elaborou uma sequência didática que antecede a aplicação da atividade explorada na presente pesquisa. Nas aulas que compuseram essa sequência didática o professor abordou aspectos históricos sobre a natureza da luz; retomou com os estudantes fenômenos ondulatórios que haviam sido tratados no primeiro trimestre, sofisticando a discussão e trazendo os conceitos de campo elétrico e campo magnético¹⁵; apresentou a quantização da energia proposta por Planck, o efeito fotoelétrico e o *quantum* de luz conforme os trabalhos de Einstein; explorou o interferômetro de Mach-Zehnder operando em regime clássico; e problematizou a visão moderna sobre a luz, ou seja, a dualidade onda-partícula.

¹⁵ Esses conceitos não foram tratados com a devida profundidade no primeiro trimestre, de acordo com o professor, pelo fato de que o eletromagnetismo foi o tópico de estudo do segundo trimestre e parte inicial do terceiro trimestre.

Conhecer a forma como o professor planejou e organizou a transposição didática dos conteúdos pertinentes ao estudo são importantes para identificarmos um pouco do contexto extraverbal (BAKTHIN, 2016) no qual os estudantes estiveram inseridos durante a atividade. Considerando a importância das interações sociais atribuídas por Vygotsky (1981) na sua lei genética geral do desenvolvimento cultural, os estudantes de cada turma participante da pesquisa foram divididos em pequenos grupos (duplas ou trios). No que diz respeito ao roteiro desenvolvido pelo professor, que orientou a atividade investigada, ele foi adaptado do roteiro proposto por Pereira (2008) em uma atividade com IVMZ no ensino superior e é apresentado no apêndice A.

4.2.1 Planejamento da atividade

Apresentamos um relato do professor sobre o planejamento das atividades em contraste ao que foi de fato realizado, chamando a atenção para problemas encontrados para futuros professores que possam vir a querer implementar uma atividade didática similar. Consideramos importante salientar as diferenças entre o planejado e o aplicado na escola pública de educação básica, evidenciando elementos que não aparecem em trabalhos semelhantes à presente proposta como os de Telichevesky (2015) e Pereira (2008), ambos dissertações de mestrado desenvolvidas junto ao *grupo de estudos sob a perspectiva sociocultural*¹⁶.

Uma das dissertações produzidas pelo grupo que destacamos aqui é a de Telichevesky (2015), na qual o autor elabora e aplica uma unidade didática sobre a natureza da luz em uma oficina para alunos do Ensino Médio de uma escola da rede privada de Porto Alegre. Embora trate do mesmo nível de Ensino, o mencionado trabalho contempla estudantes da rede privada e analisa uma oficina em que a participação dos estudantes era facultativa. Já na presente investigação, as aulas sobre o tema eram as próprias aulas regulares dos estudantes do terceiro ano (o que tornava, de certa forma, a presença obrigatória).

O planejamento da atividade em si consistiu no encaminhamento das turmas para o laboratório de informática da escola; separação dos estudantes em duplas (ou trios, caso a turma tivesse um número ímpar de alunos); e então as duplas deveriam seguir um roteiro de utilização do IVMZ e responder as indagações propostas nele. Antes da atividade o professor

¹⁶ Grupo vinculado ao Programa de pós-graduação em Ensino de Física da UFRGS, o qual é responsável por uma quantidade expressiva de publicações sobre o IVMZ conforme apontam Netto, Ostermann e Cavalcanti (2018).

instalaria algum *software* de captura de tela e som, assim como microfones nos microcomputadores do laboratório de informática da escola; os dados coletados pelo software de captura no dia da aplicação seriam transcritos pelo pesquisador e as transcrições posteriormente analisadas sob a luz do referencial adotado.

4.2.2 A aplicação da atividade

Nesta seção apresentaremos como, de fato, se desenvolveu a atividade. Primeiro, quanto às aulas que antecederam a atividade: poucos alunos estiveram presentes em todas as aulas. O planejamento das aulas levou em consideração o número exato de períodos desde o início da sequência didática até a aplicação da atividade, porém houve uma data em que o professor teve um imprevisto e acabou faltando ao trabalho, ocasionando que a turma I “perdesse” um período e as demais dois períodos¹⁷. Como esse acontecimento se deu próximo ao final das aulas planejadas, acabou prejudicando uma discussão mais aprofundada com respeito ao interferômetro de Mach-Zehnder. Devido ao tempo reduzido de exposição em aula, o professor apenas mencionou a existência das quatro interpretações para a dualidade onda-partícula, de acordo com o livro de Pessoa Jr. (2006), sem discuti-las em profundidade.

Quanto à aplicação da atividade: o planejamento era que fosse instalado nos computadores do laboratório de informática da escola a simulação e um software de captura de tela. No entanto, quando o professor foi realizar a instalação dos softwares nos computadores do laboratório, o mesmo estava trancado cuja chave havia quebrado dentro da fechadura, impossibilitando o acesso. A manutenção dependeria de um profissional de serviços gerais que só frequentava duas vezes na semana a escola e neste dia já havia ido embora. Em conversa com a pessoa responsável pelo setor administrativo da escola (a qual nos referiremos aqui como Cida), foi passado ao professor a possibilidade de realizar a atividade em um outro laboratório de informática da escola, o qual o professor desconhecia a existência.

Embora este laboratório fosse mais antigo e tivesse uma quantidade um pouco menor de microcomputadores, como haviam onze era o suficiente para todos os estudantes. O professor foi então até esse outro laboratório para instalar os *softwares*, no entanto, o sistema do primeiro computador acusou impossibilidade de instalação do software do IVMZ. O

¹⁷ Um “período” equivale a uma hora-aula que tem duração de 50 minutos.

mesmo erro foi indicado por todos os outros dez microcomputadores. O professor tentou passar o arquivo de um *pendrive* pessoal e como não teve sucesso fez *download* do arquivo do próprio sítio eletrônico da UFRGS. Mesmo problema.

O professor concluiu que o problema era o fato de o sistema operacional de lá ser *Debian Linux*, o que provavelmente levava ao não reconhecimento da simulação. O professor então voltou a falar com Cida para verificar a possibilidade de um suporte em Tecnologia de Informação (TI), para fazer a instalação do sistema *Microsoft Windows* nas máquinas. Cida enfatizou em sua fala que *a escola era pública e recursos como estes até poderiam ser obtidos, mas só depois de muito tempo de espera e muita burocracia junto à secretaria da educação estadual.*

Sobraram ao professor três principais alternativas: *a)* contratar por sua conta um profissional externo para abrir a porta do outro laboratório; *b)* contratar por conta um profissional externo para fazer a instalação do sistema operacional necessário nos computadores do laboratório no qual tinha acesso; ou *c)* expor a simulação ele mesmo para os estudantes, usando o recurso de projeção, disponível no auditório da escola (onde o sistema operacional do computador era *Windows*). A alternativa *b*, foi considerada inviável tendo em vista tanto o valor que provavelmente custaria (fazendo uma estimativa) como o tempo que levaria para reconfigurar todos os onze microcomputadores. O professor optou pela alternativa *a*, por acreditar, com base em sua experiência profissional, que o contato direto dos estudantes com a simulação, onde eles mesmos possuem a liberdade de explorar suas funções contribuiria para sua motivação/engajamento com a tarefa. Contudo, na conversa com Cida, recebeu a notícia de que os computadores do outro laboratório haviam sido substituídos por computadores novos, que haviam sido doados, os quais também tinham o sistema operacional *Debian Linux*. Restou para o professor, enquanto alternativa mais viável no momento, a alternativa *c*. O professor, então, pediu para que os estudantes utilizassem os próprios aparelhos celulares como ferramentas de gravação de áudio para registro das interações discursivas emergentes nos pequenos grupos.

Nas turmas I e II a atividade ocorreu conforme a nova previsão. Na turma III (turma que tem as aulas no turno da tarde), no entanto, o auditório já estava previamente reservado pelo professor de Educação Artística para apresentação de trabalhos avaliativos de seus alunos. O professor de Física entrou em contato com o professor de Educação Artística a fim de negociar uma potencial troca de períodos, sem êxito. Nesta turma, a atividade foi realizada na própria sala de aula normal. O professor tentou usar um projetor móvel da escola no dia,

porém o seu notebook pessoal (ferramenta que utilizaria para rodar a simulação) não tinha entrada compatível com o cabo VGA do projetor. Sendo assim, os estudantes tiveram que se aglomerar em volta da mesa onde estava o notebook para conseguir enxergar a simulação e então responder as questões propostas no roteiro. Avalia-se que um problema disso foi o ruído nos arquivos de áudio, oriundo das interações das outras duplas/trios.

Outro problema (ou não) foi o fato de que, em alguns momentos da atividade, uma dupla/trio interage com outro, discutindo seu posicionamento frente à questão, ou conversando sobre algum assunto alheio a atividade. Nesta turma também aconteceu de uma dupla não dispor de aparelho para proceder com a gravação, então o professor emprestou o celular pessoal para que os alunos gravassem o áudio das interações. Todo o procedimento de aplicação das atividades foi registrado por uma câmara posicionada na frente do auditório, direcionada para a platéia (nas turmas I e II) e posicionada no fundo da sala, direcionada para o quadro e o notebook do professor (na turma III). Embora as três turmas tenham realizado a atividade, selecionou-se para a pesquisa apenas os dados das turmas I e II, tendo em vista a qualidade dos arquivos de áudio.

4.2.3 O Interferômetro de Mach-Zehnder

No capítulo 2, apresentamos, através do contato com a literatura da área em Ensino de Física, os motivos que nos levaram a escolher fundamentar a presente pesquisa em referenciais socioculturais e o uso de simulações computacionais. Destacamos trabalhos que estão localizados em ambas as tendências e dentre eles identificamos um recorrente uso de simulações computacionais que tratem do Interferômetro virtual de Mach-Zehnder (OSTERMANN; PRADO; RICCI, 2006).

De acordo com Nussenzveig (1998), os interferômetros são “instrumentos empregados em electroscopia para analisar a estrutura fina e hiperfina das linhas espectrais, para comparar comprimentos de onda entre si ou com o metro padrão (medida absoluta de λ_0)” (p. 70). Diversos interferômetros foram desenvolvidos ao longo da história, entre eles o interferômetro de Mach-Zehnder, como ficou conhecido. Esse interferômetro foi desenvolvido por volta de 1892, de forma independente, pelo físico austríaco Ludwig Mach (1868-1951)¹⁸ e o físico alemão Ludwig Zehnder (1854-1949). Nas palavras de Ostermann e Prado (2005), trata-se de “um arranjo experimental análogo ao experimento das duas fendas,

¹⁸ Ludwig Mach era filho do influente físico austríaco Ernst Mach (1838 -1916).

porém mais simples” (p. 193). O arranjo experimental do interferômetro de Mach-Zehnder é apresentado na figura 1.

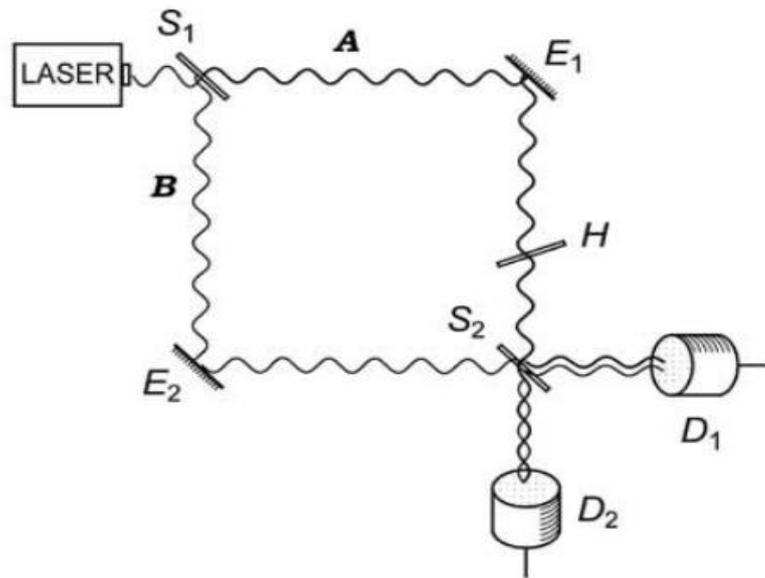


Figura 1. Esquema do interferômetro de Mach-Zehnder (PESSOA JR., 2006, p. 10).

Consideremos a situação em que um feixe luminoso emitido por um laser, tratando a onda luminosa como sendo unidimensional, plana e monocromática, é dividido ao incidir sobre um divisor de feixe. Considerando um divisor de feixe que possui coeficiente de reflexão 0,5 e coeficiente de transmissão 0,5, ou seja, um divisor de feixe que vai dividir o feixe incidente em duas componentes, uma que é transmitida (caminho A) e outra que é refletida (caminho B), ambas com a mesma intensidade (metade da intensidade do feixe incidente)¹⁹. O componente S_1 , presente na figura 1, representa um espelho semi-refletor que cumpre o papel desse divisor de feixe balanceado. Portanto, caso a intensidade do feixe incidente seja I_0 , ambas as componentes (transmitida e refletida) terão uma intensidade I' , onde $I' = I_0/2$. As duas componentes, 'A' e 'B' (nomes dados em função do caminho), possuem intensidades I_A e I_B , respectivamente. Como $I_A = I_B = I'$, temos que $I_A = I_B = I_0/2$.

Na configuração do interferômetro de Mach-Zehnder com um segundo espelho semi-refletor, representado por S_2 na figura 1, é que será possível identificar a interferência entre os feixes nos anteparos. O componente 'A' será refletido pelo espelho E_1 , e então direcionado para o espelho semi-refletor 2. Já o componente 'B' será refletido pelo espelho E_2 para então

¹⁹ Esse divisor de feixe em que os coeficientes de reflexão e transmissão possuem o mesmo valor é dito é balanceado. Supomos que o divisor de feixe não absorva nenhuma energia da onda incidente.

incidir no espelho semi-refletor 2. Assim como aconteceu com o feixe original (emitido pela fonte) ao incidir em um espelho semi-refletor, tanto a componente ‘A’ como a componente ‘B’ serão divididas em duas novas componentes, cada uma ao incidirem no espelho semi-refletor 2. A componente ‘A’ será dividida em uma componente transmitida (que chamaremos de ‘AA’) e outra refletida (que chamaremos de ‘AB’) pelo espelho semi-refletor 2. A componente ‘B’ será dividida em uma componente transmitida (que chamaremos de ‘BA’) e outra refletida (que chamaremos de ‘BB’) pelo espelho semi-refletor 2.

Após S_2 , as componentes recombina-se em dois novos feixes que incidem nos detectores D_1 e D_2 . Substituindo os detectores por anteparos, no anteparo 1 (no lugar de D_1) teremos a incidência dos feixes ‘AB’ e ‘BA’. No anteparo 2 (no lugar de D_2) teremos a incidência dos feixes ‘AA’ e ‘BB’. Assim como Pessoa Jr. (2006), “Adotaremos a regra de que a cada reflexão ocorre o avanço de $\frac{1}{4}$ de comprimento de onda ($\lambda/4$) em relação à onda transmitida” (p. 9). Tomemos como exemplo o feixe ‘BB’. Ele sofreu um total de 3 reflexões, ou seja, possui um avanço de fase de $3\lambda/4$ em relação ao feixe emitido pela fonte. A tabela 2 apresenta o número de reflexões que cada feixe que incide nos anteparos sofreu, assim como seu avanço de fase em relação ao feixe original (emitido pela fonte laser).

Tabela 2: Avanço do comprimento de onda de cada componente em relação ao feixe emitido pelo laser em função do número de reflexões

Feixe	Número de reflexões sofridas	Avanço de comprimento de onda
AA	1	$\lambda/4$
AB	2	$2\lambda/4$
BA	2	$2\lambda/4$
BB	3	$3\lambda/4$

Como no anteparo 2 incidem os feixes ‘AA’ e ‘BB’, é possível percebermos que um feixe está avançado exatamente $\lambda/2$ em relação ao outro. Já, no anteparo 1, incidem os feixes ‘AB’ e ‘BA’, que estão em fase. Dessa forma, o professor apresentou o Interferômetro de Mach-Zehnder para seus alunos. Ao abordar o avanço de uma onda em relação à outra, o professor retomou alguns conceitos de ondulatória, principalmente a ideia de interferência. O conteúdo de ondulatória havia sido explorado com as turmas no primeiro trimestre. O professor destacou que nos casos em que os feixes estão em fase ocorre interferência

construtiva e nos casos em que os feixes estão em oposição de fase ocorre interferência destrutiva.

Abordando, especificamente, o IVMZ o professor falou da possibilidade de alterar o regime de emissão da fonte, substituindo a opção “laser” por “fótons únicos”. Foi explorado, então, o postulado de Max Born proposto em 1926, no qual se relacionam a intensidade do feixe e a quantidade de fótons emitidos pela fonte. O professor evitou, propositalmente, se comprometer com um posicionamento com respeito à natureza da luz. Afinal, isso poderia influenciar nas discussões. Ressaltamos que nas primeiras aulas da “sequência didática” o professor explorou os debates que ocorreram ao longo da história da Ciência no que diz respeito ao “o que é a luz?”.

4.2.4 A sequência didática

No começo do terceiro trimestre, ao final do mês de setembro, o professor discutiu com seus alunos o conceito de “campo” na Física, assim como sua importância. Explorou o campo elétrico, associando com o campo gravitacional, indicando semelhanças tanto nas expressões quanto conceituais entre eles e as respectivas forças a distância associada a cada um. A força gravitacional já havia sido explorada no final do primeiro ano e a força elétrica em meados do terceiro ano. Abordou, então, o campo magnético. Discutiu, em nível conceitual, algumas leis do eletromagnetismo e a relação histórica entre eletricidade e magnetismo, dando ênfase ao experimento de Oersted (ROCHA, 2015). Uma demonstração experimental inspirada na proposta de Chaib e Assis (2007) foi realizada para os alunos. O professor também discutiu com os alunos “como foi descoberta a velocidade da luz?”. A partir disso falou para os alunos sobre o importante trabalho de Maxwell (1865) e a dedução teórica para a velocidade da luz no vácuo, partindo da relação entre características elétricas e magnéticas desse meio. Depois desse momento inicial os alunos tiveram de apresentar trabalhos sobre circuitos elétricos, desenvolvidos por eles desde o início do segundo trimestre.

Passada a semana destinada a apresentação dos trabalhos, iniciou de fato a sequência didática visando explorar a dualidade onda-partícula. Isso ocorreu na última semana de outubro. Na primeira aula da sequência foi proposto aos alunos que lessem a seção chamada “controvérsias a respeito da natureza da luz”, no capítulo 12 (“A natureza da luz”), do livro didático (PIETROCOLA, et al; 2016) e respondessem as perguntas propostas ao final do capítulo. O professor incentivou que os estudantes se reunissem, em duplas ou trios, para

realização da tarefa, inspirado no trabalho proposto por (PAGLIARINI; ALMEIDA, 2016). O professor ficou circulando pela sala, auxiliando os alunos que solicitassem ajuda com as questões. Na primeira parte da seção apresentava-se o debate entre o holandês Christiaan Huygens (1629 – 1695) e o britânico Isaac Newton (1643 – 1727). Nesse debate, cada um dos dois cientistas representava uma “tendência”. Em termos wertschianos, podemos falar que o conteúdo semântico de referencia, elemento central da disputa, era a natureza ontológica da luz. As perspectivas referenciais adotadas pelos cientistas era respectivamente, ondulatória e corpuscular. Na visão de Huygens tratava-se de um *ente vibracional* que propagava-se pelo éter²⁰, enquanto Newton definia a situação com a luz sendo uma *partícula* detentora de massa. Para Newton, a fonte luminosa é quem originava as partículas que compunham a luz. A concepção da luz como um feixe de partículas se destacava no debate filosófico que se desenvolveu até aquele momento. Na segunda parte da seção, o debate apresentado centrava-se no engenheiro francês Augustin-Jean Fresnel (1788 – 1827) e o também francês Siméon-Denis Poisson (1781 – 1840), que adotavam as perspectivas referenciais ondulatória e corpuscular, respectivamente. Foi dedicado um período para cada uma das partes da seção.

Na segunda etapa da sequência didática (uma aula expositiva) o professor se baseou nas discussões a respeito da luz e a mudança na forma como os cientistas a encaravam em diferentes momentos da história (ora com uma “vitória” de uma visão corpuscular, ora “vitória” de uma visão ondulatória). Ele o fez com a finalidade de discutir a natureza não cumulativa da Ciência e as importantes “revoluções científicas” (KUHN, 1978). Mencionou, superficialmente, as concepções epistemológicas de Kuhn e Popper e problematizou com isso o fazer científico. Na aula seguinte o professor retomou brevemente aspectos trazidos anteriormente e abriu espaço para que os alunos discutissem sobre Ciências no grande grupo, trazendo como exemplo os diferentes modelos atômicos vistos na disciplina de Química e o questionamento de “e se o modelo de atômico ao qual vocês se basearam o Ensino Médio não for o ‘mais aceito’ atualmente?”.

Em uma terceira etapa o professor comenta sobre a teoria da relatividade e sobre como essa era vista por Popper como uma teoria legitimamente científica, frente a outras. O professor explora a incomensurabilidade entre os conceitos da Mecânica relativística e da

²⁰ Cabe destacar as ressalvas apontadas por SILVA (2007) no que diz respeito a diferença como Huygens se referia a sua teoria vibracional e como as releituras de seu trabalho podem resignificar a visão do autor, dando margens a interpretações errôneas de seu trabalho, em processo que Silva irá chamar de whiggismo (SILVA, 2007). Silva (2010) destaca que para diversos historiadores da ciência ainda não deva referir a tal ente como onda, visto que, não apresentava características ondulatórias como comprimento de onda e frequência. Contudo, trataremos a perspectiva referencial vibracional como ondulatória.

mecânica clássica (FREIRE JR., 2015). Explora um pouco a biografia de Albert Einstein (1879 – 1955) e chama atenção para o fato de que o que levou o cientista a receber um prêmio Nobel não foi a teoria da relatividade e sim o efeito fotoelétrico. O professor então passou a explorar o que é esse efeito, relacionando-o com as discussões anteriores com respeito a natureza da luz. Comentou, brevemente, sobre a radiação de corpo negro e a quantização de energia proposta por Max Planck (1858 – 1947) (RIBEIRO FILHO, 2015). Dedicou maior atenção para a forma distinta como Einstein e Planck encaravam, ontologicamente, os *quanta*.

Com a quantização de energia e o efeito fotoelétrico, resgatou-se uma ideia de luz se comportando enquanto partícula, os fótons. O professor procurou diferenciar esses “fótons” da visão corpuscular clássica da luz. Baseando-se em Pessoa Jr. (2006) apresentou a versão fraca da dualidade onda-partícula para os estudantes. Por fim, foi apresentado o Interferômetro de Mach-Zehnder. Foi destinado um período para apresentar os componentes que compunham o aparato do interferômetro. O professor explorou o interferômetro operando em regime clássico e apresentou a tabela 2 para os estudantes. Falou da relação entre intensidade da onda e a quantidade de fótons emitidos, relacionando com uma noção de distribuição de probabilidade. Concluiu falando sobre a emissão de fótons únicos pela fonte. Na aula seguinte, foi a realização da atividade.

Na aula posterior à atividade o professor discutiu com os alunos as observações da atividade. Passou o endereço eletrônico onde eles poderiam encontrar a simulação do IVMZ e indicou o endereço eletrônico²¹ do artigo de Ostermann, Prado e Ricci (2006), além de deixar uma cópia impressa do mesmo na reprografia da escola²². Na aula seguinte foi feita uma revisão dos conteúdos trabalhados ao longo do trimestre e no outro foi realizada uma avaliação trimestral, com questões objetivas e dissertativas sobre o conteúdo trabalhado.

4.3 Gênero de fala da instrução formal

Nossas categorias analíticas, estando fortemente vinculadas à ação mediada, reforçam a importância atribuída à analogia do *kit* de ferramentas.

Uma abordagem bakhtiniana do significado, especialmente ao abordar os critérios que distinguem entre as linguagens sociais e entre os gêneros da fala, fornece um meio essencial para abordar as questões da heterogeneidade e da analogia do kit de ferramentas. Dada a novidade desta abordagem ao significado, não tentarei fornecer

²¹ Disponível em: < <http://www.if.ufrgs.br/~fernanda/> >.

²² Nesse artigo é apresentado um detalhamento do IVMZ, bem como possibilidades e limitações do *software*.

uma tipologia abrangente, teoricamente fundamentada, de linguagens sociais ou gêneros de fala. Na verdade, nem vou tentar gerar uma lista completa de uma classe de itens em um kit de ferramentas. Em vez disso, vou me concentrar em um único gênero de fala, que surge e se esforça para desempenhar um papel dominante em um cenário sociocultural específico, o da instrução formal (WERTSCH, 1991, p. 110; tradução nossa).

Wertsch (1991) irá se referir como *gênero de fala da instrução formal* ao gênero de fala que surge no cenário da escola, cenário este centralmente preocupado com a socialização, que apresenta hierarquias institucionais e características bem específicas. Podemos, facilmente, identificar algumas características desse gênero. Uma dessas características é a tendência de usar certos tipos de esquemas classificatórios. O uso desses esquemas é comum nas séries mais iniciais do ensino fundamental, onde as crianças são postas a classificar objetos enquanto “altos ou baixos”, “lisos ou ásperos”, “quentes ou frios”, entre outras (WERTSCH, 1991). Essa forma de taxonomia binária pode, contudo, influenciar no presente estudo, reforçando o caráter de oposição entre onda e corpúsculo. Uma segunda característica é que existe uma clara diferença de *poder* entre a voz do professor e as vozes dos alunos.

Isso se reflete no fato de que uma grande parte das declarações do professor são “diretivas” (Hickmann e Wertsch, 1978), que os estudantes devem seguir, enquanto os alunos produzem muito poucas diretivas para o professor. As diretivas não precisam estar na forma sintática de um imperativo; em muitos casos estarão em forma interrogativa ou mesmo declarativa (WERTSCH, 1991, p. 112; tradução nossa).

Uma terceira propriedade é que o discurso professor-aluno é organizado de modo que os alunos sejam encorajados a assumir cada vez mais as responsabilidades pela regulação. Essa propriedade foi explorada no contexto do Ensino de Ciências por Mortimer e Scott (2003). Olhando para essa terceira característica com as lentes da zona de desenvolvimento proximal, podemos dizer que o professor e o estudante estão envolvidos em uma espécie de negociação na qual o professor tende a usar diretrizes que exigem que os alunos adquiram responsabilidade pela regulação da atividade, portanto, sejam capazes de definir a situação em um nível novo (mais sofisticado) de auto-regulação (WERTSCH, 1984).

4.4 Gênero de fala da Ciência Oficial

Wertsch (1991) explora o gênero de fala da instrução formal olhando para ocorrências em séries iniciais do ensino fundamental. Contudo, o domínio que as crianças adquirem do gênero da instrução formal, conseguindo reconhecer as situações típicas de comunicação do

contexto escolar, também é importante ao olharmos para outros níveis de ensino. As séries finais do ensino fundamental e o Ensino Médio diferem dos anos iniciais, em parte, pelo tratamento especializado do conhecimento em áreas ou disciplinas específicas. Isso acarreta, conseqüentemente, em gêneros de fala que além de apresentarem características do gênero de fala da instrução formal, estão completamente vinculados à linguagem social da disciplina específica. Embora gênero de fala e linguagem social sejam fenômenos analiticamente distintos, “na realidade, eles estão muitas vezes completamente entrelaçados: os falantes de certos estratos sociais (por exemplo, os militares) são os que invocam o gênero da fala dos comandos militares” (WERTSCH, 1991, p.61; tradução nossa). As aulas de ciências, por exemplo, são orientadas por currículos e diretrizes que abordam tipos de conceitos e procedimentos de raciocínio a serem ensinados. Estes são selecionados a partir da própria atividade científica. Nesse sentido, Wertsch (1991) irá falar em *linguagem social da ciência oficial*. Dessa forma,

Um tipo de discurso que é amplamente considerado mais adequado do que outros no cenário sociocultural da instrução formal é o que eu chamarei de gênero da "ciência oficial". A ciência oficial em questão aqui é a ciência explicitamente ensinada no currículo formal. Uma vez que há muitos tópicos abordados nos currículos de ciências e uma vez que existem muitos estágios no domínio de cada um, nenhum gênero de discurso monolítico e único da ciência oficial pode ser definido. A propriedade que os unifica é o fato de estarem fundamentadas no currículo de ciências (p. 135; tradução nossa).

Conforme discutimos anteriormente, delineamos nosso estudo com o desenvolvimento de uma atividade na qual estudantes do terceiro ano de uma escola pública foram divididos em pequenos grupos e apresentados ao IVMZ. Os grupos deveriam resolver questões de um roteiro de exploração da simulação. Basicamente, cada questão pedia para os estudantes preverem o resultado de alguma operação na simulação. A simulação foi projetada pelo professor e antes do mesmo realizar o procedimento solicitado no roteiro, os alunos deviam debater entre si sobre o resultado esperado para aquela operação. O objetivo é que, em caso de divergências, os alunos tentassem persuadir seus colegas de grupo a mudar de ideia. Esse tipo de atividade guarda semelhanças com propostas de metodologias ativas, conforme discutem Oliveira, Araújo e Veit (2016). Os enunciados empregados no processo de persuasão nos indicariam a forma como os participantes da pesquisa definiam a situação em cada contexto, assim como seu domínio do gênero de fala da ciência oficial. As interações discursivas que emergiram nesse contexto foram gravadas em áudio.

Em termos vygotskyanos, os conceitos científicos emergem em contextos instrucionais formais, pelo menos em parte, devido às forças de racionalização que caracterizam a ação humana nesse ambiente institucional (WERTSCH, 1991). A atividade, mediada pelo IVMZ, é desenvolvida em um contexto instrucional formal a qual os estudantes do último ano da educação básica já conhecem muito bem. Eles também já conhecem o professor, a disciplina e alguns elementos típicos da tensão irreduzível que há entre o professor e os “recursos textuais” (WERTSCH, 2002) (que por sua vez indicam o gênero de fala) que ele emprega ao ministrar as aulas de Física. No seguinte trecho apresentamos um segmento de discurso que emergiu no cenário da atividade com o intuito de ilustrar que os alunos reconhecem o gênero de fala que é esperado que eles adotem no contexto da atividade. Nesse trecho os estudantes estão tentando prever o que irá ocorrer ao trocar o modo de emissão da fonte passando de laser para fótons únicos. A figura 2 ilustra o que é observado nos anteparos, com a fonte emitindo fótons únicos.

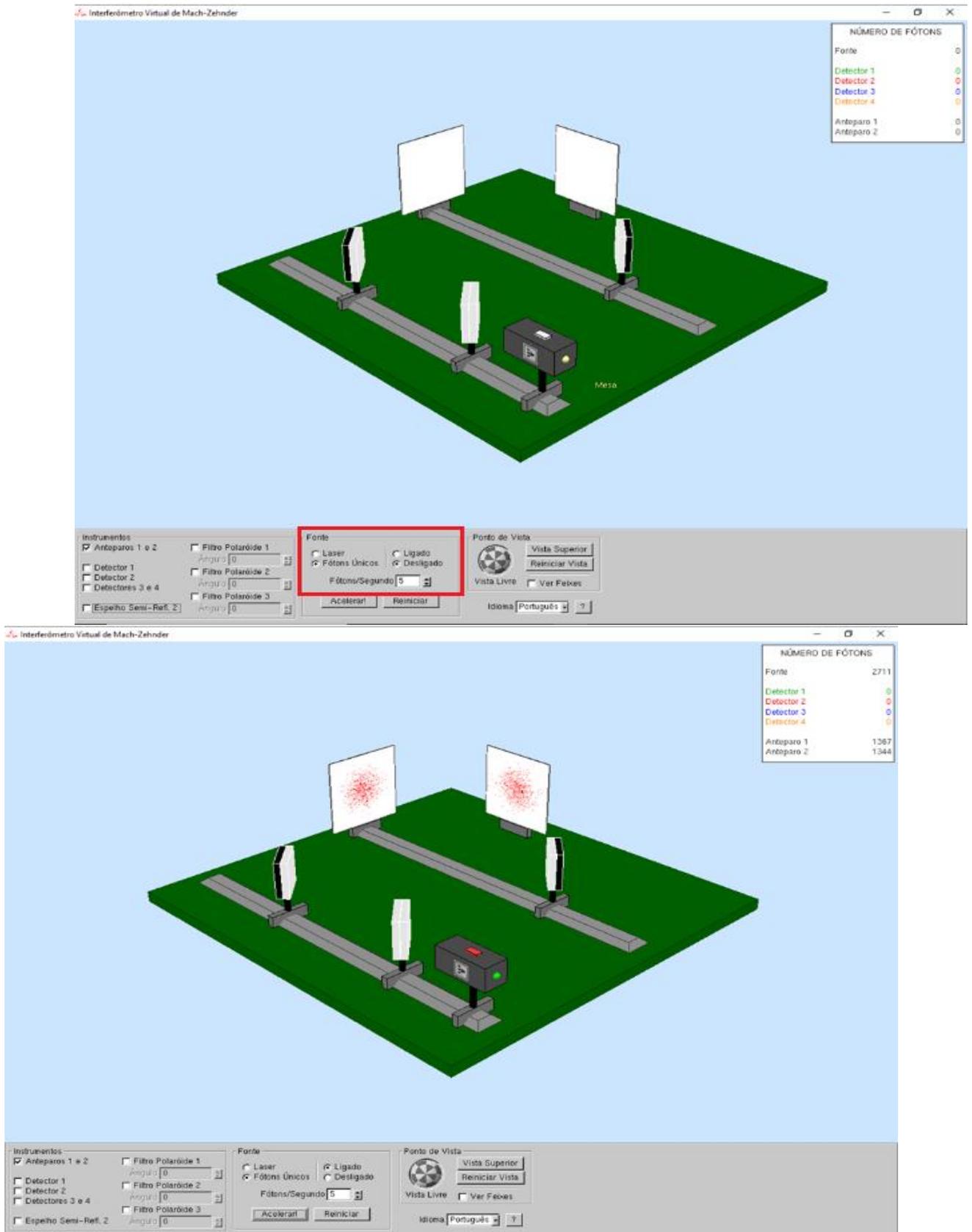


Figura 2. Interface do IVMZ configurado para emissão de fótons únicos, sem o espelho semi-refletor 2. Fonte desligada (2a) e Fonte ligada após o uso do comando acelerar algumas vezes (2b).

O professor é designado por P e os estudantes da dupla envolvida na interação são designados por C1 e C2²³.

(6) C1: É, eu acho que não vai estar nesse formato, vai estar como uma tinta soprada assim, tipo uma tinta atirada na tela. Não vai tá, como que é? Não vai estar nítido. Vai tá meio pixelado assim. Não vai estar certo.

(7) C2: Ele [referindo-se a P] vai nos perguntar o porquê.

(8) C1: É, vai, como sempre...

A divisão dos estudantes em duplas e, principalmente, o fato da dupla demonstrar (nos enunciados 7 e 8) que reconhece que o gênero de fala que eles empregaram (vinculado a uma linguagem social cotidiana) para responder a questão (enunciado 6) não está adequado ao gênero de fala da ciência oficial são indícios de que os estudantes definem o cenário claramente, enquanto um cenário sociocultural de uma atividade de ciências.

4.5 A apresentação dos resultados

Nosso propósito é olhar para os trechos de transcrições de algumas interações arroladas em categorias inspiradas em propriedades da ação mediada (WERTSCH, 1998) seguindo as características do enunciado (WERTSCH, 1991). São essas características do enunciado que permitem diferenciar e identificar os gêneros de fala empregados pelos falantes (WERTSCH, 1991). Lembramos, então, dessas características: os limites indicam a mudança de falantes (seu começo é precedido pelos pronunciamentos de outros, e seu fim é seguido pelas declarações responsivas de outros ou a compreensão responsiva ativa dos outros); a finalização ocorre quando o falante disse tudo o que ele desejava dizer em um momento particular ou em circunstâncias particulares; e a forma genérica é o que molda o discurso do falante com elementos de um gênero de fala específico. Da relação do enunciado com o próprio falante, a forma genérica nos indica o conteúdo semântico de referência (que seria o próprio conteúdo que está sendo abordado) e a perspectiva referencial (que seria o “ponto de vista” adotado pelo falante ao se referir sobre o “conteúdo”).

Exemplos de perspectivas referenciais distintas no caso da física quântica seria falar sobre a *natureza da luz* em oposição ao *comportamento da luz*; os fótons como entes que

²³ Cada dupla envolvida na atividade é representada por uma letra do alfabeto, iniciando pelo ‘A’.

quicam ou *não quicam* (ao colidir), ou através da intensidade destes. Outra diferenciação, quanto à atividade em si, é *descrever a observação* ou *explicar a observação*. Esse tipo de diferenciação já foi explorado em pesquisas realizadas em aulas de Ciências por Mortimer e Scott (2003). Podemos identificar no enunciado 6 que o objetivo de C1 era *descrever* a atividade enquanto C2 percebe que no contexto do gênero de fala da Ciência oficial *explicar* é mais adequado (enunciado 7). Vale destacar que há diferentes formas de explicar os fenômenos quânticos observados no IVMZ. Identificamos que uma delas pode ser *causal* e outra *probabilística*. Dito isso, partimos para a apresentação dos dados.

4.6 Privilegiação do gênero de fala da Ciência Oficial

No contexto da presente pesquisa, direcionamos nossa atenção para o movimento que os estudantes fazem ao empregar recursos textuais baseados em uma visão ora ondulatória ora corpuscular para a luz. Dependendo da configuração do IVMZ, um recurso textual (no caso, a forma como se referir à luz) pode fornecer recursos para uma explicação mais adequada do fenômeno do que outro. Outros trabalhos da literatura pertinente às pesquisas sobre física quântica já focaram sua atenção nos *recursos e restrições* inerentes à ação mediada (PEREIRA; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2009; PEREIRA; OSTERMAN, 2012b) no contexto de atividades de física quântica. No artigo de Pereira e Ostermann (2012b), os autores observam que embora os participantes da pesquisa dominassem um tipo de texto, ao longo da tarefa surgiram restrições devidas justamente ao uso desses textos. A fim de realizar a tarefa de forma satisfatória, os sujeitos passaram por uma transformação em seu discurso, na medida em que começaram a empregar outros recursos textuais. No capítulo anterior, exploramos a relação entre algumas propriedades da ação mediada (como recursos e restrições), com a ideia de privilegiação.

Uma das características do gênero de fala da instrução formal, identificado anteriormente, é a diferença de poder entre a voz do professor e dos estudantes. No contexto específico de aulas de ciências, essa diferença pode ser identificada pelo nível de domínio que o professor detém do gênero de fala da ciência oficial em relação aos estudantes. O professor de ciências tende a usar diretivas com o intuito de regular os processos mentais dos alunos (como pensamento ou atenção) de maneiras apropriadas para o cenário sociocultural da sala de aula de ciências. “A razão geral para o uso de tantas delas [diretivas] é fornecer uma base de enunciados reguladores que possam ser dominados e internalizados pelos próprios alunos”

(WERTSCH, 1991, p. 112; tradução nossa). O que começa como interferência externa no plano intermental, no entanto, é gradualmente transformado em um tipo de interferência auto-imposta, um processo intramental. Pode-se dizer que um dos múltiplos objetivos ao se ensinar ciências seja, justamente, instrumentalizar os estudantes para compreender que gêneros de fala da ciência oficial são mais apropriados do que outros para descrever e/ou explicar vários fenômenos em contextos específicos.

O primeiro recorte que apresentamos se passa no terceiro item do roteiro, logo que se substitui os anteparos por detectores retirando também o espelho semi-refletor 2 da configuração (figura 3). O áudio analisado nesse episódio foi enviado pela dupla 'C'. Com ele, buscamos ilustrar aspectos do processo de privilegiação além da diferenciação entre perspectivas descritivas e explicativas.

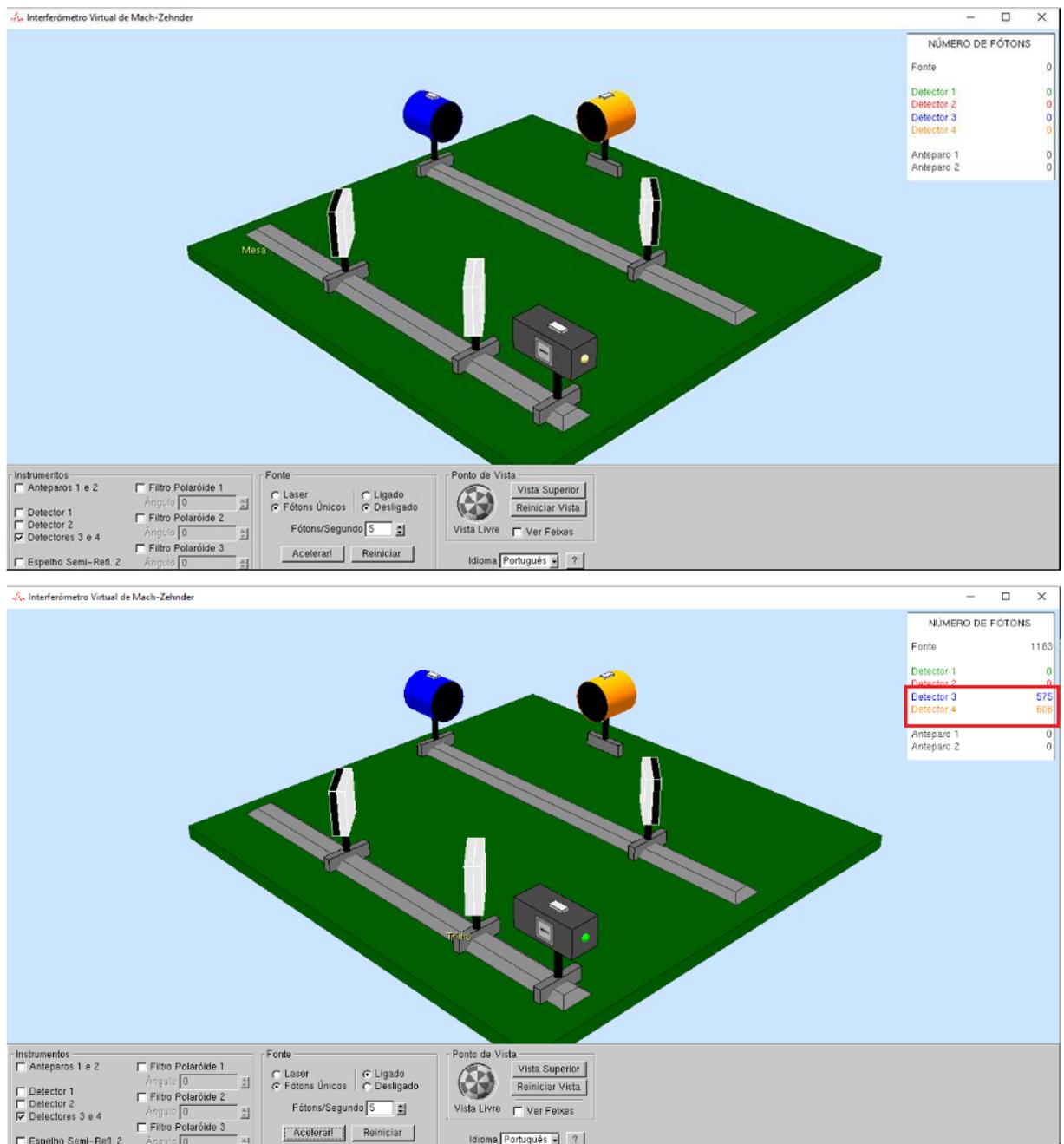


Figura 3. Interface do IVMZ configurado para emissão de fótons únicos, sem o espelho semi-refletor 2. Fonte desligada (3a) e Fonte ligada após o uso do comando acelerar algumas vezes (3b).

Neste trecho temos o registro de uma interação discursiva onde os estudantes procuram explicar o que observaram (após a simulação já ter sido iniciada). A interação é apresentada a baixo:

- (44) C1: Ah, ele só detecta...
- (45) C2: Ah, eu sabia que ele não [...inaudível]
- (46) C1: Como assim ele divide? É o que ele [P] disse, vai ser dividido.

- (47) G1: Não deveria dividir igual nos dois detectores?
- (48) P: saiu três fótons da fonte até agora. Chegou dois no azul e um no laranja.
- (49) C1: Vai ser dividido... ta quase [igual]... Olha ali, 5 e 3 [azul e laranja].
- (50) Professor usa o comando “acelerar”.
- (51) C1: Tá... Oh, mudou?
- (52) E1: O sor [referindo-se a P], mas por que é que não ta igual?
- (53) C2: Mas o amarelo aumentou, o amarelo ta maior agora...
- (54) C1: Hum...
- (55) G1: Por que tem diferença?
- (56) C1: Ele inverteu.
- (57) P: Não inverti nada, só apertei no “acelerar”.
- (58) C1: Não sor, mas antes o azul tava maior e agora amarelo tá maior.
- (59) [murmurinho ao fundo, outras duplas interagindo]
- (60) C2: Será que eles não podem se bater, assim?
- (61) C1: “Os fótons vai[vão] pro amarelo porque ele é mais fraco, primeiro ele é refletido antes de refletir pra outro espelho” [repetindo uma resposta de outro grupo, ao fundo]... Não, mas não tem nada a ver. Pela cara do sor da pra ver que não tem nada a ver (risos).
- (62) J1: Mas isso é que nem quando tu toca uma moeda pra cima, tem chance de cair cara ou coroa...
- (63) D1: Aquele lance de probabilidade?
- (64) [murmurinho ao fundo, outras duplas interagindo]
- (65) G1: Sor, mas não ter a ver que o espelho semi-refletor vá refletir, vai sofrer interferência e daí às vezes ele vai refletir para um e as vezes vai refletir para outro, não vai? Então não tem como saber qual vai receber mais...
- (66) P: Não. O espelho não sofre interferência.
- (67) G1: Ah sor, tu entendeu... Ele vai fazer a onda sofrer a interferência.
- (68) P: Sofrer um desvio?
- (69) G1: É... daí não tem como tu saber para qual vai mais...
- (70) P: O que a tua dupla acha sobre isso?
- (71) C2: Talvez seja por probabilidade, galera! [para a turma]

Podemos perceber que ao ser questionado por algumas alunas, com respeito à distribuição aleatória dos fótons detectados (“*Não deveria dividir igual nos dois detectores?*”; “*mas por que é que não ta igual?*”; enunciados 47, 52, 55), o professor assume uma postura de não *explicar* a “causa”, apenas *descrevendo* a observação, “*Saiu três fótons da fonte até agora. Chegou dois no azul e um no laranja.*” (enunciado 48). Ao fazer isso o professor manda mensagens implícitas para os estudantes de qual deve ser o gênero de fala privilegiado naquele contexto (WERTSCH, 1991). C1 e C2 então aderem a esse gênero de fala, “*Olha ali, 5 e 3*” (enunciados 49, 53 e 58). C1 conclui que “*ele inverteu*” (enunciado 56)²⁴.

Olhando para a regulação por outros, temos um trecho em que o professor recorre a diretivas como forma de intervir no plano intermental com uma estudante. O primeiro movimento feito pelo professor nesse sentido foi o de responder a uma pergunta (enunciado 65) de forma sarcástica, “*Não. O espelho não sofre interferência.*” (enunciado 66). No entanto, seu objetivo não é responder a pergunta diretamente ou contribuir para que G1 consiga se auto-regular em busca dessa resposta. O enunciado 70 pode até indicar esse aspecto de passar a responsabilidade para os próprios alunos, mas os 66 e 68 estão orientados a fazer com que G1 reformule a pergunta, feita no enunciado 65. A pergunta, conforme enunciada, não está de acordo com o gênero de fala da ciência oficial e ao perceber isso o professor usa as diretivas para instigar que a dupla reformule a pergunta de acordo com o gênero adequado.

É claro que o objetivo final de tais diretivas não é resolver problemas no plano intermental. Professores querem organizar a regulação de modo que seus padrões possam ser dominados e internalizados pelos estudantes; eles querem promover a transição para uma auto-regulação no plano intramental. [...] Ao responder à diretiva, o aluno se envolve em um processo sancionado e regulado pelo professor (WERTSCH, 1991, p. 112; tradução nossa).

Focaremos em como o enunciado do falante se relaciona com os enunciados de outros em um relacionamento de poder, porém estaremos preocupados com a voz dos alunos e não com a do professor. Entre os enunciados 59 ao 64 identificamos debates internos nas duplas, enquanto C1 e C2 permanecem em silêncio²⁵. A forma descritiva de definir a situação empregada pela díade anteriormente é então substituída por uma forma explicativa, “*Será que eles não podem se bater, assim?*” (enunciados 60 e 61).

²⁴ No enunciado 57, o professor [P] reconhece no enunciado 56 uma possível forma de C1 ter compreendido que ele [P] teria feito, de alguma maneira, uma inversão manual ao mexer no *software* (enunciado 50).

²⁵ Parecem estar preocupados em prestar atenção nesses debates, como se estivessem buscando uma resposta explicativa para o fenômeno, mas não podemos afirmar isso apenas com base nos dados.

Nos enunciados 62 e 63 é possível notar que alguns alunos começam a ensaiar uma *explicação probabilística* para o fenômeno, “*Mas isso é que nem quando tu toca uma moeda pra cima, tem chance de cair cara ou coroa...*”; “*Aquele lance de probabilidade?*”. Mais adiante, no enunciado 71, C2 que parecia estar atento às discussões, assim como C1, elege o modo de definir a situação usando a explicação probabilística como a mais apropriada e direciona essa conclusão para os colegas. Um aspecto chave desse processo de escolha parece ter sido o papel desempenhado pelo termo “probabilidade”, como sendo adequado ao gênero de fala da ciência oficial. O professor empregou esse termo em alguma aula anterior a realização da atividade²⁶, embora nenhum estudante o houvesse empregado até então. Essa possível relação do termo com a voz do professor atribuiu certo *poder persuasivo* aos enunciados 62 e 63.

No que diz respeito ao “poder persuasivo”, já identificamos, em recorrentes ocasiões, que o professor assume um papel de autoridade no contexto da sala de aula e é algo intrínseco ao gênero da fala da instrução formal. A voz dele possui poder maior do que a dos estudantes e, como vimos no exemplo anterior, os estudantes podem evocar essa voz do professor em seus enunciados. Isso atribui poder a eles, visto que, ao trazer a voz do professor de forma mais direta estão buscando se situar no gênero de fala da ciência oficial (em casos de disciplinas de ciências). Wertsch (1991) informa que “alguns pesquisadores argumentam que o surgimento dos conceitos de ciência oficial envolve uma mudança qualitativa no desenvolvimento” (p. 136; tradução nossa). Pelas lentes do referencial vygotskyano tal mudança só é justificada pelo processo de internalização, da regulação pelo professor no plano intermental para uma auto-regulação na realização das tarefas no plano intramental. Contudo, no contexto de uma sala de aula em que os estudantes já estudam há tempos juntos, não é apenas a voz do professor que tem poder. A convivência gera relações heterogêneas entre os próprios estudantes em disciplinas específicas, ou seja, os próprios alunos acabam elencando, entre os próprios colegas, parceiros mais qualificados na realização de uma ou outra tarefa (WERTSCH, 1991). O trecho a seguir busca ilustrar essa discussão. Nele, os estudantes estão envolvidos com a fonte emitindo fótons únicos (conforme ilustra a figura 4) e discutem a respeito das colisões entre os fótons, ou seja, esses entes “quicarão” ou “não quicarão”?

²⁶ Afirmamos isso, pois lembramos que o professor em questão é também o autor desta dissertação.

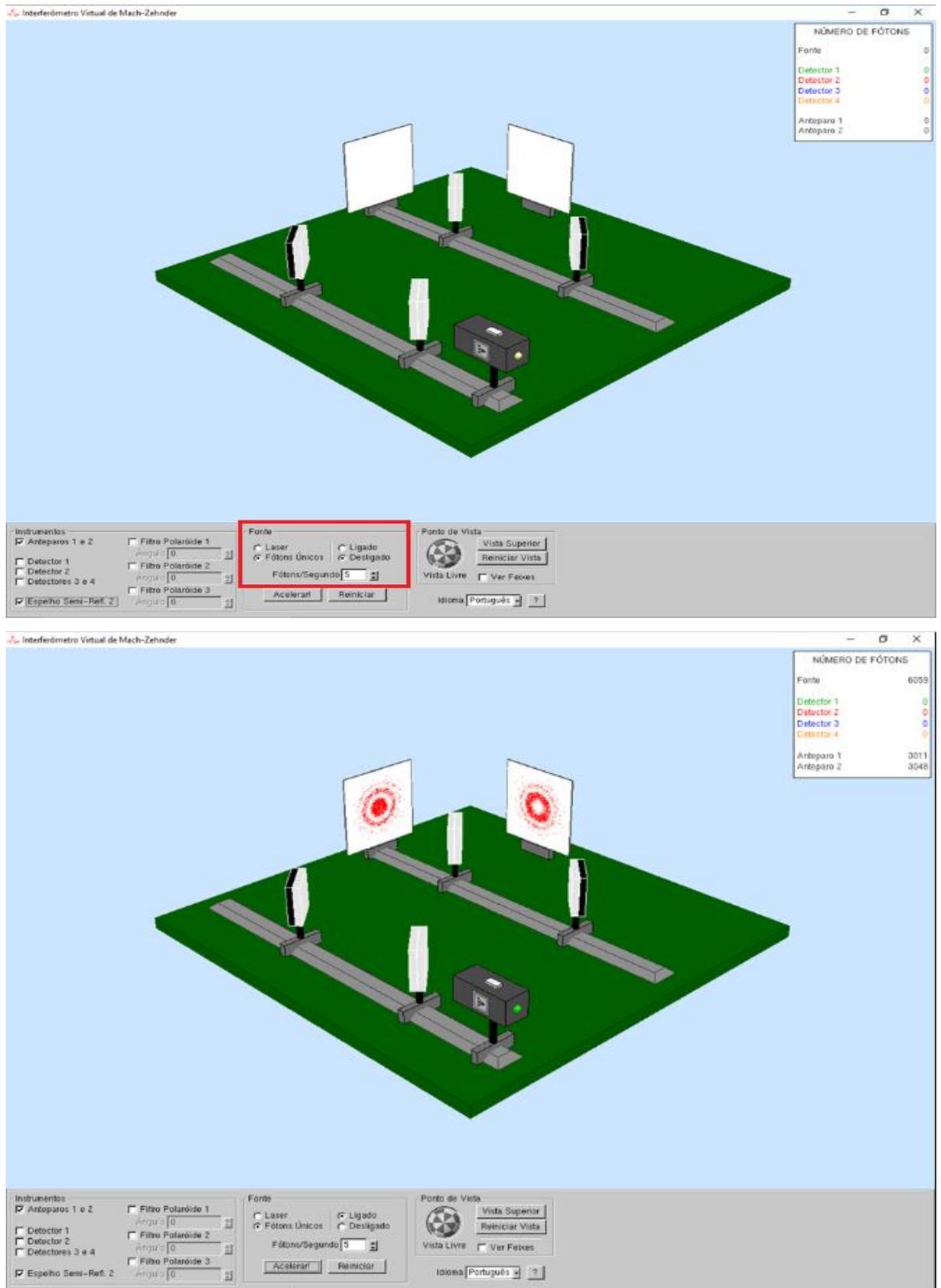


Figura 4. Interface do IVMZ configurado para emissão de fótons únicos, com o espelho semi-refletor 2. Fonte desligada (4a) e Fonte ligada após o uso do comando acelerar algumas vezes (4b).

- (22) E2: Em fótons a gente vai ter uma figura semelhante, porém fragmentada em vários pedaços, que são as partículas de luz, é isso?
- (23) E1: É, sei lá, eu acho que as bolinhas quicariam...
- (24) E2: Elas não quicam, E1.
- (25) E1: Tá, mas como meu colega [E2] é mais competente que eu nesse sentido e a resposta dele parece ter mais sentido, eu concordo [direcionando-se ao gravador].
- (26) E2: Como que ela vai ficar quicando?
- (27) E1: (risos) Eu não sei...

Nesse trecho é possível perceber que a dupla converge para uma visão de que os *fótons* são “partículas de luz”, ou “bolinhas”, conforme os enunciados 22 e 23. No entanto, há uma clara diferença na forma como ambos definem a situação. No enunciado 25 temos um indício do poder persuasivo de E2 que pode ter se originado de sua reputação geral como inteligente em questões acadêmicas na disciplina de Física, ou até mesmo por ter obtido sucesso nas previsões dos itens anteriores. Isso fica explícito no enunciado 25, quando E1 diz: “*mas como meu colega é mais competente que eu nesse sentido[...]*”. Nesse mesmo enunciado, ela demonstra concordância que a resposta do colega esteja correta²⁷. Porém, a persuasão não depende apenas do *status* do falante (WERTSCH, 1991). Ela depende também daquilo que foi dito, dos argumentos empregados pelo falante. Assim, ainda no enunciado 25, podemos observar: “[...] *e a resposta dele parece ter mais sentido*”. Esse *sentido* passa pela forma como E2 definiu a situação. Ele enunciou da forma que julgou adequado ao gênero de fala da ciência oficial. Como qualquer gênero de fala este é característico de certos contextos socioculturais e pertence a outros falantes que já o utilizaram. Como resultado, essas outras vozes são evidentes nas declarações de E2, ainda mais se olharmos para um trecho anterior da interação, com emissão monofotônica sem o espelho semi-refletor 2 (figura 2).

- (4) E2: Primeiro, o que [é] que são fótons? São partículas de luz, então a gente vai substituir o laser que é um raio reto e contínuo de maior intensidade por fótons.
- (5) E1: Tá, daí será que como são bolinhas não vão ficar quicando e o caramba?
- (6) E2: Não, não vão ficar quicando.
- (7) E1: Tá, mas como não é uma coisa contínua então não vai ficar bem bonitinha no desenho.

²⁷ No entanto, nada podemos afirmar com respeito se E1 passou a acreditar que a luz é (ou mesmo se comporta) como E2 defende. Provavelmente não.

- (8) E2: Sim, as bolinhas vão meio que vão se dividir no desenho, acho que é isso.
- (9) E1: Será que elas não vão bater uma na outra e ficar quicando pra tudo quanto é lado?
- (10) E2: Não porque é luz.
- (11) E1: Sei lá. Então a nossa resposta final seria que as bolinhas ao invés de ser direto elas vão ficar só em desenho de bolinha na tela.
- (12) E2: [inaldível]
- (13) E1: Eu acho que não tá muito certo, mas tudo bem.
- (14) E2: Eu acho que tá certo.
- (15) E1: Então ta, o E2 acha que tá certo... Tá eu vou concordar com o E2.

Esse trecho, da mesma dupla, evidência uma discussão da díade sobre “*o que ocorre em caso de colisão dessas bolinhas?*”. Essa diferença pode ser analisada em termos da *perspectiva referencial* que cada um adota. Podemos dizer que o *conteúdo semântico de referência* partilhado em questão são as “partículas de luz”. Contudo, ambos significam essas “bolinhas” de forma distinta. Enquanto E1 não consegue se desprender de uma concepção de corpúsculo enquanto algo que “quicaria” (enunciados 5, 9, 13 e 23), E2 concebe essas “bolinhas” luminosas como um ente que “não quicaria” (enunciados 6, 10, 12, 14, 24 e 26).

O domínio do recurso textual corpuscular da luz passa, necessariamente, pelo reconhecimento dos corpúsculos enquanto não possuidores de massa (que não quicariam, embora possuam *momentum*). Percebemos, por parte de E2, algumas tentativas de buscar um estado de intersubjetividade, usando diretivas para tentar mediar a forma como E1 define a situação. Percebemos diretivas imperativas, “*Elas não quicam, E1.*”; “*Não porque é luz.*” (enunciados 6, 10, 12 e 24) e apenas uma diretiva interrogativa, “*Como que ela vai ficar quicando?*” (enunciado 26). Ao longo da interação discursiva dessa dupla é possível identificar que E1 assume um posicionamento mais passivo e evita discutir mais intensamente seu ponto de vista. Quando E2 direciona a ela uma diretiva interrogativa (enunciado 26), ela assume uma postura respondente de não aceitação do que o colega expõe. Ela nem cogita alguma alternativa, “*Eu não sei...*” (enunciado 27). Nesse mesmo tópico (troca para regime de baixas intensidades, sem o espelho semi-refletor 2 na configuração do IVMZ, conforme ilustra figura 2), destacamos um trecho da dupla ‘J’. Nesse trecho procuramos explorar um pouco mais de alguns aspectos, a saber: “poder persuasivo”, “atitude responsiva”, uso de diretivas e outro caso em que há divergência na forma de se definir a situação.

(58) J1: Entramos em divergência novamente. Eu acredito que justamente por serem fótons, nós temos que trabalhar com a probabilidade de 50% de descer e 50% de ir reto, então talvez alguma fonte no final tenha mais fótons do que a outra.

(59) J2: Eu não sou o tipo de pessoa que acredita na verdade absoluta, então eu vou apresentar o meu ponto de vista, que é: eu acho que como o laser tem uma... uma...

(60) J1: Luminescência...

(61) J2: Ah (risos), não sei (a palavra)... Ele é mais concentrado, então ele chegou bem ali na tela, mas eu acho que se for um fóton ele vai chegar mais fraco na tela ou a luz vai se dispersar no caminho e não vai chegar até a tela.

(62) J1: Fechou todas.

Muito do que identificamos na dupla ‘E’ se mostra recorrente na dupla ‘J’. Contudo, começamos olhando para o ponto que mais difere da dupla anterior: a atitude responsiva. Como o primeiro a enunciar foi J1, podemos perceber no enunciado de J2 uma atitude responsiva à J1 (enunciado 59). “O gênero de fala considerado isoladamente não confere poder ou status automático àqueles que o adotam” (WERTSCH, 1991, p. 138; tradução nossa). Essa colocação de Wertsch (1991) se mostra muito pertinente quando olhamos para a atitude responsiva de J2. Parece visível (inclusive para J2) que o enunciado 58 (proferido por J1) demonstra “apropriação” de fragmentos, como o vocabulário, do gênero de fala da ciência oficial. O uso de “fótons”, “probabilidade” e “fontes” sugerem atribuir ao enunciado 58 poder persuasivo. J2 reconhece esse “nível de poder”, mas não o aceita de forma passiva e sim, se opõe a ele. Ele, então, evoca a voz do professor tentando atribuir ao seu enunciado esse “poder persuasivo”. Ele traz a voz do professor ao empregar “verdade absoluta”, termo que foi alvo de discussão proposta pelo professor em aulas anteriores com respeito à natureza da ciência²⁸. Entretanto, J1 abre mão de contrapor e prolongar (no caso iniciar) o debate, como notamos no enunciado 62.

Nos trechos de interações das duplas ‘E’ e ‘J’ é possível identificar que os componentes da dupla *definem a situação* em questão de forma distinta. No caso da dupla ‘J’ não há indícios explícitos de *mediação semiótica* em favor de uma situação de *intersubjetividade*. Já na dupla ‘E’, percebemos alguma tentativa por meio das diretivas de E2, direcionadas à E1. Com relação à dupla ‘C’, parece haver intersubjetividade entre eles.

²⁸ Cabe destacar que nem J1 e nem J2 empregam corretamente todos os termos que foram destacados.

Todavia, A dupla ‘C’ demonstra definir a situação de forma distinta aos demais colegas, na mediada em que assume um posicionamento “descritivo” do fenômeno, enquanto os demais colegas cujos enunciados aparecem no trecho definem a tarefa como “explicativa”. Presenciar o diálogo entre essas vozes e a do professor parece ter cumprido um papel de *mediação*, fazendo com que a dupla ‘C’ passasse a definir a situação como “explicativa” também. Dessa forma, apoiados em construtos inerente à zona de desenvolvimento proximal (WERTSCH, 1984) observamos algo curioso: o único caso em que não houve uma tentativa explícita de mediar a intersubjetividade é que ela ocorreu de fato (dupla ‘C’). Além disso, nesse único caso, não temos um indivíduo mudando a forma de definir a situação, mas sim um grupo, algo que é totalmente coerente com a teoria da ação da mediada (WERTSCH, 1991; 1998).

4.7 Domínio, Apropriação e Resistência do gênero de fala da Ciência Oficial

Na seção anterior, nos ocupamos com a ideia da privilegiação. Tratamos a privilegiação, em linhas gerais, como um processo de escolha de uma ferramenta cultural específica em um contexto cultural, histórico e institucional bem definido: O cenário da sala de aula (de Física). As ferramentas em questão podiam ser entendidas como os “recursos textuais” (WERTSCH, 2002) empregados pelos falantes na forma de definir a situação, levando em consideração os gêneros de fala da instrução formal e da ciência oficial. Identificamos que as definições da situação associadas a enunciados que traziam elementos do gênero da ciência oficial eram vistas como mais apropriadas que outras naquele contexto e dessa forma apresentavam um poder persuasivo maior. Contudo, identificamos também oposição a esses enunciados (no caso da dupla ‘J’) e casos em que havia concordância (no caso ‘E’). Em ambas as situações (mesmo onde houve concordância com a resposta) se percebe uma “resistência” à forma de definir a situação “reconhecidamente mais poderosa”. Wertsch (1991) irá defender que isso é uma “evidência de que pelo menos em um certo ponto estudantes em desenvolvimento *têm mais confiança ou fé* nesses conceitos [ligados à linguagem social cotidiana] do que eles fazem naqueles fornecidos pela ciência oficial” (p. 136; tradução nossa e destaque nosso).

Os comentários de Bakhtin com respeito de como as palavras podem “resistir” aos esforços do falante em apropriar-se delas apontam um importante aspecto do processo de apropriação: sempre implica em resistência de alguma natureza. [...] Os agentes não se apropriam de forma simples, sem enfrentar problemas, das

ferramentas culturais. Pelo contrário, geralmente enfrentam resistência; e, entre os meios mediacionais e o uso peculiar da ação mediada, há algo que minimamente poderia ser chamado de “atrito”. [...]A existência de alguma forma de resistência ou atrito é, portanto, a regra e não a exceção (WERTSCH, 1998, p. 94; tradução nossa).

Para Bakhtin, o primeiro contato que temos com as palavras não se dá através de uma linguagem neutra e impessoal (como procurando por elas em um dicionário, por exemplo). Nosso primeiro contato com elas se dá, normalmente, pela boca de outros, nos contextos dos outros e nas intenções dos outros. Nem todas as palavras se submetem a diferentes pessoas da mesma forma. Muitas palavras resistem com obstinação ao ser empregadas por alguém e outras, quando empregadas, soam estranhas pela boca de quem as pronuncia. É como se as palavras se pusessem, a si mesmas, em um “estado de citação”, apesar da vontade do falante. O enunciado pode ser um indicador da forma como o falante significa as palavras. A perspectiva referencial do falante, relacionada à recusa em aceitar o enunciado de outro, pode indicar essa resistência. Essa resistência pode representar um obstáculo determinante na busca de se estabelecer um estado de intersubjetividade entre uma díade que difere na forma de definir a situação. Olhemos novamente para o contexto em que se trocou o regime de emissão da fonte, de laser para fótons únicos (figura 2). Dessa vez, nosso objetivo é investigar diferenças ao abordar a *natureza* da luz em oposição ao *comportamento* da luz. O faremos, justamente, baseados nessa questão de “resistência”.

(27) L2: Tá, já vamos ver o que a gente acha que acontece quando troca pra fótons.

(28) L1: E o que são esses fótons mesmo?

(29) L2: São aquelas partículas de luz, tá ligado?

(30) L1: Ah, então essa é fácil.

(31) L2: Ué, por quê?

(32) L1: Porque não vai acontecer nada. A luz não é partícula, é onda. Não tem como acontecer nada.

(33) L2: (risos) Pois é, eu também acho que a luz seja uma onda...

Poderíamos identificar a resistência mencionada acima, especialmente pelos enunciados 32 e 33 do presente trecho. Contudo, para afirmarmos que houve resistência da dupla ‘L’ com relação à definição a situação como corpuscular seriam necessários indícios maiores de que houve domínio por parte dos mesmos da diferença entre as duas formas de perspectivas referenciais (considerando corpuscular e ondulatória). Entretanto, ao declarar que

“a luz não é partícula, é onda” (enunciado 32), L1 não apenas enuncia a sua forma de definir a situação, mas também nos permite identificar que o conteúdo semântico de referência que ele está assumindo é a luz e o faz de uma perspectiva referencial ligada à *natureza* do ente luminoso. L2, no enunciado 29, demonstrava se referir ao mesmo conteúdo semântico de referência, porém assumindo uma perspectiva referencial diferente: o *comportamento* da luz. O enunciado 32 também cumpriu um papel mediador importante, pois faz com que no enunciado 33 L2 enuncie a sua crença estabelecendo um estado de intersubjetividade entre a díade, “Pois é, eu também acho que a luz seja uma onda...”. Dessa forma, embora não possamos dizer que houve apropriação do modelo ondulatório, podemos afirmar que esse segmento retrata uma “não-apropriação” do modelo corpuscular.

Pode ser que a crença partilhada pela dupla seja fundamentada nas aulas de Física que trataram a luz como onda quando as turmas trabalharam ótica e ondulatória, ou até mesmo nas discussões que haviam tido há pouco tempo sobre as mudanças históricas com que os cientistas tratavam a luz. Sendo assim, essa crença representa um processo de apropriação (mesmo que não tenhamos indícios para afirmar que esse processo foi concluído no caso da dupla ‘L’). Eles tiveram contatos com outras vozes como a do professor e dos autores do livro didático e buscaram torná-las próprias. Falar pode ser entendido como um processo de apropriação fundamentalmente, visto que, o falante busca empregar as palavras (e as vozes) de outros fazendo-as suas (pelo menos em parte) (WERTSCH, 1998), ou seja, uma transposição de “algo” do plano intermental para o plano intramental.

As ideias discutidas até agora na presente seção, sobre resistência, remetem a uma das propriedades da ação mediada, apresentada no capítulo anterior, *a internalização como apropriação*. No próximo episódio, discutiremos a apropriação por parte dos estudantes. Todavia, cabe destacarmos a diferença apontada por Wertsch (1998) entre um processo mais geral de internalização e o que ele chama de “apropriação”.

[...] com respeito a internalização, parece que muitas interpretações diferentes, ligadas a diferentes exemplares, obstruem a paisagem conceitual. O problema é que, com frequência, tentamos discutir sobre a internalização no abstrato, porém as interpretações dos diferentes grupos envolvidos no debate se baseiam em exemplares concretos e muito diferentes. [...] Como não compartilhamos de exemplares, não partilhamos as concepções. [...] A eleição de um exemplar depende do que um queira dizer e como se ajusta a um marco teórico maior. [...] Ao invés de pensar na internalização como um conceito que se pode definir de maneira abstrata e logo pode se aplicar a exemplos concretos, diria que é mais adequado vê-lo como um termo cuja definição está vinculado a fenômenos e exemplos particulares e é, portanto, uma palavra que pode adotar interpretações variadas (WERTSCH, 1998, p. 84; tradução nossa).

É justamente dessas interpretações variadas que Wertsch irá discutir duas formas particulares, e independentes entre si, de internalização: a apropriação e o domínio. Discutiremos cada uma delas nos dois próximos trechos que trouxermos, respectivamente. Abaixo segue trecho da dupla 'G' no qual os componentes procuram explicar o que observam no item 2 do roteiro, em que o professor ligou a fonte (operando no regime clássico) com a presença do espelho semi-refletor 2 na configuração do interferômetro (figura 5).

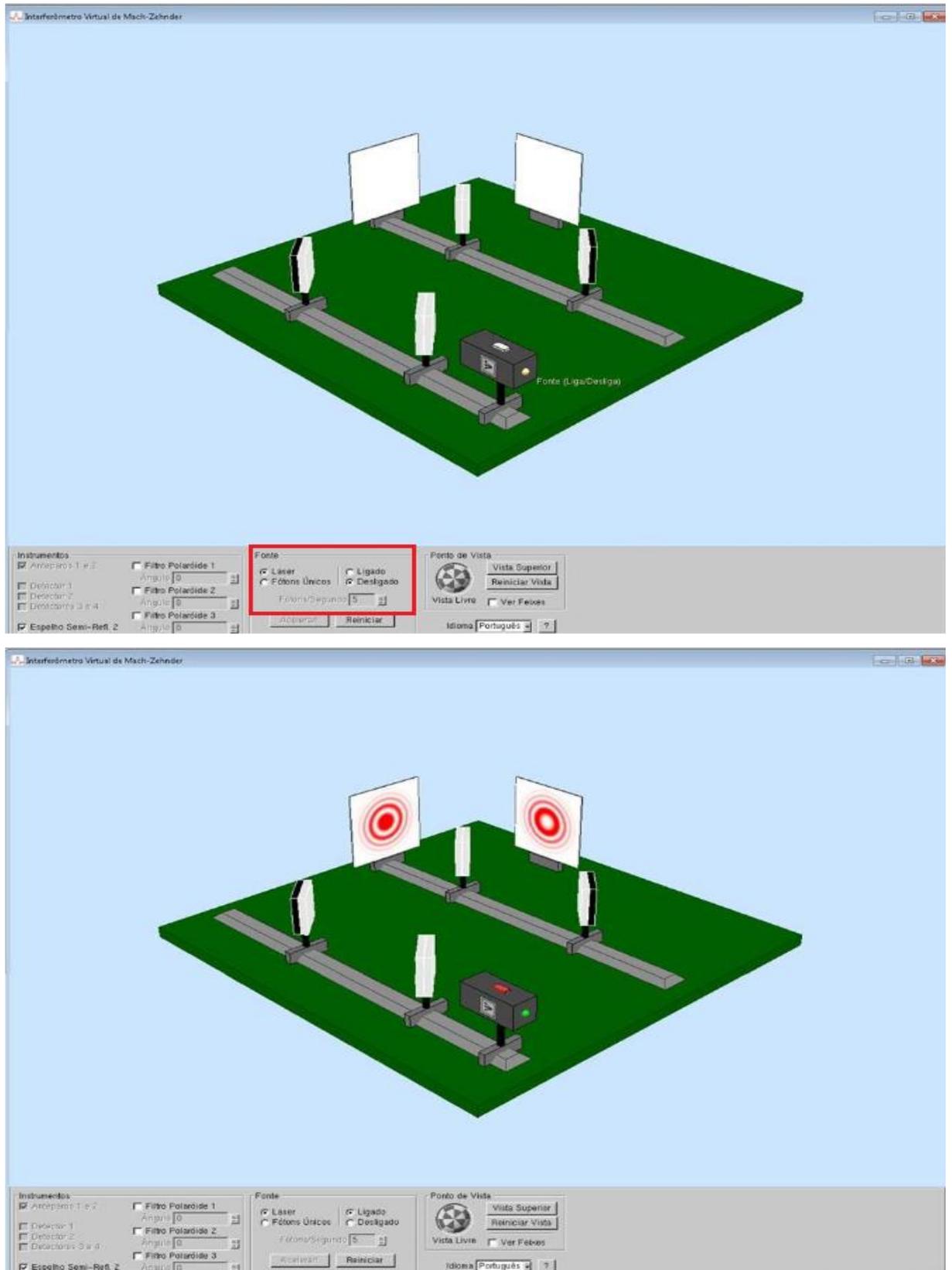


Figura 5. Interface do IVMZ configurado para emissão de em regime clássico (laser), com o espelho semi-refletor 2. Fonte desligada (5a) e Fonte ligada (5b).

Com esse trecho pretendemos explorar mais essa ideia de apropriação, além de abordar um dos poucos segmentos selecionados com a fonte emitindo *laser*.

(89) G2: Creio que um lado não tenha interferência e a outra tenha, daí aquele centro é o raio de luz, né?

(90) G1: Sim.

(91) G2: Porque num lado não vai ter a interferência e no outro vai ter.

(92) G1: Então ali o laser tá demonstrando que a luz é uma onda e aí...

(93) G2: Exatamente e...

Focando na apropriação e tomando o segmento de interação anterior (dupla ‘L’) como ilustração, identificamos a já mencionada dificuldade dos estudantes de tornar suas as palavras empregadas pelos outros. Não temos indícios suficientes, entretanto, para afirmar algo a mais desse segmento, aspecto que o trecho acima nos permite explorar. Selecionamos o trecho da dupla ‘G’ buscando, justamente, explorar com maior profundidade as questões de apropriação e resistência. Nele, podemos observar que os alunos envolvidos reconhecem que a explicação para a observação, de acordo com o gênero de fala da ciência oficial, envolve o uso do termo “interferência”. Eles procuram empregar esse termo fazendo-o próprio, desde o enunciado 89, “*Creio que um lado não tenha interferência e a outra tenha*”. Nesse caso, podemos dizer que temos maiores indícios para defender que houve apropriação do que no caso anterior. A díade emprega um conceito típico de um gênero de fala e procura utilizar esse recurso textual para explicar um fenômeno. Há intersubjetividade na forma de definir a situação, o conteúdo semântico e a luz, é a perspectiva referencial que ambos adotam é que “...o laser tá demonstrando que a luz é uma onda...”(enunciado 92), ou seja, o experimento (na verdade simulação) forneceu indícios para que os estudantes reconhecessem que a luz tenha natureza ondulatória. No entanto, ainda é perceptível a resistência imposta no processo de apropriar-se da ferramenta. Como Wertsch (1998) chama a atenção, “essa é a regra, não uma exceção”.

Em nenhum dos dois casos podemos afirmar ter havido apropriação de fato dos recursos textuais em questão, mas identificamos que a dupla ‘L’ demonstrou “não-apropriação” dos recursos textuais pertinentes à versão corpuscular da luz. Outro aspecto que poderíamos explorar em ambas as duplas diz respeito ao domínio de explicações científicas. No caso da dupla ‘L’ nada podemos afirmar, visto que, os estudantes não fazem uso algum de recursos textuais. Já no caso da dupla ‘G’, assumindo que a díade reconheceu a natureza

ondulatória da luz em função dos padrões de interferência observados, os enunciados 89 e 91 explicitam a falta de domínio dessa ferramenta. Ao invés de falar em “interferência construtiva” e “interferência destrutiva”, a díade fala em casos em que “há” e “não há” interferência. No próximo trecho de transcrição abordaremos com maior profundidade a noção de domínio.

Além da apropriação, a outra propriedade da ação mediada de nosso interesse que foca na relação dos agentes com os meios de mediação é considerada do ponto de vista do “domínio”.

Ao falar em domínio penso no “saber como” (Ryle, 1949) usar um meio de mediação com facilidade. [...] considero que esta noção de internalização, que pode ser denominada “domínio”, é aplicável praticamente a todos os casos de ação mediada (WERTSCH, 1998, p. 87; tradução nossa).

Os processos de “dominar” e “apropriar-se” de uma ferramenta cultural são analiticamente e, em alguns casos, empiricamente distintos (WERTSCH, 1998). Assim como o processo de apropriação, o processo de domínio pode ser identificado pela tensão irreduzível entre o agente e a ferramenta. Diferente da apropriação que olha para o agente tomando uma ferramenta externa como sua, o domínio irá olhar para a habilidade do agente ao utilizar a ferramenta para realizar determinada ação. No nosso caso específico, será a habilidade em usar recursos textuais (ferramenta cultural) para explicar ou prever algum fenômeno (ação).

Ao olharmos para todas as interações apresentadas no capítulo até agora, em nenhum caso, seja do indivíduo ou da díade, podemos identificar que houve domínio completo das ferramentas de acordo com o gênero de fala da ciência oficial, seja empregando um recurso textual ondulatório, seja um recurso textual corpuscular. Identificamos que um dos episódios mais recorrentes, dentre os trechos de interações selecionados, é aquele em que há mudança no regime de emissão da fonte. A transição de um regime clássico para quântico, indicado pela emissão laser em oposição à emissão de fótons únicos (ou baixa intensidade), é o que mais apareceu nas interações investigadas (figura 2). Apresentamos então uma interação que se passa nesse episódio, a qual avaliamos demonstrar domínio do modelo corpuscular.

(193) M1: Vai passar um fóton por segundo pra cada uma das...

(194) M2: Não, meio fóton.

(195) M1: Meio fóton? Mas cara não faz sentido, porque o fóton não é dividido. Então vai ir um fóton pra um e depois um fóton pro outro porque um fóton só, não é divisível.

(196) M2: Então ele meio que vai fazer um bate-volta?

(197) M1: Vai ser assim tipo, ele tem 50% de chance de ir pro refletor 2 e 50% de chance de ir pro refletor 1. Dependendo vai ir por um caminho e vai chegar num bagulho de detectar os fótons lá ou dependendo vai pelo outro caminho e vai chegar no outro bagulho de detectar os fótons lá.

(198) M2: Bah, pode crer.

Ao olharmos para os enunciados é possível identificar uma inicial diferença na forma como os estudantes definem a situação (enunciados 193, 194 e 195). O conteúdo semântico de referência partilhado é a luz, entretanto, M2 assume uma perspectiva referencial de tratar o fóton como um ente divisível, “*Não, meio fóton.*” (enunciado 194). O direcionamento desse enunciado para M1 faz com que este tenha uma atitude responsiva de explicar ao colega a sua perspectiva referencial, ou seja, que “*o fóton não é dividido*” (enunciado 195). No próprio enunciado 195, M1 busca mediar um estado de intersubjetividade com o colega. Nos episódios anteriores, desta seção, pouco se discutiu com respeito à dinâmica da zona de desenvolvimento proximal, visto que, havia certa intersubjetividade estabelecida nas interações usadas como ilustrações. Nesta interação, é possível observar características de um discurso internamente persuasivo, na medida em que M1 busca explicar para M2 o fenômeno usando uma linguagem social cotidiana, marcada por expressões como “*num bagulho de detectar os fótons*” (enunciado 197).

Nesse enunciado, parece que o objetivo de M1 não é recorrer a vocábulos típicos do gênero de fala da ciência oficial, e sim aos conceitos e as formas de explicar os fenômenos. Identificamos que M1 *dominou* o recurso textual referente à explicação *corpuscular*, tendo em vista que ele aparenta ter superado a ideia de divisão clássica e aborda a distribuição dos fótons de modo probabilístico. Além disso, M1 explora a trajetória por qual cada fóton irá rumar até ser detectado. Sua *descrição da trajetória do ente* (que pode ser identificada sabendo qual detector registrou a incidência do fóton) e sua defesa da *indivisibilidade* do fóton nos dão indícios para afirmarmos isso, afinal:

Um sistema quântico ou exhibe aspectos corpusculares (seguindo trajetórias bem definidas), ou aspectos ondulatórios (como a formação de um padrão de interferência), dependendo do arranjo experimental, mas nunca ambos ao mesmo tempo (PESSOA Jr., 2006, p. 18).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos quatro capítulos anteriores apresentamos nossas justificativas e motivações para pesquisar sobre a inserção de tópicos de FMC no EM, especialmente, na escola pública. Defendemos a pertinência de nossa escolha através de um contato com a literatura da área de Ensino de Ciências. No panorama delineado das pesquisas nacionais situadas na linha de inserção de tópicos de FMC/MQ identificamos tendências e nos situamos nelas: abordar a dualidade onda-partícula, usar simulações computacionais ou experimentos de baixo custo e fundamentar-se em referenciais socioculturais (centrados no discurso ao invés da cognição). Exploramos as ideias de Wertsch enquanto pressupostos teóricos e metodológicos para a pesquisa. Descrevemos o contexto de aplicação de uma atividade didática, seu planejamento, sua implementação e o procedimento de coleta de dados e, por fim, analisamos os dados à luz do referencial previamente apresentado.

Pontuamos algumas nuances. Uma delas diz respeito à simulação utilizada, o IVMZ, uma ferramenta poderosa para abordar conceitos fundamentais da física quântica (e também da física clássica) (NETTO; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2018). Contudo, em uma escola pública cujos computadores foram doados, o limitante da compatibilidade do *software* para sistemas operacionais que não sejam *Windows* mostrou-se um obstáculo sério para sua implementação adequada. Outra nuance versa sobre o potencial da obra de Wertsch enquanto referencial metodológico para o Ensino de Ciências. Outros trabalhos da área já recorreram à sua obra, mas poucos exploraram sua ferramenta analítica de análise discursiva. Quanto à nossa preocupação com a escola pública, percebemos que um trabalho que nos inspirou já a demonstrava. As conclusões de Telechevesky (2015) apontam isso:

Esta unidade indica que é possível ensinar conceitos fundamentais de física quântica a alunos de Ensino Médio. [...] Outro caminho que se poderia seguir seria buscar formas de adaptar esta unidade didática para o ensino de física quântica durante aulas obrigatórias de física do Ensino Médio ou para outros contextos sociais, em especial para escolas públicas. (p. 110-111).

Exploramos resumidamente a sequência didática que antecedeu a atividade. Nosso interesse era a atividade em si, não a sequência. Isso não quer dizer que os dados não possam ser retomados em um estudo futuro com maior profundidade. Acreditamos que de alguma forma as aulas anteriores à atividade contribuíram nas falas dos alunos, afinal são vozes importantes no processo de regulação dos estudantes, por se tratarem das vozes do professor e

dos autores de livros textos. Em particular, as aulas onde se explora as controvérsias históricas com respeito da natureza da luz, com o livro concluindo que ao final da segunda etapa de discussões a comunidade científica passou a considerar a luz enquanto onda exerceram papel determinante.

Em episódios em que é possível observar resistência e apropriação dos estudantes alguns enunciados remetem a esses momentos que antecederam a atividade. Um outro elemento que julgamos importante para reforçar uma visão ondulatória da luz por parte dos estudantes foram as aulas do primeiro trimestre sobre ondulatória e as aulas iniciais do terceiro trimestre onde o professor abordou o conceito de “campo” e como se chegou, teoricamente, a velocidade da luz através das relações entre grandezas elétricas e magnéticas em meios translúcidos. Acreditamos que esses elementos tenham se sobreposto, até mesmo em termos de autoridade, frente as discussões posteriores, fazendo com que os estudantes fossem induzidos a privilegiar recursos textuais ligados à ondulatória (principalmente nos primeiros itens do roteiro).

Quanto à análise dos dados emergentes durante a atividade, nos apoiamos nas “ilustrações” trazidas por Wertsch e o modo como ele analisa interações discursivas, para orientar a nossa análise. Desenhamos duas categorias analíticas inspiradas nas propriedades da ação mediada (WERTSCH, 1998). De posse das transcrições dos registros em áudio gravados durante a atividade, passamos para uma etapa de transformação através da análise discursiva dos dados. Um dos objetivos por trás de nos concentrarmos na atividade e não na sequência e termos delineado a mesma do formato o qual optamos era, justamente, atribuir ao professor um papel de coadjuvante e aos alunos o protagonismo de ter de convencer os colegas de suas perspectivas a partir da negociação de significados no plano intermental.

Neste sentido, a ocorrência de “regulação por outros” através do poder persuasivo relacionado ao gênero de fala da Ciência Oficial exerce papel fundamental no estudo. O poder explicativo dos recursos textuais aos quais os estudantes recorreram em cada episódio demonstrou-se elemento importante no processo de privilegiação no emprego de uma ferramenta cultural em detrimento de outra. Reiteramos que, embora Wertsch (1991) signifique privilegiação como sinônimo de um “discurso dominante”, relacionamos essa ideia com a escolha de ferramentas do *kit* tendo em vista que no contexto de uma aula de física quântica, um gênero é hierarquicamente superior a outro visto a heterogeneidade existente entre as formas de falar e pensar.

As funções mentais superiores originam-se no plano intermental, ou seja, entre pessoas. Formas semióticas de mediação são empregadas nesse plano para regular os comportamentos dos outros. Ao processo que implica na reconstrução do plano intramental dos indivíduos envolvidos nas negociações devido às negociações do plano intermental, Vygotsky chamou de internalização. Contudo, Wertsch nos chama atenção para o quanto ampla é a ideia de mediação e nos apresenta duas formas bem específicas, a “apropriação” e o “domínio”. Nossa análise dos dados indicou a falta de domínio dos estudantes no emprego dos recursos textuais referentes às explicações oficiais da MQ, entretanto, conseguimos observar episódios em que claramente havia “não-apropriação” de tais recursos textuais. A atividade do roteiro que apareceu de forma mais recorrente entre os dados é justamente a fonte operando no regime quântico (baixas intensidades). Isso indica uma dificuldade nos alunos dominarem esse “novo tratamento da luz”, assim como se apropriarem dele.

As relações entre o agente e a ferramenta durante a ação são o foco da análise sociocultural de Wertsch. Portanto, para olharmos para o domínio e a apropriação dos participantes da pesquisa com as respectivas ferramentas culturais fez-se necessário o delineamento metodológico proposto pelo autor. As características do enunciado nos auxiliaram ao longo da análise e sua contribuição foi fundamental no presente estudo. Identificar o conteúdo semântico de referência nas interações, assim como a perspectiva referencial adotada pelo falante para se referir a esse conteúdo semântico de referência, é crucial para situar o posicionamento dos falantes nas trocas dialógicas. Nesse sentido, a forma como os falantes definem a situação, ou seja, seu entendimento do objetivo da tarefa, também transpôs toda nossa análise. No momento em que os estudantes assumiam formas de definir a situação distintas é que poderíamos observar suas estratégias para convencer os colegas e estabelecer uma situação de intersubjetividade.

Sobre as dinâmicas na zona de desenvolvimento proximal, pudemos observar que após definir a situação alguns estudantes procuravam mediar uma situação de intersubjetividade com o colega, na maioria das vezes sem sucesso. O insucesso dessas tentativas passa pela não abertura de estudantes às falas dos outros, e também por uma postura de resistência. Destacamos os movimentos feitos por estudantes ao tentar dominar as ferramentas culturais adequadas ao contexto e convencer os colegas ao mesmo tempo. Nesses momentos eles recorriam à voz do professor, na tentativa de atribuir poder persuasivo à seus enunciados, incrementando nestes elementos do gênero de fala da Ciência Oficial.

Outro ponto que merece destaque são os movimentos realizados por alguns estudantes em conseguirem mudar entre diferentes perspectivas referenciais para convencer os colegas, ou seja, sua capacidade de mudar a forma como se referem ao conteúdo semântico de referência para persuadir os colegas. Esse movimento feito com a intencionalidade persuasiva de promover mediações semióticas com os colegas que possibilitassem o estabelecimento de intersubjetividade, além de cruzar as dimensões de análise das obras de Wertsch (1984; 1991), permite olhar para as relações dialógicas considerando sutilezas na linguagem. Quando os participantes direcionam seu enunciado para o gravador (consequentemente para o professor enquanto avaliador da tarefa) eles procuram empregar termos típicos de linguagens mais formais e vinculados a linguagem social da Ciência Oficial. Por outro lado, quando direcionam o enunciado para o colega com o propósito de persuadi-lo, podemos observar uma maior frequência de termos típicos de uma linguagem informal, característico da linguagem social cotidiana das classes populares do Rio Grande do Sul. Quando discursos persuasivos não adiantaram, houve mudança para discursos repletos de termos mais formais tentando caracterizá-los enquanto discursos de autoridade.

Percebemos com esses movimentos características que julgamos particulares do cenário sociocultural da escola pública, visto que, não foram observados, ao menos não dessa forma, em trabalhos como os de Pereira (2008) e Telechevesky (2015). Esse é um ganho de um referencial ligado a perspectiva sociocultural, que enfatize o discurso e a linguagem, visto que com outro referencial provavelmente as nuances presentes nas interações teriam passadas despercebidas, centrando a atenção se houve, ou não, aprendizagem do conteúdo explorado. As características da linguagem social das classes populares converge para a problematização que tangenciou o texto com respeito às diferenças entre contextos de escolas públicas e privadas. Indícios de que os alunos fazem uso desse tipo de linguagem e reconhecem que no contexto da atividade da aula de Física ou no convencimento de colegas outras linguagens são privilegiadas como mais adequadas, são o que nos dá suporte para identificarmos que houve algum nível de alfabetização científica (SASSERON; CARVALHO, 2011).

Para estudos futuros, acreditamos pertinentes olhar para as perspectivas referenciais que os estudantes adotam. A dimensão de explicação e descrição, presente no trabalho de Mortimer e Scott (2003), apareceram aqui de formas diferentes. A perspectiva referencial explicativa e a perspectiva referencial descritiva, encaradas como as formas com que os estudantes se referem às observações assumem uma particularidade se tratando da dualidade

onda-partícula, em especial, quando se separa a perspectiva referencial explicativa em perspectiva referencial causal e perspectiva referencial probabilística.

Avaliamos que, de uma forma geral, a perspectiva sociocultural de Werstch mostrou-se satisfatória para os fins almejados no presente estudo. Além disso, o uso do IVMZ para explorar a dualidade onda-partícula no EM, em uma escola pública, mostrou-se útil apesar das ressalvas. Esperemos que nossas escolhas possibilitem a inserção deste trabalho nas discussões sobre FMC/MQ no EM, e que nossos resultados possa contribuir, de alguma forma, para o avanço dos debates que estão preocupados com o discurso dos estudantes nas aulas de Ciências, mais precisamente nas aulas de física quântica. Logo, pretendemos publicar em Periódicos da área o estudo apresentado na presente dissertação.

6. REFERÊNCIAS

- ALVES, A. J. A “revisão da bibliografia” em teses e dissertações: Meus tipos inesquecíveis. **Caderno de Pesquisa de São Paulo**, v. 1, n. 81, p. 53–60, 1992.
- ANDRADE, R. J.; SOARES, J. F. O efeito da escola básica brasileira. **Estudos em Avaliação Educacional**, v. 19, n. 41, p. 379 – 406, 2008.
- BAKHTIN, M. M. **The dialogic imagination: four essays**. Austin: University of Texas Press, 1981.
- BAKHTIN, M. M. **Speech genres and other late essays**. Austin: University of Texas Press, 1986.
- BAKHTIN, M. M. **Marxismo e Filosofia da Linguagem**. São Paulo: HUCITEC, 2006.
- BAKHTIN, M. M. **Os gêneros do discurso**. São Paulo: Editora 34, 2016.
- BATISTA, C. A. S.; SIQUEIRA, M. A. Inserção da Física Moderna e Contemporânea em ambientes reais de sala de aula: uma sequência de ensino-aprendizagem sobre a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 880–902, 2017.
- BURKE, K. **A grammar of motives**. Berkeley: University of California Press, 1969.
- CHAIB, J. P. M. C.; ASSIS, A. K. T. Experiência de Oersted em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 41–51, 2007.
- EBERHARDT, D.; ROCHA FILHO, J. B.; LAHM, R. A.; BAITELLI, P. B. Experimentação no ensino de Física Moderna: efeito fotoelétrico com lâmpada néon e LEDs. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 928–950, 2017.
- FERNANDES, R. F. A. M.; PIRES, F. F.; FORATO, T. C. M.; SILVA, J. A. Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 509–529, 2017.
- FERRAZ, A. T.; SASSERON, L. H. Propósitos Epistêmicos Para a Promoção Da Argumentação Em Aulas Investigativas. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22, n. 1, p. 42–60, 2017.
- FREIRE JR., O. Novo tempo, novo espaço, novo espaço-tempo: Breve história da relatividade. In: ROCHA, J. F. M. (Org.). **Origens e evolução das ideias da Física**. 2. ed. Salvador: EDUFBA, 2015. p. 285–300.

FREITAS, D. B. **Modos de discurso usados por licenciandos em Física da UFRGS em questões sociocientíficas**. 2019. 207f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/index.php>>.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da mecânica quântica introdutória. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 6, n. 1, p. 29–56, 2001.

KLEINKE, M. U. Influência do status socioeconômico no desempenho dos estudantes nos itens de física do Enem 2012. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 2, p. e2402-1-e2402-19, 2017.

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

LEMKE, J. L. Articulating communities: Sociocultural perspectives on science education. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, n. 3, p. 296–316, 2001.

LEONTIEV, A. N. The problem of activity in psychology. In: WERTSCH, J. V. **The concept of activity in Soviet psychology**. Armonk: Sharpe, 1981. p. 37-71.

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

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

MAXWELL, J. C. A dynamical theory of the electromagnetic field. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 155, p. 459–512, 1865.

MEDEIROS, L. F.; CROVADOR, Á.; SILVA, H. P. DA. Simulador Computacional para Demonstração das Propriedades um Gás Ideal em 2D. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, p. 573–591, 2018.

MERTENS, D. M. **Research and Evaluation in Education and Psychology** (3rd ed.). SAGE Publications, 2009.

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

MORTIMER, E. F.; CHAGAS, A. N.; ALVARENGA, V. T. Linguagem Científica Versus

Linguagem Comum Nas Respostas Escritas De Vestibulandos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 3, n. 1, p. 7–19, 1998.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. Atividade Discursiva nas salas de aula de Ciências: Uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigação em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 3, p. 283–306, 2002.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. **Meaning making in secondary science classrooms**. Maidenhead, UK: Open University Press, 2003.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P.; EL-HANI, C. N. **Bases teóricas e epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais**. VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **Anais...** Florianópolis: 2009.

NARDI, R.; GATTI, S. R. Uma revisão sobre as investigações construtivistas nas últimas décadas: concepções espontâneas, mudança conceitual e ensino de ciências. **Ensaio: Pesquisa em educação em Ciências**, v. 6, n. 2, p. 145–168, 2004.

NETTO, J. S. **Complementaridade onda-partícula e emaranhamento quântico na formação de professores de Física segundo a perspectiva sociocultural**. 2015. 311f. Tese (Doutorado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/index.php>>.

NETTO, J. S.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Fenômenos intermediários de interferência e emaranhamento quânticos: o interferômetro virtual de Mach-Zehnder integrado a atividades didáticas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 185–234, 2018.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 4: Ótica, Relatividade e Física quântica**. São Paulo: Edgar Blucher, 1998.

OLIVEIRA, T. E.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Sala de aula invertida (flipped classroom): inovando as aulas de física. **Física na escola**, v. 14, n. 2, p. 4-13, 2016.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 23–48, 2000.

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

OSTERMANN, F.; PRADO, S. D.; RICCI, T. S. F. Desenvolvimento de um software para o ensino de fundamentos de Física Quântica. **Física na Escola**, v. 7, n. 1, p. 22–25, 2006.

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

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

PANTOJA, G. C. F.; MOREIRA, M. A.; HERSCOVITZ, V. E. Uma revisão da literatura sobre a pesquisa em ensino de mecânica quântica no período de 1999 a 2009. **Revista Brasileira De Ensino De Ciência E Tecnologia**, v. 4, n. 3, p. 1–34, 2011.

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

PEREIRA, A. P. **Fundamentos de Física Quântica na Formação de Professores: Uma Análise de Interações Discursivas em Atividades Centradas no Uso de Um Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder**. 2008. 140f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/index.php>>.

PEREIRA, A. P. **Distribuição conceitual no ensino de física quântica: uma aproximação sociocultural às teorias de mudança conceitual**. 2012. 210f. Tese (Doutorado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/index.php>>.

PEREIRA, A. P. Um Panorama da Pesquisa Internacional sobre Mudança Conceitual. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. 1, p. 215–242, 2017.

PEREIRA, A. P.; LIMA JR., P. Implicações da perspectiva de Wertsch para a interpretação da teoria de Vygotsky no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, p. 518–535, 2014.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. A aproximação sociocultural à mente, de James V. Wertsch, e implicações para a educação em ciências. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 1, p. 23–39, 2012.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Recursos e Restrições nas explicações de futuros professores de física sobre mecânica quântica. **Revista Brasileira de Pesquisa e educação em Ciências**, v. 12, n. 2, p. 9–28, 2012b.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 393–420, 2009.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. O ensino de Física quântica na perspectiva sociocultural: uma análise de um debate entre futuros professores mediado por um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. **Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 2, p. 376–398, 2009.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Um exemplo de “distribuição social da mente” em uma aula de física quântica. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 2, p. 257–270, 2012.

PEREIRA, A. P.; PESSOA JR., O.; CAVALCANTI, C. J. H.; OSTERMANN, F. Uma abordagem conceitual e fenomenológica dos postulados da física quântica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 2, p. 831–863, 2012.

PEREZ, S.; CASTRO, B. F. N.; MAIA, N. C.; NASCIMENTO, C. S. O estudo do movimento browniano com material de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 1, p. e1503-1-e1503-7, 2018.

PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física em contextos 3: Ensino médio**. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERTZOG, W. A. Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. **Science Education**, v. 66, n. 2, p. 211–227, 1982.

RAMOS, J. E. F.; PIASSI, L. P. O insólito e a física moderna: interfaces didáticas do conto fantástico. **Ciência & Educação**, v. 23, n. 1, p. 163–180, 2017.

RIBEIRO FILHO, A. Os quanta e a Física moderna. In: ROCHA, J. F. M. (Org.). **Origens e evolução das ideias da Física**. 2. ed. Salvador: EDUFBA, 2015. p. 301–362.

ROCHA, C. R. **Inserindo conceitos e princípios de mecânica quântica no ensino médio: estados quânticos e superposição linear de estados**. 2015. 215f. Tese (Doutorado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/index.php>>.

ROCHA, C. R.; HERSCOVITZ, V. E.; MOREIRA, M. A. Uma revisão da literatura em publicações de 2010 a 2016 sobre o ensino de conceitos fundamentais de Mecânica Quântica. **LATIN - American Journal of Physics Education**, v. 12, n. 1, p. 1360-1-1306–20, 2018.

ROCHA, D. M.; RICARDO, E. C. As crenças de autoeficácia e o ensino de Física Moderna e Contemporânea. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 223–252, 2016.

ROCHA, J. F. M. Origem e evolução do eletromagnetismo. In: ROCHA, J. F. M. (Org.). **Origens e evolução das ideias da Física**. 2. ed. Salvador: EDUFBA, 2015. p. 185–284.

ROMMETVEIT, R. On the architecture of intersubjectivity. In: ROMMETVEIT, R.; BLAKAR, R. M. (Eds.). **Studies of language, thought, and verbal communication**. London: Academic Press, 1979. p. 93- 108.

ROSA, L. F. M.; PEREIRA, A. P. **Argumentação no ensino de ciências: uma análise baseada em uma adaptação do padrão de Toulmin**. XXII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **Anais...**Natal: 2019.

ROSA, L. F. M.; ROSA, I. G. M. **Os referenciais epistemológicos de Kuhn e Fleck : Uma aproximação possível no ensino de ciências**. XXIII Simpósio Nacional de Ensino de Física. **Anais...**Salvador: 2019.

ROSA, L. F. M.; ROSA, I. G. M.; PEREIRA, A. P. **Mudança conceitual: Qual é o seu papel nas pesquisas em educação em ciências no brasil atualmente?**. XXIII Simpósio Nacional de Ensino de Física. **Anais...**Salvador: 2019.

SABINO, A. R.; PIETROCOLA, M. Saberes docentes desenvolvidos por professores do ensino médio: Um estudo de caso com a inserção da física moderna. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 21, n. 2, p. 200–216, 2016.

SANTANA, F. B.; SANTOS, P. J. S. Espectroscopia e modelos atômicos: uma proposta para a discussão de conceitos de Física Moderna no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 555–589, 2017.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização Científica: Uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 59–77, 2011.

SILVA, F. W. O. A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 149–159, 2007.

SILVA, B. V. C. **Controvérsias sobre a natureza da luz: Uma aplicação didática**. 2010. 182f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática, Natal, 2010.

SILVA, T. T. **Documentos de identidade**: uma introdução às teorias do currículo. Belo Horizonte: Autêntica, 2010.

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

SILVA, J. C. X.; LEAL, C. E. S. Proposta de laboratório de física de baixo custo para escolas da rede pública de ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 1, p. e1401-1-e1401-5, 2017.

SILVA, M. D.; SCHENEIDER, C. V.; HECKLER, K. F.; HECKLER, J. F. S.; GASTALDO, L. F. Adequação entre a formação e atuação profissional dos professores de Física das escolas do Rio Grande do Sul. In: Encontro Estadual de Ensino de Física, VII., 2017, Porto Alegre, **Atas...** Porto Alegre : UFRGS – Instituto de Física, 2017. p. 75-78.

SILVA, W. M.; ZANOTELLO, M. Discursos sobre Física Contemporânea no Ensino Médio a partir da Leitura de Textos de Divulgação Científica. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. 1, p. 45–74, 2017.

SILVA NETO, C. P. DA; FREIRE JÚNIOR, O. Um Presente de Apolo: lasers, história e aplicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 1, p. 1–10, 2017.

SILVEIRA, S.; GIRARDI, M. Desenvolvimento de um kit experimental com Arduino para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 4, p. e4502-1-e4502-7, 2017.

TENFEN, D. N.; TENFEN, W. O modelo atômico de Bohr e as suas limitações na interpretação do espectro do átomo de hélio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 217–235, 2017.

TELCHEVESKY, L. **Uma perspectiva sociocultural para a introdução de conceitos de Física Quântica no Ensino Médio: Análise das interações discursivas em uma unidade didática centrada no uso do interferômetro virtual de Mach-Zehnder**. 2015. 192f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Porto Alegre, 2015. Disponível em: < <http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/index.php>>.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea ensino de física na escola de 2^o grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, p. 209–214, 1992.

TULVISTE, P. **The cultural-historical development of verbal thinking**. New York: Nova Science Publishers, 1991.

VYGOTSKY, L. S. **Mind in Society: The development of higher psychological processes**. Cambridge: Harvard University Press, 1978.

VYGOTSKY, L. S. The genesis of higher mental functions. In: WERTSCH, J. V. **The concept of activity in Soviet psychology**. Armonk: Sharpe, 1981. p. 144-188.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. 5. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1994.

WERTSCH, J. V. The Zone of Proximal Development: Some Conceptual Issues. In: ROGOFF, B.; WERTSCH, J. V. (Eds.). **Children’s Learning in the “Zone of Proximal Developmente.”** **New Directions for Child Development**. 23. ed. San Francisco: Jossey-

Bass, 1984. p. 7–18.

WERTSCH, J. V. **Vygotsky and the social formation of mind**. Cambridge: Harvard University Press, 1985.

WERTSCH, J. V. **Voices of the Mind: A Sociocultural Approach to Mediated Action**. Cambridge: Harvard University Press, 1991.

WERTSCH, J. V. **La mente en acción**. New York: Oxford University Press, 1998.

WERTSCH, J. V. **Voices of collective remembering**. New York: Cambridge University Press, 2002.

ZINCHENKO, V. P. Vygotsky's ideas about units for the analysis of mind. In: WERTSCH, J. V. **Culture, communication, and cognition: Vygotskian perspectives**. New York: Cambridge University Press, 1985. p. 94-118.

APÊNDICES

Apêndice A: Roteiro de exploração do IVMZ

	Disciplina Física / Área Ciências da Natureza	Prof. Luiz Felipe de M. Rosa	Data: ____/____/____
	Nomes: _____ & _____		
Série: ____	Turma: ____	Nota: _____	Atividade extra

Instruções para a exploração do Interferômetro Virtual de Mach Zender:

1. O que vocês esperam que aconteça ao ligar-se a fonte na opção “laser” e retirar o “espelho-semi refletor 2”, mantendo as demais configurações conforme o *default* ? Haveria alterações caso fosse selecionada a opção de “fótons únicos” (considerem também o uso do comando “acelerar” 10 vezes)? Justifique. Verifique sua previsão após ligar a fonte.

2. Repita o procedimento anterior, porém colocando o “espelho semi-refletor 2”.

3. Ao substituir os “anteparos 1 e 2” pelos “detectores 3 e 4”, retirar novamente o “espelho semi-refletor 2” e definindo a emissão de 1 fóton/segundo: a) o que vocês esperam observar? b) Após a ligação da fonte, compare o número de fótons coletados em cada detector. c) Compare novamente após clicar no comando “acelerar” 5 vezes.

4. Repita o procedimento anterior, porém colocando o “espelho semi-refletor 2”.

5. Repita novamente o passo 4, porém adicionando à configuração o “detector 1”.

Atividade desenvolvida em conjunto com:



Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Instituto de Física

Apêndice B: Transcrições

Apresentamos as transcrições dos áudios registrados durante a aplicação da atividade. Em função da baixa qualidade do áudio dos arquivos enviados pelas duplas da turma III, apresentamos apenas as transcrições referentes às turmas I e II. Uma dupla da turma I que estava presente no dia da atividade não enviou o arquivo. Nos referimos às 13 duplas por letras do alfabeto, que vão de A até M. Os alunos, componentes de cada dupla, são indicados pela letra designada a dupla seguida pelo número 1, ou 2. O professor é representado pela letra P.

Dupla A

- (1) A1: Começamos atrasados a gravar, então o nosso pensamento o primeiro é que o semi-refletor vai passar metade vai refletir e bater em uma das paredes. O segundo vai bater no semi-refletor, vai bater no espelho e refletir na outra na parede, certo?
- (2) A2: Certo!
- (3) A1: Esse pensamento a gente já chegou, daí a gente tem que pensar se funciona ou não, certo?
- (4) A2: Sim. Mas tipo, ele pode refletir e o primeiro vai passar, então seria por aqui, estou certo?
- (5) A1: ‘sim senhor’!
- (6) A2: Aqui ele vai refletir pra vir refletir.
- (7) A1: não eles não refletem nesse sentido, eles refletem em 90° .
- (8) A2: Mas daí vai refletir?
- (9) A1: Os espelhos não vão refletir entre si, só vão refletir até a parede.
- (10) A2: Então ele reflete na outra parede antes que nessa?
- (11) A1: Sim, sim.
- (12) A2: Então ta

- (13) A1: Tu acha que vai mudar alguma coisa?
- (14) A2: É.
- (15) A1: Mudança de fotón pra... A única diferença do laser pra fotón é que um a transmissão vai ser constante e a outra vai ser gradual... Gradual não, vai ser interrupta... como fala?
- (16) A2: Quê?meio...
- (17) A1: O quê?
- (18) A2: Em partes?
- (19) A1: Pausada! É vai ser pausada. Eu acho que,de qualquer forma ele vai estar viajando em ondas numa direção,então acho que não vai mudar nada.
- (20) A2: Acho que de qualquer forma vai continuar, refletir do mesmo jeito.
- (21) A1: Sim vai ser refletido do mesmo jeito e a imagem vai ser mostrada do mesmo jeito,então acho que não altera nada, porque ainda é uma onda, ao menos eu acho que seja.

(22) A1: Recebemos uma informação,o sor disse que 50% dos fótons vão passar e 50% deles vão ficar.

(23) A2: **Podem** ficar ou não.

(24) A1: É, podem ficar. Mas o negócio era pra dividir,o vídeo vai acabar sendo dividido em dois,significa que metade vai passar e metade não vai passar,certo?

(25) A2: Sim

(26) A1: Então é a mesma coisa ainda, não que a gente não entendeu ou ficou mal explicado. Tu prefere manter a nossa linha de pensamento anterior ou prefere mudar agora? Diante da nova informação

(27) A2: Eu prefiro manter, porque pra mim não muda nada, porque vai continuar a mesma coisa.

(28) A1: Em relação ao vídeo?

(29) A2: Sim

(30) A1: Não muda em relação ao vídeo. Se a imagem for se formar ainda vai se formar, se não for se formar não vai se formar.

(31) A2: [Inaudível] Talvez bata, talvez com menos intensidade.

(32) A1: Na primeira questão a gente acertou a primeira parte, mas a segunda onde era fótons, ela alterna entre si. Então ele mostra primeiro um pouquinho, depois outro pouquinho.

(33) A2: Sim. Bate contra as paredes 1,2...

(34) A1: Sim.

(35) A2: Três paredes.

(36) A1: Sim, pois ele depende se o fóton vai passar ou não.

(37) A2: Sim.

(38) A1: Tem que contar o número de vezes que ele ultrapassa. Saindo ali do laser, ok? Ele vai passar por um semi-refletor, ele vai se dividir. Vão pros dois espelhos, ok? Daí esses dois espelhos vão passar por mais um semi-refletor, daí depois que esses dois espelhos passarem por mais um semi-refletor, eles vão voltar, certo?

(39) A2: Como assim vão voltar? Quem vai voltar?

(40) A1: Passou por um semi-refletor bateu nos dois espelhos.

(41) A2: Bateu nos dois espelhos, sim...

(42) A1: Daí esses dois espelhos vão refletir pra aquele outro semi-refletor, o semi-refletor 2.

(43) A2: Sim, daí vai passar...

- (44) A1: Daí o semi-refletor vai deixar metade passar e metade vai voltar. Si pá, eu tô na dúvida. Eu acho que vai aparecer no telão 2 e não vai aparecer no telão 1.
- (45) A2: Mas, vai bater nesse aqui, vai ultrapassar vai bater naquele ali, vai refletir nesse...
- (46) A1: Calma aí, eu confundi. Vai aparecer no telão 2 e não vai aparecer no telão 1.
- (47) A2: Mas por que vai aparecer no telão 2?
- (48) A1: Por causa que ele vai passar no primeiro semi-refletor, ele vai espelhar no coisa e vai passar pelo segundo.
- (49) A2: Mas ele vai espelhar naquele espelho?
- (50) A1: Calma, vamos numerar os espelhos. O primeiro espelho que aparece aqui, logo na reta do projetor, é o espelho número 1. Então ele vai passar pelo semi-refletor direto, e vai espelhar no espelho e vai passar direto pelo semi-refletor 2. Daí ele vai aparecer no primeiro telão, ok?
- (51) A2: Sim.
- (52) A1: Agora vamos pensar no outro. Esse aqui agora, saindo do primeiro semi-refletor. Ele vai espelhar e vai bater no outro espelho que vai passar e depois vai passar reto. Então aqui ele passa por um semi-refletor e depois passa pelo outro semi-refletor. De qualquer jeito ele passa pelos dois semi-refletores. Só que no telão 2 ele não é refletido, no telão 1 é refletido.
- (53) A2: Ah sim, então...
- (54) A1: Só que não sei se ele é refletido 2x ou ele se anula.
- (55) A2: Acho que anula o do telão 2.
- (56) A1: Não o telão 2 vai aparecer e o 1 que é o mais próximo que ainda tá no trilho, não aparece. Esse é meu chute. Vamos esperar que eu esteja certo, se eu acertar, eu sou um Deus.

- (57) A1: Poutz, apareceu nos dois... então não é o que a gente tinha pensado. Mas a gente tem uma dica. A gente sabe que esse negócio de refletir não funciona do jeito que a gente pensou, deve ser de algum jeito diferente.
- (58) P: Tem uma lente na frente da fonte que espalha o feixe, tipo a luz de uma lanterna [para a turma].
- (59) A1: Tá, mas isso daí não nos ajuda, ignora [para B].
- (60) Outra dupla ao fundo: Então é a mesma coisa?
- (61) P: como assim? A mesma coisa que tinha antes?
- (62) A1: Pior que faz um pouco de sentindo agora pensando...
- (63) A2: Ele tem tipo [inaudível]
- (64) A1: Tipo, em nenhum momento ele é desperdiçado, sabe? É claro que a imagem ia se formar por que em nenhum momento ele vai para o nada. Porque, Olha só...
- (65) A2: Porque eles têm que ter um lugar sempre para ir.

(66) A1: sim, eles têm que ter um lugar pra se refletir ou pra se mostrar. Se no lugar dos espelhos fossem semi-refletores, acho que eles não apareceriam.

(67) A2: Ah...

(68) A1: Se pá, posso estar errado mas esse é meu pensamento. Concorda comigo meu?

(69) A2: Concordo.

(70) A1: Então era isso! Olha só que legal, Voltamos ainda no coisa 2 e eram fótons únicos e a gente não chutou, mas antes que o negócio carregue acho que vai aparecer nas duas igual.

(71) A2: Eu acho que não, acho que vai alternar também.

(72) A1: Sim, não, o mesmo como tava na última.

(73) A2: Ah, sim.

(74) A1: Se ele não alternar, a nossa teoria tava errada tá ligado, eu acho que ela não está errada.

(75) A2: Formou embaixo...

(76) A1: Mano, como assim? Formou embaixo. Cada vez eu entendo menos. No primeiro...

(77) A2: Eu falei que ia formar embaixo.

(78) A1: Não, sim. A gente acertou, só que não alternou. Só que aí eu não entendi mais nada. Ele disse que não muda nada. Ah, porque ele tá acelerando. Mas continua acelerando, então a gente não errou.

(79) P: ...É pra estimar, quantas "bolinhas" estão chegando lá

(80) A1: Exatamente

(81) A1: Fótons... Tá bom, tá aprendendo enquanto a gente faz. O que são fótons? Fótons são as partículas da luz, certo?

(82) A2: Sim.

(83) A1: Ou que carregam tanana teoricamente... Ou a gente tá muito errado ou a gente veio nas aulas. Mas em todo o caso a gente vai ter que fazer a 3. Eu não lembro da 3 e a gente vai ter que pedir (pedido para colocar questão 3 no projetor).

(84) Outra dupla: Sor, tem que falar do laser e do fóton?

- (85) A1: Se tem um detector de fótons vai chegar nos 2, tenho certeza absoluta.
- (86) A2: “O que vocês esperam observar?” Vai chegar nos 2.
- (87) A1: Aposto 5 pila que vai dar pra ver o coisa de fótons. Sim, mano, aposto 5 pila que vai, porque vai passar pelo semi-refletor,vai repetir pros dois e tanto o azul quanto o amarelo vão refletir... Quer dizer eles não vão refletir, mas vão sentir os fótons, vão receber os fótons.
- (88) A2: Acho que vão receber os fótons, por causa que na primeira as duas telas recebiam os fótons.
- (89) A1: Sim, eles aceleram, mesmo que alternados.
- (90) A2: (inaudível)
- (91) A1: Exatamente.
- (92) A2: Só não sei o quanto, não sei se precisa colocar isso também.
- (93) A1: Não, ele não falou nada disso. [respondendo a questão]Eu espero observar que os dois serão ativados.
- (94) A2: [Lê novamente a questão destacando que precisa comparar o número de fótons em cada detector].
- (95) A1: Mas tem que fazer isso? Mas peraí... Se 50% passar e 50% não, tem que aparecer igual nos dois.
- (96) A2: Mas será?
- (97) A1: Sim porque dois refletores vão refletir pra dois lugares diferentes, quer dizer é um semi-refletor com dois espelhos, eles têm a mesma base de influência, então eu creio. Acendeu, mas é aleatório, por quê esse aí tá? Mais ou menos 50%, não ia ser alternado pois é aleatório. Creio que acertei. Então quer dizer que tá igual, mesmo com uma diferença mínima entre eles, eu creio.
- (98) A2: Ah sim, vai ser 50 e 50...
- (99) A1: Exatamente, vai ser 50/50 e essa é a nossa aposta.
- (100) A1: Acendeu, acendeu! (professor vai apontando quantos fótons estão chegando em cada detector)Chegou no azul.
- (101) A2: Mas também chegou no amarelo.
- (102) A1: Ah, mas tá aleatório... Não deveria ser 50%... Tem dois no azul e cinco no amarelo, mas por quê?
- (103) (Ruído de murmurinho no auditório)
- (104) P: (para a turma) Olha só, saiu mais ou menos 20 da fonte e 1 ta marcando 10 e no outro 12...
- (105) A1: Sim, mais ou menos 50% como é aleatório, é normal que um fique com mais que o outro, não ia ser alternado. Eu creio que eu acertei. Eu só vou errar se ficar uma diferença de mais de 10 (referindo-se a quando acelerar) eu acho.
- (106) A2: Tem 267 fótons no azul e 258 fótons no amarelo.

- (107) A1: Calma... Mais de 10 mas (inaudível) velocidade.
(108) A2: 267 no azul e 258 no amarelo.
(109) A1: Então quer dizer que o amarelo tem menos
(110) A2: É 258 no amarelo
(111) A1: Então tá igual
(112) A2: Não, ta 267 no azul e 258 no amarelo!
(113) A1: Mano, pra uma taxa assim, pra mim é a mesma coisa.
(114) A2: Será? Acho que é, né?
(115) A1: É aleatório, é normal que um fique mais que o outro por causa da aleatoriedade.
(116) A1: “Qual a nossa expectativa”?... Acho que gente acertou, né? Porque a gente disse que ia passar pros dois e acertamos, e a gente disse que seria 50%, então acredito que a gente também acertou.
(117) A2: A única coisa que a gente não disse precisamente é que (inaudível)
(118) A1: Eu disse que ia tornar.
(119) A2: Então se tu disse...

- (120) A1: Tá, ele adicionou o semi-refletor 2 na mesma situação anterior, certo? Eu não faço a menor ideia. Por causa que... No último o que que aconteceu dos fótons?
(121) A2: No último ficou um pouquinho mais pro azul.
(122) A1: Não, ficou igual, velho.
(123) A2: 260...
(124) A1: Na verdade, é que eu tô na dúvida porque ele acelerou, daí não sei se no segundo aparece mais, porque o segundo o número de fótons parece que tem mais bagulho, ta ligado. Só não sei se parecia porque tinha mais por ele ter acelerado ou por outra coisa diferente, mas na minha teoria, se ele adicionar o número 2, não vai mudar nada.
(125) A2: Eu acho que vai.
(126) A1: O que?
(127) A2: Porque se botar o espelho semi-refletor 2, alguma coisa tem que mudar, senão, pra que ele estaria ali?
(128) A1: Pra ti ter dificuldade, refletir, complicar tua vida. Na minha cabeça, ele não tá escapando pra lugar nenhum. O semi-refletor tá sempre devolvendo pra algum lugar e então ele vai chegar a algum lugar e é nessa base que eu tô montando. O meu arrependimento, qual é? Não ter pegado meu caderno, porque a gente ia apresentar trabalho hoje.

- (129) P: (faz a contagem dos fótons que são detectados)

(130) A1: Não tá chegando no amarelo...Nenhum no amarelo?(pergunta para o professor)

(131) (Professor não responde, apenas continua contando)

(132) A1: (lamentação) Mas por quê? Peraí, deixa eu pensar. Calma aí. Vamo lá, pshiu... Por que ele não chega no amarelo? Ele passa direto no semi refletor e depois passa direto no outro semi-refletor, pra chegar no amarelo, ele teria que passar direto 2x, né?

(133) A2: Eu não entendi essa...

(134) A1: Tá,já sabemos que ele não vai passar pelo amarelo. Mas por que ele não passou no amarelo?

(135) A2: (murmura)

(136) A1: Eu tô pensando...

(137) A1: Os fótons simplesmente não vão passar, ou não, pior que eles vão para o amarelo só porque ele falou isso... Meu chute foi totalmente pro ralo... Assim, só vai para o verde pelo meu chute. Mas não ta parecendo... Será que isso vai para o amarelo mesmo? Mas por que vai só para o amarelo? Ele vai refletir ali, refletir ali, refletir ali e...

(138) (Professor liga a fonte)

(139) A1: Ele ta indo para o amarelo e pro verde!... Por que velho? Tá indo para o azul ainda!!! Meu... Por quê??? Não, mas o que é isso? Ô sor, isso daí é bruxaria meu, não é possível... Meu to indignado... Por que isso, eu não sei meu, isso daí é bruxaria! Tu tem é que te tratar meu! Por que...

(140) A2: Oh, o sor vai explicar!

(141) A1: Tá todo mundo indo embora e o sor explicando... Ah, tem haver com a porcentagem com que se divide, os 50%, mas isso daí a gente já sabia. Eu esqueci de falar o quanto de porcentagem porque eu achei que ia rolar uns outros negócios... Peraí,eu acertei eu acho. Mais ou menos.

(142) A2: Qual?

(143) A1: A dois e essa última ali que eu acho que meio que acertei. Quando ele mostrou eu achei que a gente tivesse errado porque a gente não consegue ver os números subindo porque a gente ta...

(144) A2: No último?

(145) A1: É, eu disse que ia para todos, tu te lembra?

(146) A2: Sim, depois tu disse que ia só pro verde

(147) A1: Ah sim... Por que eu falei isso meu? Nossa, eu sou um retardado mano...

Dupla B

- (1) B1: Eu não lembro nem a pergunta direito.
- (2) B2: Eu também não. O sor coloca a pergunta aí de novo... Obrigado.
- (3) B1: A luz ela vai passar pelo semi-refletor, aí ela vai refletir num espelho normal que tá reto e vai refletir na parede e vai seguir direto pra parede, enquanto ela vai refletir pra um espelho também. Eu não vi se o espelho tava virado assim...
- (4) B2: Eu não lembro também.
- (5) B1: Não, tá, tá certo. Com o semi-refletor dois ela vai passar reto, ela vai fazer em “L”. Ela vai passar na primeira, e da primeira linha ela vai seguir reto e vai refletir direto pra parede.
- (6) B2: [...]
- (7) B1: Sim. Oh, ela vai sair do laser, vai passar reto pelo semi-refletor e acho que ela vai... Não sei se ela reflete pra aquele lá.
- (8) B2:
- (9) B1:
- (10) B2: Peraí, o sor, se eu não falar muito no áudio é porque eu tô realmente muito gripada aqui.
- (11) B1: O sor, outra coisa, eu não entendi se aquele semi-refletor tá refletindo pra lá, também?
- (12) Professor responde.
- (13) B2:
- (14) B1: Tá certo, ele vai refletir e vai passar o primeiro caminho ele vai fazer do refletor, do laser pro semi-refletor, vai subir reto e passar pelo refletor e vai bater na parede que tá reto a primeira parede. Aí o segundo caminho ele vai sair do laser pra ir pro semi-refletor pra continuar reto no espelho e refletir direto pra outra parede que tá no espelho então são dois caminhos que ele percorre.
- (15) B1: Tá, basicamente o que vai acontecer aqui, no primeiro caso exatamente o que a gente tinha dito, o laser refletiu nas duas paredes e o segundo é que a luz refletiu de forma diferente na parede que no coisa, ela formou uma imagem diferente que o laser, que é exatamente o que a gente tinha dito.
- (16) B2: Hum-rum.
- (17) B1: ê!

(18) B1: Se quando o laser for trocado por um fóton, vai acontecer praticamente a mesma coisa que o primeiro só que agora com o diferencial que metade dele vai passar e metade dele vai ficar. E a forma dos dois vai ser totalmente diferente da do laser, a forma que vai formar nas paredes.

(19) B2:

(20) B1: Cala a boca B2!

(21) B1: Eu acho que já sei a resposta. Basicamente o que vai acontecer é que, se for levada a teoria da dualidade em consideração, a luz ela vai refletir e vai fazer a mesma coisa que o laser, a luz vai fazer o mesmo caminho que o laser. A única coisa que pode mudar é o que tu vai enxergar na parede, mas aí fica meio difícil saber, né, porque tu só vai enxergar a luz da lanterna, mas aí se tu for levar em consideração esse acúmulo a corpuscular, ela não vai passar nem do primeiro refletor e como onda ela vai passar reto no refletor e na...

(22) B2:

(23) B1: Beleza, então tipo, parte dele fica e parte dele vai, na dualidade parte dele vai bater e ficar e parte vai bater e seguir reto, basicamente o que o laser fez.

(24) B1: Agora se a gente botar o espelho... Mais um semi-refletor ele vai fazer igual a primeira, mesmo caminho, só que agora com a junção do semi-refletor, então quer dizer que ela vai ir, refletir pros dois lados, sair, bater nos dois semi-refletores, aí ela vai refletir e refletir pro mesmo lado, então ela vai chegar...

(25) B2:

(26) B1: Duas vezes pra cada parede, basicamente.

(27) B2: Hum... Por quê?

(28) B1: Porque ela vai sair do laser, vai passar pro semi-refletor, vai subir pra um, vai passar e seguir reto.

(29) B2: Ah tá.

(30) B1: Mas ela também vai passar e subir, e ela vai sair do semi-refletor, passar reto, subir pra um, passar e subir e ir. Então quer dizer que ela vai passar duas vezes pra cada parede e formar um quadro no meio deles.

(31) B2: Hum...

(32) B1: Enquanto eles sobem, eles batem duas vezes em cada parede, por conta dos semi-refletores e é isso...

(33) B1: O efeito único do laser ele é totalmente diferente do que o primeiro e o efeito da luz acaba sendo com imagem diferente no início do laser e parecido no final, coisas que a gente não esperava acontecer então... Eras isso...

(34) B2: eras isso...

(35) B1: Basicamente ao tirar o escudo 2, o laser vai bater, os fótons eles vão bater igualmente nos dois detectores. Mas... Uma parte dos fótons vai, passar, bater no detector amarelo e uma outra parte vai bater no detector azul. E mesmo assim ainda pode acontecer que apenas uma parte dessa parte bata no detector amarelo e apenas uma parte dessa parte no detector azul. Ou seja, metade vai para o detector amarelo e metade pro detector azul. Mesmo nessa metade que vai para os dois pode ser apenas metade dessa metade... Será que o sor vai entender?

(36) B2: $\frac{1}{4}$ então?

(37) B1: É, um quarto dos fótons vão pra cada refletor.

(38) B1: O resultado do experimento 1 foi totalmente diferente, em que o amarelo recebeu mais, possivelmente por conta de que mais da metade dos fótons tenha passado reto pelo semi-refletor, enquanto uma pequena parcela refletiu e chegou no azul.

(39) B1: Tá, peguei! Basicamente acontece que $\frac{1}{4}$ do negócio vai pro azul e $\frac{1}{4}$ do negócio vai pro amarelo, provavelmente é isso que vai acontecer agora...

(40) (professor procede com a contagem dos fótons)

(41) B1: Ah, Possivelmente aconteceu que... o refletor tenha formado um quadrado e tenha cortado a linha entre o semi-refletor e o amarelo, então foi tudo direto pro azul.

Dupla C

(1) C1: Quando é laser, ele aparece nos dois bem forte e parece que um completa o outro.

(2) C2: Sim, exatamente o que a minha colega falou.

(3) C1: É como se um completasse o outro, isso quando for laser, bate nos dois e fica bem forte e um completa o outro como se fosse uma sombra assim, digamos. O que falta em um, tem no outro.

(4) C2: É isso aí.

(5) C1: Isso para quando for laser.

(6) C1: É, eu acho que não vai estar nesse formato, vai estar como uma tinta soprada assim, tipo uma tinta atirada na tela. Não vai tá, como que é? Não vai estar nítido. Vai tá meio pixelado assim. Não vai estar certo.

(7) C2: Ele (referindo-se ao professor) vai nos perguntar o porquê.

(8) C1: É, vai, como sempre...

(9) C1: Não vai acontecer nada! (grita)

(10) P: Ela tá indo bem devagar. Presta atenção ali na tela. Tá vendo os pontinhos?

(11) C1: É... Vai...

(12) Outra dupla: Vai formar a mesma imagem, só que com bolinhas.

(13) Professor usa o comando “acelerar”

(14) C1: é, foi o que eu disse!

(15) Outra dupla: Eu falei! Acertei uma! (grito)

(16) C1: Sim... Vai estar pontilhado. O que eu disse C2? Olha lá, eu acertei ou não acertei?

(17) C2: Resposta... exata!

(18) P: (para a turma) O objetivo não é só chegar na resposta, mas tentar convencer a dupla de vocês e explicar o porquê.

(19) C1: Tá, te convenci? (para C2)

(20) C2: Isso daí não foi uma indireta, né?

(21) C1: Foi. (tom sarcástico).

(22) (Professor explica algo ao fundo)

(23) C1: Tá, tu chegou à conclusão né C2, de que em fótons ele vai ficar pontilhado...

- (24) C2: Sim. Em fótons ele vai ficar pontilhado porque não fica muito forte.
(25) C1: E no laser ficou bem forte e contínuo assim... Não foi pontilhado.
(26) C2: Sim, ele fica um redondo assim, todo contínuo.

- (27) (Explicação professor)
(28) C1: Foi nos anteparos que aconteceu tudo isso que a gente falou (até agora)
(29) C2: Tá, olha só, aquele que tá ali, ele reflete nos dois lados?
(30) C1: Pelo que aconteceu, sim.
(31) (professor faz a substituição)
(32) C2: Mas o negócio vai entrar lá, ele vai bater ali e vai entrar naquele coisa amarelo e no azul
(33) C1: Eu acho que só vai ser menor
(34) C2: Mas ele entra ou ele é assim?
(35) C1: Não, ele vai aparecer ali
(36) C2: A vai ser a mesma coisa, na real. Acho que vai ser a mesma coisa
(37) C1: Sabe o que eu acho? Que vai ficar mais ampliado, porque é menor o negócio
(38) C2: Pode ser também...
(39) C1: Como se fosse um zoom
(40) C2: Mas é que ele vai sair daqui ó... ele vai sair daqui e vai refletir lá e aquele ali vai refletir lá também. É só que daí como ele não divide mais, acho que vai ficar mais forte. Como não tem o último ali pra dividir ele mais ainda.
(41) C1: Eu acho que vai ficar bem forte, contínuo, não vai ser pontilhado e ampliado, tipo muito grande, como se tivesse dado muito zoom.
(42) C2: É, agora vamos esperar a resposta só.
(43) C1: Terminamos...

- (44) C1: Ah, ele só detecta...
(45) C2: Ah, eu sabia que ele não (inaudível)
(46) C1: Como assim ele divide? É o que ele (professor) disse, vai ser dividido.
(47) Outra dupla: Não deveria dividir igual?
(48) P: saiu três fótons da fonte até agora. Chegou dois no azul e um no laranja.
(49) C1: Vai ser dividido... ta quase (igual)... Olha ali, 5 e 3 (azul e laranja).
(50) Professor usa o comando “acelerar”
(51) C1: Tá... Ela mudou?
(52) Outra dupla: O sor, mas por que é que não ta igual?
(53) C2: Mas o amarelo aumentou, o amarelo ta maior agora...

- (54) C1: ...
- (55) Outra dupla: Por que tem diferença?
- (56) C1: Ele inverteu.
- (57) P: Não invertei nada, só apertei no “acelerar”
- (58) C1: Não sor, mas antes o azul tava maior e agora amarelo tá maior.
- (59) (murmurinho ao fundo, outras duplas interagindo)
- (60) C2: Será que eles não podem se bater, assim?
- (61) C1: “Os fótons vai pro amarelo porque ele é mais fraco, primeiro ele é refletido antes de refletir pra outro espelho” (REPETINDO UMA RESPOSTA DE OUTRO GRUPO, AO FUNDO) ... Não, mas não tem nada haver. Pela cara do sor da pra ver que não tem nada haver (risos)
- (62) Outra dupla’: Mas isso é que nem quando tu toca uma moeda pra cima, tem chance de cair cara ou coroa...
- (63) Outra dupla’’: Aquele lance de probabilidade?
- (64) (murmurinho ao fundo, outras duplas interagindo)
- (65) Outra dupla: Sor, mas não ter haver que o espelho semi-refletor vá refletir, vai sofrer interferência e daí as vezes ele vai refletir para um e as vezes vai refletir para outro, não vai? Então não tem como saber qual vai receber mais...
- (66) P: Não. O espelho não sofre interferência.
- (67) Outra dupla: Ah sor, tu entendeu... Ele vai fazer a onda sofrer a interferência.
- (68) P: Sofrer um desvio?
- (69) Outra dupla: É... daí não tem como tu saber para qual vai mais...
- (70) P: O que a tua dupla acha sobre isso?
- (71) C2: Talvez seja por probabilidade, galera! (para a turma)
- (72) C2: O primeiro ali, ele reflete automaticamente nos dois?
- (73) C1: Sim... Agora vai dar mais no azul... Eu acho que vai ter muito, muito mais no azul...
- (74) C2: Vai ter muito mais no azul porque ele vai refletir ali ó
- (75) C1: Porque o refletor vai tá na frente do azul, então vai refletir no azul
- (76) C2: Sim, tem boas chances, vai pegar nos 2 lados.
- (77) C1: Ou seja, vai duplicar. Pode duplicar, né? Mas ele não deveria ir pra lá também?
- (78) C2: Eu acho que aquele dali vai para os dois lados.
- (79) C1: Aquele semi-refletor que o sor colocou vai pro amarelo e pro azul?
- (80) C2: Eu acho que sim.
- (81) C1: Se for pro amarelo e pro azul, aumenta muito mais nos dois.
- (82) C2: Mas se não for, não vai ir pro amarelo.
- (83) C1: Não, daí não vai pro amarelo. Só vai aumentar do azul, no caso.
- (84) C2: Tá...o azul vai ter mais coisa, esse é o...

- (85) C1: É... Se não for refletir nos dois, senão só vai aumentar muito dos dois.
- (86) C2: Não... O do azul vai continuar com muito mais porque o amarelo não vai...
- (87) C1: Mas o amarelo tá ganhando mais
- (88) C2: Tá mas, aquele ali vai ficar reto, ó. Ele também vai ir reto ali no azul e vai continuar. O azul vai ter mais
- (89) C1: É, pode ser...
- (90) C2: Porque assim ó...
- (91) C1: Mas tu sabe que antes o amarelo tinha mais né?
- (92) C2: Pois é...
- (93) C1: Mas eu acho que agora o azul fica com mais
- (94) C2: Sim, porque ele vai sair dali reto e também tem aquele...é, certo... na real não é certo, pode ser que o amarelo tem a mesma coisa.
- (95) C1: Ah, eu acho que o azul vai ter mais. O que tu acha?
- (96) C2: Não sei, tem duas possibilidades, porque...
- (97) C1: É, eu to entre os dois vão aumentar ou o azul vai ter mais
- (98) C2: Vamo concordar aqui, chegar a um consenso... ou discordar, que a gente tem que discordar. Eu acho que os dois vão dar a mesma coisa.
- (99) C1: Vamos esperar para ver a resposta. Daí quem estiver certo explica pro outro.
- (100) C1: Já chegou no azul, olha lá! Vai ter muito mais no azul (cantando).
- (101) Outra dupla: Olha lá, eu falei, vai ter só no azul! (grito)
- (102) C2: Só falei pra não ter o consenso.
- (103) C1: Só no azul.
- (104) Professor usa o comando “acelerar”
- (105) C2: Bah, só tem no azul...
- (106) C1: Porque causa que o refletor tá só no azul.
- (107) C2: Tá, mas aquele ali, como ele não tá pegando no azul?
- (108) C1: O refletor tá virado só pro azul, pelo visto. E a gente pensou que tava pro amarelo também. O refletor bate no azul e só conta o azul, não vai no outro. reflete só no azul, não reflete mais no...
- (109) C2: Sim... Não vai pro amarelo.
- (110) C1: É, não vai mais pro amarelo, porque não reflete nele.
- (111) P: Oh, o detector 1 é esse aqui [o verde, de acordo com a figura 5.6]
- (112) (murmurinhos ao fundo)
- (113) C2: Tá, então olha só...
- (114) I1: Sor, o detector não afeta em nada? ele vai continuar passando normal?
- (115) C2: Também tô com essa dúvida... Ele continua passando?
- (116) P: Não, o fóton não “atravessa” os detectores se é a dúvida de vocês... O detector é como uma caixa que vai marcar quando o fóton chegar e não vai deixar ele sair...

- (117) C2: Tá então ele só vai no azul de novo... No verde e no azul.
- (118) C1: Como vai chegar lá, no azul?
- (119) C2: Porque vai bater ali,vai refletir lá e refletir lá.
- (120) C1: Ah ta.
- (121) C2: Então assim... Na outra só chegou no azul porque aquele refletor ele tava virado pro azul, então só ia chegar no azul, só que não dava pra ver, mas enfim. E agora nesse aqui, no 5,a luz vai chegar no verde direto, que ele vai reto, e vai bater no refletor que vai bater no outro e vai reto e vai chegar no azul, vai ter no azul e no verde,no amarelo não vai ter nenhum.
- (122) C1: Que nem no outro. Só que no outro chegou só no azul e agora só chegou no verde,porque no verde botaram o coisinha ali...
- (123) C2: No verde e no azul.
- (124) C1: É, no verde e no azul. O verde vai continuar passando?
- (125) C2: Não,ele não continua. O sor falou que ele não...
- (126) C1: Mas é só verde?
- (127) C2: Tá mas, é que ele vai bater naquele primeiro refletor ali oh, e vai subir
- (128) C1: Mas isso no verde só... Não passou no amarelo na última
- (129) C2: Mas não passou no amarelo por causa daquele último lá
- (130) C1: Mas como que vai passar pro verde B?
- (131) C2: Eu acho que vai bater nesse primeiro e vai subir. Acho que vai no azul e no verde.
- (132) C1: Acho que só no verde
- (133) C2: eu acho que vai no azul e no verde... Tem a chance de como o verde não deixa passar a luz,então chegue só no... pode ser isso.
- (134) C1: Se o sor falou que não passa, vai ficar só no verde.
- (135) C2: Eu acho que pode ser no azul também.
- (136) C1: Mas tu acabou de dizer que o sor falou que iria ficar só no verde...
- (137) C2: Não, que ele não vai passar pro outro
- (138) C1: Então...
- (139) C2: Mas é que tem o primeiro ali
- (140) C1: Se não passar pro outro fica no verde,porque sai daqui o negócio
- (141) C2: Tá, não entramos em consenso...
- (142) C1: Sor, vamo, a gente quer ver a resposta
- (143) (EXPLICAÇÃO PROFESSOR, revisando o que já aconteceu antes)
- (144) G1: Sor, dessa vez vai chegar nos 3.
- (145) C2: Nos três não, viajaste!
- (146) C1: O do verde acho que vai ser maior... Acho não, vai ser.
- (147) C2: Não, do azul vai ser a mesma coisa.
- (148) C1: Vai sor! Vai sor! (cantando)
- (149) (Professor liga a simulação)
- (150) C1: Olha lá, já chegou no verde!
- (151) P: Oh, saiu um e chegou no verde...
- (152) C1: Amareloooo!!!

- (153) C2: Mas o que é isso?!
- (154) G1: Vai chegar no azul!!!
- (155) C1: Como que isso? Amarelo também?
- (156) P: Oh gente, já chegou no verde e no azul.
- (157) C1: No amarelo também sor!
- (158) J1: Bah, ô sor, bota aí: 20 fótons por segundo.
- (159) G1: Vai chegar mais no verde.
- (160) C1: Eu também acho que vai chegar mais no verde que qualquer outro.
- (161) J1: Tá indo só um por um.
- (162) G1: Não importa, vai chegar mais no...
- (163) J2: Acelera aí sor!
- (164) Professor clica no acelerar algumas vezes
- (165) G1: Viram só? (gargalhada)
- (166) C1: A gente pensou que não ia chegar no amarelo e no azul...
- (167) J2: Mas se não chegou antes, como é que vai chegar agora?
- (168) C1: É! Exatamente! Colocou o bagulho ali no meio e começou a chegar lá no outro lá...
- (169) G1: Sor, deixa eu explicar?
- (170) P: Tu tá gravando a tua explicação?
- (171) G2: Ainda não, peraí...
- (172) G1: Era o que eu tinha falado antes.
- (173) P: Tá, então repete para todo mundo.
- (174) G1: Tipo, no primeiro espelho semi-refletor ele pode ir tanto pro verde, quanto pro outro espelho. Aí entra o que o Cebolinha tinha dito sobre probabilidade. Só que, os tambores de lá tem dois desvios. E o tambor verde só vai ter um desvio. Então no tambor verde vai chegar com maior proporção do que nos outros dois.
- (175) J2: Tá, isso a gente já sabia...
- (176) C2: Mas por que antes não tinha chegado no amarelo [figura 5.7] ?
- (177) G1: É que antes não tinha o verde. Eu expliquei certo essa daí. Acertei a questão.
- (178) C1: Que antes não tinha o verde a gente sabe. Mas porque chegava só no azul?
- (179) J1: É, chegava tudo no azul e nada no amarelo.
- (180) G1: É que não tinha o verde.
- (181) J2: Tá, esquece esse verde meu! (grito)
- (182) G1: Eu sei! É porque aquilo dali representa só o meio do painel. Se vocês lembrarem de um dos primeiros negócios que ele mostrou, O desenho 1 mostrava sem nenhum fóton no meio do painel e no outro mostrava com todos os fótons no meio do painel. Como aquilo dali representa o meio do painel é a mesma coisa.
- (183) J1: Bah, pode crer... Acho que entendi o que tu quis dizer...
- (184) J2: Eu até entendi, mas acho que não é isso.
- (185) G1: Quando não tinha o verde... Aquele tamborzinho ali só representa o meiozinho do painel. Então se vocês se lembrarem de antes, acho que foi o segundo

experimento quando formou o desenho no meio do painel. Um tinha um monte de fótons e no outro não tinha.

- (186) J1: Isso quer dizer que ta passando pro amarelo também, mas não ali no meio...
(187) C1: Só que não é o suficiente...
(188) J2: Dessa vez eu realmente entendi o que tu quis falar.
(189) J1: Bah...
(190) J2: Meu Deus...
(191) C2: É isso aí que a Narizinho falou.
(192) C1: (risos) É isso aí que a Narizinho falou.

Dupla D

(1) D1: Seguinte, o primeiro negócio que ele vai passar, ele não é espelho, mas ele reflete ao mesmo tempo. Então tipo, ele vai refletir pro de cima que é espelho e ele vai transpassar pro outro espelho lá de trás, entendeu? Então assim, quando for ligado, um vai pra um espelho que é o de cima o outro vai pro espelho lá do outro e os dois espelhos vão refletir pra cada uma das telas. Então aqui vai pro espelho de cima que vai pra tela ali e esse aqui vai transpassar, vai pro outro espelho e vai pra tela de cima.

(2) D2: Ah... tá certo... Faz sentido.

(3) D1: Se trocar por fótons vai...

(4) D2: Ela não vai refletir com força.

(5) D1: “Ela não vai refletir com força”, foi isso que tu disse?

(6) D2: É. Ela não vai chegar na tela tão nítida. Ela não vai ter a força como...

(7) D1: Como o laser tem. É verdade. Eu também acho isso.

(8) D2: Então é isso aí...

(9) D1: Como o laser é muito reto, muito preciso, o fóton ele não é.

(10) D2: Isso.

(11) D1: Daí eu acho que vai, aí no primeiro que não é espelho...

(12) D2: É capaz de espelhar. É capaz dela se multiplicar e não se definir na tela.

(13) D1: No caso, não transpassa pelo primeiro ali, né? Não iria para o outro espelho... É eu acho que é isso também. Se for, se ele passar por aquele outro espelho ali, na mesma reta do laser, acho que nem vai aparecer direito, vai se perder ali. Então, eu acho que não vai aparecer visivelmente nas telas, em nenhuma delas.

(14) D2: E eu acho que é isso.

(15) D2: Eu acho que ela vai separar mais que antes, vai se espalhar mais ainda porque agora tem dois defletores.

(16) D1: Sim, vai acontecer a mesma coisa que aconteceu na 1, mas quando chegar nas telas vai ser um pouquinho mais fraco, a intensidade. Como vai ter um defletor aqui, tipo, o que vai refletir primeiro na tela 1, na tela de cima...

(17) D2: Oh, vai bater primeiro no defletor ali,

(18) D1: Isso...

(19) D2: Depois vai pegar no espelho da esquerda e depois vai no da direita e aí, depois da direita, vai no defletor e vai se dividir entre as duas telas, com mais facilidade, pois o defletor tá mais perto.

(20) D1: Sim, sim. Na verdade, acho que o defletor vai colocar 2x o laser. Por isso não vai fazer muita diferença. Porque ele vai ter dois tipos de laser naquele defletor ali porque ele vai trespassar os lasers que vão acontecer no 1 e vão refletir ainda com o laser que vai passar pelo espelho de cima.

(21) D1: Ele vai fazer o mesmo caminho da 1, sendo fóton...

(22) D2: Acho que ele vai receber uns pontinhos no final.

(23) D1: É... e vai detectar uns pontinhos como aconteceu na 1.

(24) D2: Eu acho que é por esse caminho aí.

(25) D1: Adicionando o defletor... como é que a gente viu ali que no outro eles captavam alternadamente, com o defletor...

(26) D2: Acho que quando tu coloca o refletor vai ter a chance dele detectar muito mais que o outro.

(27) D1: Não sei...

(28) D2: Eu acho que um deles vai detectar bem mais que o outro...

(29) D1: Seria qual, o amarelo?

(30) D2: Não sei. Mas algum deles vai detectar muito mais que o outro.

(31) D1: É, eu acho que o amarelo vai detectar mais porque ele tá sofrendo mais reflexão do que deflexão.

(32) D2: Não te garanto que seja o amarelo. Mas um deles vai.

(33) D1: Um deles vai receber mais, isso é certo, né? mas acho que vão receber menos que a 1, só que um deles vai receber mais e eu chuto no amarelo porque ele tá sofrendo mais reflexão do que difração. Vai diminuir bem mais a intensidade de fótons por captação.

(34) D2: Feito!

- (35) D1: Na 5, adicionando o 1 ali, o que acontece?
- (36) D2: Acho que ela vai se dividir e os detectores vão detectar a mesma, e os 3 vão ser iguais, vão detectar o mesmo número de fótons.
- (37) D1: Os três vão detectar? Tá... Eu acho que só o azul e o verde vão detectar os negócios e vai ser alternadamente. Acho que mais o verde do que o azul.

Dupla E

- (1) E1: Tá, como o semi-refletor manda pra dois lado e tá direcionado pra tela ele vai acabar refletindo nas duas telas porque tirou o outro semi-refletor que ia fazer ele refletir nos outros, concorda?
- (2) E2: Sim, essa foi a nossa conclusão, mas vamos perguntar pro sor pra ver se ta certo.
- (3) E1: Tá bom.
- (4) E2: Primeiro, o que que são fótons: São partículas de luz, então a gente vai substituir o laser que é um raio reto e contínuo de maior intensidade por fótons.
- (5) E1: Tá, daí será que como são bolinhas não vão ficar quicando e o caramba?
- (6) E2: Não, não vão ficar quicando
- (7) E1: Tá, mas como não é uma coisa contínua então não vai ficar bem bonitinha no desenho.
- (8) E2: Sim, as bolinhas vão meio que vão se dividir no desenho, acho que é isso.
- (9) E1: Será que elas não vão bate uma na outra e ficar quicando pra tudo quanto é lado?
- (10) E2: Não porque é luz.
- (11) E1: Sei lá. Então a nossa resposta final seria que as bolinhas ao invés de ser direto elas vão ficar só em desenho de bolinha na tela
- (12) E2: (murmúrio)
- (13) E1: Eu acho que não ta muito certo, mas tudo bem
- (14) E2: Eu acho que tá certo
- (15) E1: Então ta, o Ralpi acha que tá certo... Tá eu vou concordar com o Ralpi
- (16) E1: Agora vamos adicionar o semi-refletor 2 de volta, eu não sei o que pode acontecer.

(17) E2: Eu acho que tipo, tinha um aqui e um aqui e eles iam nas telas, né?
(18) E1: Agora eu acho que ele vai fazer refletir nos dois espelinhos refletores [semi-refletores] real e é isso.

(19) E1: Graças a energia construtiva e destrutiva parece que elas se dividem e daí elas se somam e eu não entendi (grito).

(20) E2: É que quando uma onda se desprende...não, quando uma onda é refletida pelo espelho, ela sofre desvios então essa onda ela sofreu desvios diferentes e ela meio que se dividiu, porque uma parte ela se complementa.

(21) E1: Tá é isso, eu concordo plenamente com o que ele acabou de dizer

(22) E2: Em fótons a gente vai ter uma figura semelhante, porém fragmentada em vários pedaços, que são as partículas de luz, é isso?

(23) E1: É, sei lá, eu acho que as bolinhas quicariam...

(24) E2: Elas não quicam, Júlia.

(25) E1: Tá, mas como meu colega é mais competente que eu nesse sentido e a resposta dele parece ter mais sentido, eu concordo

(26) E2: Como que ela vai ficar quicando?

(27) E1: (risos) Eu não sei...

(28) E2: Não sei a resposta

(29) E1: Eu também não, mas vamos debater.

(30) (professor faz algum comentário ao fundo)

(31) E2: Ah...

(32) E1: Eu acho que agora realmente vai se dividir.

(33) P: Convenceu o Ralpi disso? (para a Júlia)

(34) E1: Não, ele não sabe e não quer dar pitaco. Responde!

(35) E2: É que... já não tinha acontecido isso na última?

(36) P: Porém agora é diferente proque...

(37) E1: Os dois concordam que é isso, né? É concorda, né? (como quem quer se livrar da atividade)

(38) E2: Eu acho que a luz vai bater no espelho 1, e dali vai pro 2 e depois no 4 e aí vai ser dividida pros detectores.

(39) E1: Desconsidera isso que ele falou.

(40) E2: A mesma coisa que tu falou.

- (41) E1: Eu não to te entendendo
(42) E2: É o que tu falou, que vai se dividir
(43) E1: Tá bom, então vai se dividir

(44) E2: A luz vai se propagar apenas em direção a um dos detectores, porque, eu acho que é porque tem aquele espelho refletor [semi-refletor] a mais então ela vai bater ali e vai pra diagonal traseira desse...

- (45) E1: Refletor
(46) E2: É, que foi o que a gente viu ali no desenho
(47) E1: É, daí vai só pro azul

- (48) E1: A gente acha que vai se dividir entre o azul e o verde.
(49) E2: Tem o detector 1, porque tipo se o amarelo não estava antes, não vai estar agora, mas o verde está entre os espelhos, então, vai se dividir entre o azul e o verde
(50) E1: Exato

Dupla F

(1)F1: Como o enunciado pede pra gente tirar o semi-refletor 2, com os dois semi-refletores e o refletor, a luz se propaga em só uma das telas. Quando tu tira um dos semi-refletores, a luz vai para as duas telas.

(2)F1: Da mesma maneira que a luz do laser se propaga, nas duas telas, a luz com os fótons únicos também se propaga da mesma maneira porém com menos intensidade.

(3)F2: ...

(4)F1: Quando tu aciona o botão acelerar por 10x, a luz vira um feixe de luz.

(5)F1: Quando tu recoloca o espelho semi-refletor 2, o laser não alcança as telas, ele fica entre o meio e o circuito de luz ali do negócio.

(6)F2: ...

(7)F1: Quando tu coloca o espelho semi-refletor 2, a luz se divide entre as duas telas.

(8)A: Com fótons únicos, ele traz o mesmo resultado, só que distribuído, fragmentado.

(9)(Professor instiga a discussão entre a dupla)

(10) F2: A mesma coisa que aconteceu no telão vai acontecer ali, vai formar o desenho só que com quantidades pequenas...

(11) F2: Mas é que a luz não reflete, ali porque ele só detecta. A luz não vai refletir.

(12) F2: Só vai aparecer o pontinho, ali pequeninho, e deu.

(13) F1: Mas não vai aparecer porque ele não reflete.

(14) F2: Então não acontece nada.

(15) F1: ...

(16) F2: O laser vai bater na primeira... como é que é? (nome)

(17) F1: Semi-refletor.

(18) F2: Semi-refletor e vai só se expandir nos buraquinhos.

(19) F1: Buraquinhos? (risos)

(20) F2: (risos) Nos pontinhos. E aí do primeiro refletor bate mais no amarelo.

(21) F1: Ou no azul?

(22) F2: Não sabemos!

(23) F1: Não sabemos... (risos). Aí meu deus...

(24) F1: Acho que o detector amarelo vai receber mais porque o espelho semi-refletor tá virado pro lado do amarelo, que ele vai refletir diretamente pro outro espelho.

(25) F2: No caso é quem vai receber mais?

(26) F1: Acho que sim

(27) F2: Porque vai ter ali o refletor na frente?

(28) F1: É.

(29) F1: Bom, Erramos.

(30) F2: Foi tudo pro detector azul, nada pro amarelo.

- (31) F1: Não sabemos o porquê, porque o sor não falou e ninguém explicou.
Mas todos os fótons... Os fótons? É fótons?
- (32) F2: Não... Os fótons são partículas.
- (33) F1: Lasers! São lasers...
- (34) F2: Mas o sor, nesse daí ta com laser ou com fótons?
- (35) P: Fótons.
- (36) F1: Todos os fótons, eles vão para o azul...
- (37) F2: E nada pro amarelo, mesmo clicando 5x mais.

- (38) F2: O negócio verde, o detector 1, ele não vai deixar os fótons passar, então ele vai reter os fótons, que vai impossibilitar que a luz seja...
- (39) F1: Só pra ele.
- (40) F2: Não. Que a luz passe pro detector azul. Então o amarelo detectará mais fótons.

Dupla G

- (1) G2: Tá, vamo começar isso logo
- (2) G1: Tá oh, quando bater naquele ali vai refletir... Ô sor, tem como mudar pra aquela visão de cima?
- (3) (professor atende o pedido)
- (4) G2: Vai bater nesse primeiro e...
- (5)G1: Quando bater nesse primeiro, vai refletir pra lá e pra lá...
- (6)G2: Aí ele volta e aí acerta a outra tela, creio eu.
- (7)G1: Não ó... ele vai voltar pros dois...
- (8)G2: Vai ficar batendo um contra o outro.
- (9)G1: Tá, então...
- (10) G2: Vai refletir para os dois lados...
- (11) G1: O espelho é a parte branca, ta?
- (12) G2: Sim...
- (13) G1: Aí vai um pro lado e outro pro outro e esse aqui vai refletir pra frente.
- (14) G2: Bate dois raios de uma vez só?
- (15) G1: Não, o semi refletor divide,
- (16) G2: Ele divide os dois?
- (17) G1: Isso, um pra esquerda e outro pra cima.

- (18) G2: Tá, então se eles se rebatem eles voltam, né? Se bate assim... Ele reflete ou sobe?
- (19) G1: Não, ele vai refletir, o que foi pra cima...
- (20) G2: Tá.
- (21) G1: Ele vai refletir pro que ta na esquerda e aí o da esquerda...
- (22) G2: Sim...
- (23) G1: Não, eles vão tudo pro da esquerda, aí onde o sor tá
- (24) G2: Tá
- (25) G1: Vai tudo pro da esquerda. Só que como a luz... Ah, daí os dois vão pra tela ali em cima... a luz é uma partícula... (risadas) tá, deixa eu só vê se ele vai bater na tela.
- (26) G1: O sor, eu tenho que explicar se a luz é ...
- (27) P: Se é onda ou partícula?
- (28) G1: É, eu tenho que explicar isso?
- (29) P: Não... Isso é para estar implícito no jeito que tu vai explicar o que vai acontecer quando é laser e depois, quando eu mudar para fótons únicos.
- (30) G1: Tá, então eu só tenho que dizer onde ela vai refletir no final?
- (31) P: É pra responder o que vocês esperam que apareça nas telas.
- (32) G1: Tá, numa não vai aparecer nada, e na outra vai aparecer dois coisas de laser.
- (33) G2: Eu acho que vai aparecer um troço de laser.
- (34) G1: Não, porque... é talez, porque eles vão partir do mesmo feixe, né?
- (35) G2: Exato
- (36) G1: Daí seria um raio de luz só, mais forte, mais intenso, do que se tivesse aquele dali dividido.
- (37) G2: Isso mesmo.
- (38) G2: Acho que não chega, porque se ele disse que é mais fraco
- (39) G1: Agora eu não sei mais
- (40) (DUPLA PEDE AO PROFESSOR PRA TROCAR A VISÃO DO PROJETOR)
- (41) G1: Tipo assim, oh... Ele vai dividir, praticamente a mesma coisa...
- (42) G2: Mas com menos intensidade, né? Já que ele disse que o laser é muito mais forte e contínuo
- (43) G1: Sim
- (44) G2: Eu acho que é um pouquinho mais... Acho que vai ser bem mais forte
- (45) G1: Tá, eu acredito em ti
- (46) G2: Eu errei na primeira né, então...
- (47) G1: Agora entendi porque ela vai reto e não reflete de volta.

- (48) G2: Ela bate no canto e vai...
- (49) G1: É, vai reto... Tá torto, mas vai reto. Ô sor, estão a mesma distância os dois, ou tem um mais perto?
- (50) P: Sim, os dois anteparos tem a mesma distância em relação à fonte.
- (51) G1: Mesma intensidade então, pois mesma distância.
- (52) G2: Se chegar lá é fraca.
- (53) G1: É, mas pode não chegar
- (54) G2: Pode não chegar, dependendo da...
- (55) G1: Ah, mas sendo partícula, eles se misturam ali no meio, porque sendo luz eles não vão interferir. Sendo partículas quando se encontrarem ali, eles se interferem
- (56) G2: Sim
- (57) G1: Aí já não sei mais.
- (58) G2: Então ele não vai chegar aparentemente
- (59) G1: Ou ele vai chegar mais intenso em um...
- (60) G2: Acho que chega muito fraco.
- (61) G1: Concordo
- (62) (fótons)
- (63) G1: Chegará nos dois.
- (64) G2: Chega nas duas telas.
- (65) (interação com outros grupos sobre assuntos aleatórios)
- (66) G2: Antes do comando acelerar 10x, a luz chega mais fraca (fótons únicos).
- (67) G1: Haveriam os fótons. Eles chegariam como pontinhos...
- (68) G2: Eles chegariam fracos, se o acelerar 10x fica mais forte.
- (69) G1: Acho que sendo o laser...
- (70) G2: Acho que ele não vai chegar na tela...
- (71) G1: Não, acho que ele chega com mais intensidade...
- (72) G2: Mais intensidade?
- (73) G1: Porque olha só, os dois raios vão se encontrar no refletor
- (74) G2: Sim e vão voltar
- (75) G1: E aí um vai tipo num feixe.
- (76) G2: É que pela explicação que ele deu, que se bate num canto e saí pelo outro...
- (77) G1: Não, ele vai bater nas telas ...
- (78) G2: É, os dois vão vim com alta intensidade
- (79) G1: É, eu acho que eles vão vim com mais intensidade, porque agora os raios vão ser divididos entendeu
- (80) G2: Sim

(81) G1: Esse primeiro raio que vai bater, uma parte vai pra uma tela, outra parte vai pra outra
(82) G2: Sim
(83) G1: E aquele raio uma parte vai pra outra
(84) G2: Com mais intensidade?
(85) G1: Sim... Eu acho que seja isso. E sendo um fóton, a mesma coisa.
(86) G2: Bom, ela vai chegar.
(87) G1: Tá, a luz chegará nos dois.
(88) G2: Bom, ele vai refletir e chegar nos dois.

(89) G2: Creio que um lado não tenha interferência e a outra tenha, daí aquele centro é o raio de luz, né?
(90) G1: Sim
(91) G2: Porque num lado não vai ter a interferência e no outro vai ter
(92) G1: Então ali o laser tá demonstrando que a luz é uma onda e aí...
(93) G2: Exatamente e...

(94) G1: Quando for fóton...
(95) G2: Vai se espalhar mais...
(96) G1: Ele não vai estar tão intenso e daí não vai formar esse desenho, eu acho...
(97) G2: Eu acho que não
(98) G1: Acho que no meio daquele ali que tem a bolinha vermelha do laser aparecendo vai ter mais e no meio daquele que tá branco não vai ter fóton nenhum, mas não vai formar o mesmo desenho
(99) G2: Eu não sei
(100) G1: Ah, isso é o que eu acho, né?

(101) G1: Tenho quase certeza que é a mesma coisa da tela, só que com tipo, com um painel ali. Que nem o sor falou, é só tu imaginar como se fosse o meio da tela, só a bolinha, sabe?
(102) G2: Sim
(103) G1: E aí no primeiro experimento ele tinha feito a mesma coisa
(104) G2: Pode dar o mesmo resultado

(105) G1: O mesmo resultado do primeiro experimento, só que ao invés de mostrar o painel completo ele vai mostrar só uma bolinha, então os dois vão parecer iguais.

(106) G2: Em que sentido?

(107) G1: Eu não sei, eu já to bem triste que errei as primeiras, então...

(108) G2: A vida é assim, a gente aprende com os erros...

(109) G1: Eu acho, vê se tu concorda...

(110) G2: Sim

(111) G1: Que tipo assim, quando o espelho refletor, tu não sabe se ele vai pra um espelho ou se ele vai pro outro

(112) G2: Sim, ele ta indo mais pro da frente que pro amarelo

(113) G1: É, às vezes ele vai mais pro azul e às vezes mais pro amarelo, porque antes do sor apertar o rápido lá ele tava mais no azul, agora ele tá mais no amarelo.

(114) G2: Então a probabilidade é...

(115) G1: É, depende só dessa questão de probabilidade porque o espelho é semi-refletor.

(116) G2: É isso aí.

(117) G1: Como ele representa só o meio da tela, um vai ter bastante e o outro não vai ter nada porque lembra que no meio da tela no exercício anterior...

(118) G2: Sim

(119) G1: O desenho de uma tava vazio e da outra tava cheio.

(120) G2: Exatamente

(121) G1: Então vai acontecer a mesma coisa, só que um vai...

(122) G2: Detectar mais.

(123) G1: Qual que tava pintadinho, era o azul né?

(124) G2: Uhum

(125) G1: Então é o azul. vai ter afu e o outro não vai ter nenhum.

(126) G2: Ah, porque ele só detecta o do meio

(127) G1: Sim,

(128) G2: É então...

(129) G1: É porque o painel era bem maior né, e esse aí é só uma bolinha no meio

(130) G2: Exatamente

(131) G1: Então o azul fica com tudo e amarelo com nada.

- (132) G1: Como nós havíamos dito... Eu gosto de reforçar quando eu to certa, entendeu?
- (133) G2: É.
- (134) G1: Antes do fato ocorrer, tudo bem que a gente não ta vendo isso antes do fato ocorrer, mas a gente viu e a gente já previu. Aconteceu exatamente o que a gente falou. E a gente acertou porque ele só vai refletir como se fosse o meio do painel, e nomeio do painel do exercício anterior, em um tinha e o no outro não tinha, foi o que falamos.
- (135) G2: Exatamente
- (136) G1: Gabriel concorda.
- (137) G2: Completamente.
- (138) G1: porque nós estávamos certos.
-
- (139) G2: Creio eu que o raio vai morrer no verde, um deles
- (140) G1: Sim
- (141) G2: E o outro vai rebater pro outro lado. Resta saber se, o que tu acha, se ele vai acertar todo no azul de novo, ou todo no amarelo dessa vez?
- (142) G1: Não, eu acho que como o espelho refletor pode passar tanto pra um quanto pra outro, eu acho que vai ser tipo, depender da probabilidade igual.
- (143) G2: Tá
- (144) G1: Qual dos tambor vai recebe
- (145) G2: Eu acho que o verde vai
- (146) G1: Só que no verde não vai mais nenhum. Porque o verde ó, tipo a luz sai daquele primeiro espelho, o espelho semi refletor e aí uma parte vai pra aquele espelho da esquerda e outra parte pro espelho de cima
- (147) G2: Sim
- (148) G1: E toda parte que for pro espelho da esquerda, que é onde tá o detector 1, não vai mais sair. Porque o detector um vai...
- (149) G2: Sim, exatamente, então vai pro amarelo, pro verde e pro amarelo
- (150) G1: É... então vai pro verde...
- (151) G2: Detector 1 e 4
- (152) G1: Eu acho que vai pro verde e talvez pro azul e pro amarelo, porque aqueles espelhos ali é a mesma coisa do primeiro, ele pode tanto ir pro amarelo, quanto pro verde, depende da probabilidade. Então vai para os três, porém pro verde, talvez, com mais intensidade.
- (153) G2: Porque ele sofre um desvio só?
- (154) G1: Porque o verde só vai... Ele tem um desvio só. O azul e o amarelo tem dois desvios.
- (155) G2: Sim
- (156) G1: Faz sentido?

(157) G2: Faz.

Dupla H

(1) H1: O laser vai bater no primeiro espelho semi-refletor, vai refletir mais fraco, vai passar reto e vai bater no espelho 1. Esse espelho 1 vai refletir pro anteparo que tá na reta dele. No espelho 2 vai ser refletido uma luz mais fraca...

(2) H2: Acho que sim...

(3) H1: Do espelho semi-refletor 1 vai ir pro anteparo 2, que tá bem na reta dele. E aí formar uma luz mais fraca.

(4) H2: Um laser mais fraco?

(5) H1: É.

(6)H2: Ah, ta.

(7)H2: A potência do laser foi mais forte do que a gente esperava.

(8)H1: Refletiu de uma maneira mais intensa que a gente esperava nos anteparos, não foi tão fraca quanto a gente pensava. A gente pensava que poderia ser mais fraca, mas...

(9)H2: Foi bem mais forte.

(10) H1: Foi consideravelmente mais forte.

(11) H2: Sim.

(12) H1: é isso.

(13) H1: Acrescentando o espelho semi-refletor 2, a gente pensa que o laser passaria pelo primeiro espelho semi-refletor, bateria, passaria reto pelo primeiro, passaria reto, e refletiria mais fraco no espelho 2. Refletindo nesse espelho 2, Ele refletiria mais fraco para o espelho semi-refletor 2 e iria para o anteparo bem mais fraco do que no início, pelo fato de que quando passa pelo semi-refletor uma parte dele passa por ele e outra reflete então vai ficar muito mais fraco que no início, então esse anteparo vai ficar [...] O anteparo que ta na reta do espelho 1 também vai ficar bem, bem mais fraco que o próprio primeiro, porque ele refletiria a luz fraca com o espelho semi-refletor 1, bateria no semi-refletor e não refletiria, passaria reto e então seria ainda mais fraco que no primeiro anteparo, que é o que tá reto no espelho 2.

(14) H2: (concorda)

(15) H1: Bom, a resposta não tem nada haver com o que a gente pensou, né...

- (16) H1: Definitivamente não foi o que a gente esperou, porque fez uma fórmula, que fez um bagulho de círculo.
- (17) H2: Sim...
- (18) H1: Não foi a imagem que a gente esperava...
- (19) H2: Numa fez um círculo fechado... Na outra um círculo aberto.
- (20) H1: É...
- (21) H2: Não foi nada do que a gente esperava
- (22) H1: Não foi, a gente esperava que aparecesse uma imagem escura ali nos anteparos. Não esperava isso... Eu achei que só ia ter uma imagem escura do mesmo jeito que estava na primeira questão, então... Foi bem diferente do que a gente imaginava.
- (23) H2: Bem diferente...
- (24) H1: E ainda tem uma diferença entre o primeiro e o segundo: o primeiro tem uma bolinha mais aberta, tipo branca no meio; e a outra ta fechada e muito diferente. Não entendo o por quê, mas foi bem diferente mesmo...
- (25) H2: Eu não sei mesmo...

- (26) H1: Na primeira parte do que é que a gente espera, eu espero que chegue o mesmo número de fótons nos dois.
- (27) H2: Nos dois?
- (28) H1: Nos dois, porque tem um amarelo e um azul. porque que eles tem um espelho refletor entre eles, entre aspas, por exemplo: o espelho 2 tem um semi-refletor entre ele e o espelho 1. Então o laser vai tocar os fótons, vai passar pelo semi-refletor, vai entrar no...
- (29) H2: espelho 1...
- (30) H1: E vai refletir pro detector amarelo... Aí como ele vai refletir também, mais fótons pro espelho 2, que vai refletir pro detector 2,
- (31) H2: O detector azul.
- (32) H1: detector azul desculpa... então na nossa visão seria a mesma coisa, seria basicamente a mesma coisa ou o azul teria um pouquinho mais pelo fato de que ela vai receber... Ou não, não mas é que não tem como, muito difícil que um receba muito mais que o outro. Ou recebe um pouquinho menos, ou recebe a mesma coisa.
- (33) H2: Sim...
- (34) H1: Ou reflete, ou passa a luz pelo semi-refletor...
- (35) H2: Hum-rum, é isso aí.
- (36) H1: Vai estar a mesma coisa. É isso. Eu acho que vai ter a mesma coisa nos dois ou um pouquinho mais no azul.
- (37) H2: Eu também acho que vá ter um pouquinho mais no azul.

(38) H1: Pelo fato de que ele é reto, então ele recebe a luz refletida pelo [...]
(39) H2: Porque, tipo, a luz refletida... É!
(40) H1: É isso. Por que eu acho que não é no amarelo? pelo fato que ele vai receber uma luz que vai passar direta do semi-refletor 1. Tipo ele vai receber os fótons, vai passar pelo semi-refletor 1 e vai pro espelho e essa luz vai ser bem mais fraca do que no início...
(41) H2: Sim...
(42) H1: Os fótons, perdão. Então acho que no amarelo ele vai receber um pouco menos.
(43) H2: Sim, mas ele recebe de qualquer jeito.
(44) H1: É.

(45) H1: Na primeira parte a gente errou muito feio...
(46) H2: Muito feio, a terceira.
(47) H1: Alias terceira pergunta, perdão. Eu pensei que seria a mesma coisa ou mais pro azul... Erramos feio, foi muito mais pro amarelo.
(48) H2: Sim...
(49) H1: Pô, mas é uma casualidade. A gente não tem como saber... Eu não sabia, não fazia a menor ideia de que podia dar isso...
(50) H2: Até a gente ter o nosso doutorado em Física, a gente não vai conseguir saber o que ta acontecendo.
(51) H1: é, a gente não tinha como saber... Eu achei muito mais estranho do eu imaginava, realmente muito surpreendente.
(52) H2: No amarelo chegou o triplo, sei lá, quase o triplo do azul...
(53) H1: Como eu disse que era um pouquinho menos, então erramos feio, feio...

(54) H1: Bom, na experiência 2, acrescentando o semi-refletor 2 a gente espera que ele vá disparar uma certa parcela de fótons e ele vá se dissipar aqui entre os dois espelhos e não vai chegar a mesma contagem que saiu do laser. Então é provável que chegue...
(55) H2: Mais... Acho que dessa vez vai chegar a mesma coisa...
(56) H1: Acho que agora sim, vai chegar a mesma coisa nos dois. Se não chegar a mesma coisa nos dois...
(57) H2: Vai chegar mais no azul.
(58) H1: Ah, daí não sei... Por que? Porque ta quase a mesma coisa que... É acho muito difícil, acho que vai chegar o mesmo nos dois.

(59) H2: Na verdade acho que vai chegar o mesmo nos dois, se não chegar, chega mais no amarelo.
(60) H1: Porque separa nos dois pela metade e nos dois espelhos, então tem muita probabilidade de chegar igual.
(61) H2: Sim
(62) H1: A mesma coisa, tem mais probabilidade de chegar a mesma coisa ou mais no azul dessa vez.

(63) H2: Eu falei que ia cair no azul!
(64) H1: Bom a reflexão que a gente acertou, mas foi muito mais no azul.
(65) H2: Sim, bem mais...
(66) H1: Foi bem mais no azul. A gente esperava que fosse mais no azul, mas que não fosse tanto porque todos os fótons que o laser soltou foram tudo no azul.
(67) H2: Sim.
(68) H1: Nenhum se dissipou no ar, nenhum sequer saiu pela metade, foi tudo no azul. Não chegou nem meio no amarelo então, realmente foi surpreendente. Novamente eu não sei o motivo, mas é interessante ver isso, que acrescentando...
(69) H2: Bah, tu vê, foi tudo no azul né meu...
(70) H1: Acrescentando só aquele espelho semi-refletor, fez tanta diferença assim, porque antes o amarelo tinha o quê...
(71) H2: Foi o que, foi dois mil e poucos a...
(72) H1: Tinha uns 10, 12... No primeiro tinha o quádruplo no amarelo que no azul e agora no amarelo não teve nenhum e no azul teve todos.
(73) H2: Sim.
(74) H1: E nenhum se dissipou... Ele teve realmente tudo o que o laser soltou. Surpreendente.
(75) H2: Muito surpreendente!

(76) H1: Nesta última resposta a gente espera que chegue bem mais fótons no verde que nos outros pelo fato de que ele está bem mais próximo da fonte. E é isto, acho que eu não tenho uma outra resposta.
(77) H2: Sim, eu acho que não chega nos outros porque eles estão bem distantes...
(78) H1: Bem distante.
(79) H2: E o amarelo[verde] tá muito perto do laser e...
(80) H1: No máximo chega um pouco no azul.

- (81) H2: No máximo chegaria bem fraquinho no azul... No máximo bem fraco no azul... Eu acho...
- (82) H1: No máximo, no máximo chega bem fraco no azul...
- (83) H2: E no verde ele vai chegar com mais potência, digamos...
- (84) H1: Ou seja, bem mais no verde que no resto. Por exemplo, se si dividir entre os três certinho, acho que ia mais no verde que no resto.
- (85) H2: Também acho.
- (86) H1: O resto se dissipa. Eu não acho que vá ter uma, m como eu posso falar, contagem de 100% dos fótons nos detectores.
- (87) H2: Sim, e eu também acho que depois do verde vai diminuir muito a potência do laser e isso faz com que chegue bem, bem, menos no amarelo e no azul.
- (88) H1: Na 5, adicionando o 1 ali, o que acontece?
- (89) H2: Acho que ela vai se dividir e os detectores vão detectar a mesma, e os 3 vão ser iguais, vão detectar o mesmo número de fótons.
- (90) H1: Os três vão detectar? Tá... Eu acho que só o azul e o verde vão detectar os negócio e vai ser alternadamente. Acho que mais o verde do que o azul.
- (91) (professor explicando ao fundo)
- (92) H1: É, acho que a gente acertou essa.

Dupla I

(1)I1: Parte da luz do laser vai passar e a outra parte refletir. E a que refletiu vai pro segundo espelho e vai refletir na tela branca. A que passou direto vai bater no espelho e depois refletir no outro espelho e vai bater na tela branca.

(2)I2: O laser vai passar pelo semi-refletor, aí vai ter o primeiro espelho, esse espelho vai refletir no outro espelho, que tá no lado direito do plano e vai refletir na tela branca.

(3)I1: O processo vai ser o mesmo que o primeiro, porém vai ser lento, com fótons.

(4)I2: O laser vai bater no refletor 1 e vai no refletir no espelho 1 e o espelho 1 vai refletir no espelho 2 e bater no semirefletor e vai bater na tela branca e depois na outra tela branca.

(5)(Explicação professor)

(6)I1: Não consigo responder essa. Vai dividir de novo.

(7)I2: Mas por que aquela hora não tinha nada no amarelo?

Dupla J

(1)J1: Nós estamos debatendo sobre a primeira questão, acreditamos que a luz irá sair uma intensidade do aparelho laser.

(2)J2: Daí é o seguinte, a luz vai bater no primeiro espelho que ele é semi-refletor, e aí, o que vai acontecer...

(3)J1: dividir a energia.

(4)J2: Vai dividir a energia. Uma energia vai pra um espelho...

(5)J1: Exatamente.

(6)J2: E daí vai se dividir em dobro...

(7)J1: Exatamente. Daí x...

(8)J2: Porque a luz que foi dividida primeiro vai pra um espelho e a outra luz pro outro espelho. Só que no final essas luzes vão se encontrar porque um espelho tá apontando pro outro.

(9)J1: Bah, pai, na verdade não...

(10) J2: Ou tu acha que...

(11) J1: Na verdade não, ele vai tá num ângulo e eles vão chegar na mesma energia no final, tá ligado? Porque ó assim, vai sair do laser e vai passar no semi-refletor e daí a energia vai chegar $x/2$ naquele lá e $x/2$ naquele lá aí aquele lá como é refletor ele vai refletir todo o $x/2$.

(12) J2: Oh pai, a grande pauta é que aquele espelho lá de cima, ele...

(13) J1: Ele é refletor

(14) J2: Mas ele vai refletir no espelho de baixo ou refletir na tela?

(15) J1: Na tela, né pai.

(16) J2: Por quê?

(17) J1: Porque ele tá no ângulo de reflexão da tela.

(18) J2: Mas ele vai receber uma luz do outro espelho.

(19) J1: Que outro espelho?

(20) J2: O de baixo lá que tá apontando pra ele.

(21) J1: Sim, 50. Daí aqui oh, tá vamos supor que dali saísse 100 do laser.

(22) J2: Vai sair de lá e vai pra lá. Ó, vai um pra lá...

(23) J1: E outro pra lá.

- (24) J2: E outro pra lá [confirmando], só que daí ... Esse daqui, ele vai pra lá.
- (25) J1: Ele não tá apontado pra ir pra lá, tá apontado pra ir pra tela, olha lá.
- (26) J2: Não pai, olha lá, ele ta apontado pra lá...
- (27) J1: Não feio, o ângulo...
- (28) J2: Ah tá.
- (29) J1: Não feio, ele ta assim. O sor, olha só, vamo conversar aqui. Quando...
- (30) J2: O sor, eu acho que vai acontecer uma coisa aqui...
- (31) J1: É que não, olha só, tipo quando o espelho é totalmente refletor ele inverte o lance, né? Tem um lance de inverter, né?
- (32) P: Sempre que o feixe reflete a gente considera que teve um deslocamento de fase.
- (33) J1: Tá, e nesse caso, isso influencia em alguma coisa?
- (34) (explicação professor)
- (35) J1: Tá sor, então vamos supor que saísse 100 ali do laser, ia 50 pra lá e 50 pra tela, seria isso?
- (36) P: A intensidade, tu diz?
- (37) J1: É.
- (38) P: Sim.
- (39) J1: Tá, então eu acho que é isso.
- (40) J2: O sor, pelo que parece aqueles dois espelhos ali vão fazer com que o raio se encontre, antes de chegar na tela eles vão se encontrar.
- (41) (explicação professor)...
- (42) J2: Eles vão se cruzar, isso vai acontecer alguma coisa.
- (43) P: Bah, daí eu não sei... O que é que tu acha? E a tua dupla?
- (44) J2: Depende sor, porque tem uma diferença...
- (45) J1: Tá pai, vamo responder aqui.
- (46) J2: Peraí, deixa eu perguntar para ele [direcionado para J1]... Se for um laser, tipo os laser que a gente compra, eles vão se interferir, se for uma luz não... [direcionado para o professor]
- (47) P: Mas diz ali que é um laser, né?
- (48) J2: Mas aí não vai nem encostar na tela.
- (49) J1: Se encostam sim feio, eles se atravessam, não é que nem a água, se atravessam.
- (50) J2: Putz.
- (51) J1: Eles não tem... É feio, aí é que ta...
- (52) J2: Tá, então eles vão se encontrar...
- (53) J1: Vão chegar na tela no final
- (54) J2: Tá, mas eles vão se encontrar
- (55) J1: Eles vão se encontrar... Respondendo então a questão, ele vai chegar na tela, então dividido pela metade, porque passou pelo semi-refletor. Não sabemos o que vai ocorrer, se é uma construção/obstrução.
- (56) J2: Na verdade eu acho que... Oh o que é que vai acontecer: ele vai se encontrar lá em cima só que parece que um espelho tá apontado pro outro, então...

(57) J1: Não pai, isso daí não... eles tão direcionados pro lance lá, enfim, é isso...

(58) J1: Entramos em divergência novamente. Eu acredito que justamente por serem fótons, nós temos que trabalhar com a probabilidade de 50% de descer e 50% de ir reto, então talvez alguma fonte no final tenha mais fótons do que a outra.

(59) J2: Eu não sou o tipo de pessoa que acredita na verdade absoluta, então eu vou apresentar o meu ponto de vista, que é, eu acho que: como o laser tem uma... uma...

(60) J1: Luminescência...

(61) J2: Ah (risos), não sei (a palavra)... Ele é mais concentrado, então ele chegou bem ali na tela, mas eu acho que se for um fóton ele vai chegar mais fraco na tela ou a luz vai se dispersar no caminho e não vai chegar até a tela.

(62) J1: Fechou todas.

(63) J1: Bom, finalmente se convergimos em uma ideia, então seguinte, adicionando o espelho 2 a gente acha que vai chegar com muito menos...

(64) J2: Ele continua com o mesmo caminho, chegando nas telas, mas com muito menos energia.

(65) J1: Exatamente, ao invés de ser $x/2$, vai ser $x/4$.

(66) J1: A questão de uma imagem ser diferente da outra por causa da interferência construtiva e destrutiva gerada devida a reflexão dos espelho, porque cada vez que reflete a onda muda.

(67) J2: Tá mais fraca né?

(68) J1: É. Como tem a possibilidade de 50% de seguir um caminho e 50% de seguir outro caminho, então tem a chance de uma tela receber mais fótons que a outra e formar uma imagem diferente, mais completinha que a outra.

(69) J2: Eu e meu coleguinha J1 chegamos a outra convergência que a gente concorda em que realmente um dos detectores de fóton vai receber mais fótons do que o outro, porém não é uma quantidade muito significativa é coisa pouca,

(70) J1: É, tipo entre 3 e 10 fótons.

(71) J2: Mas mesmo assim ela não vai ser distribuída exatamente igual, então vai ter um lado que recebe mais fótons que o outro.

(72) J1: Exato.

(73) J1: Adicionando o espelho vai ocorrer a interferência construtiva e destrutiva né, só que o seguinte, existe a possibilidade de um detector receber muito mais fótons que tava recebendo antes, porque aí surge uma nova possibilidade porque tem 50% de chance dele seguir um caminho no primeiro refletor e mais 50% de chance de seguir um outro caminho no segundo refletor.

(74) J2: Então pode ser que agora a oscilação entre o valor da energia seja maior porque tem mais um refletor ali, então pode ser que agora um receba uma quantidade absurdamente maior que a outra.

(75) J1: Exatamente, estávamos contando que fosse entre 3 e 10 fótons, agora pode ser uma diferença muito maior.

(76) J2: Exatamente

(77) J1: E essa é a nossa resposta

(78) J1: Seguinte, nós não sabemos de nada, nossa vida é uma mentira.

(79) J2: Essa questão a gente realmente não sabe nada...

(80) J1: Mas acreditamos que pode chegar nas 3.

(81) J2: Ou eu acho que pode ser que chegue, eu acho, que talvez, chegue só no verde e no azul, porque se não chegou no amarelo antes não tem porque chegar agora.

(82) J1: É, se da última questão não chegou no amarelo, pode se que só chegue no azul e no verde mesmo. Mas justamente porque o problema trabalha com uma probabilidade, então estamos trabalhando com essa chance.

(83) J2: Mas com certeza o verde vai receber uma quantidade muito maior que os outros, porque ele tá quase na frente do bagulho

(84) J1: Exatamente.

Dupla L

- (1)L1: Tá, o que é que a gente tem que fazer?
- (2)L2: O que vai acontecer se a gente tirar o semi-refletor 2, que é esse aqui, ó?
- (3)Professor interagindo com outra dupla: Basicamente é pra vocês preverem o que é que vai aparecer no anteparo.
- (4)L2: Tá, olha só. Vamos pegar o mesmo exemplo, o laser... Olha aqui pô! [Chamando a atenção do colega]. Vamo pegar esse mesmo exemplo do sor. [aparentemente se referindo a uma representação do interferômetro que o professor havia passado em aula].
- (5)Duplas interagindo ao fundo.
- (6)Piteco: O sor, e esse acelerar que tem aqui, pra que que é?
- (7)Professor: Diz respeito a esse botão “acelerar” aqui.
- (8)Chovinista: Tá, mas se apertar nele o que é que acontece?
- (9)Professor: Ele vai acelerar, vai aumentar a emissão dos fótons.
- (10) L2: Tá, então oh. Olha aqui é o laser, certo? Os da ponta são espelho normal.
- (11) L1: Uhum
- (12) L2: Tá, ligou o laser. O laser vai bater no espelho semirefletor, batendo nesse espelho essa onda vai vir pra cá e essa aqui pra cá [ideia da divisão do feixe].
- (13) L1: Aham.
- (14) L2: Agora temos que tirar esse aqui. Olha a gente tirou esse aqui, porque na teoria, essa luz vai bater aqui e vai bater nesse.
- (15) L1: Tá.
- (16) L2: E desse vai bater nesse e daí essa luz aqui vai bater nesse.
- (17) L1: Cara...
- (18) L2: Calma, só te liga.
- (19) L1: Cara, primeiro que isso não era pra tá aqui.
- (20) L2: Era, mas só ignora, finge que tá alinhado entendeu. Tá, beleza. Vai refletir direto na coisa.
- (21) L1: Acho que o áudio não é agora pra gente gravar.
- (22) L2: É sim.
- (23) L1: Mas até agora a gente não concluiu nada.
- (24) L2: Mesmo assim.
- (25) (Múrmurios ao fundo)
- (26) L1: (bucejo) aí que sono...
- (27) L2: Tá, já vamos ver o que a gente acha que acontece quando troca pra fótons.
- (28) L1: E o que são esses fótons mesmo?
- (29) L2: São aquelas partículas de luz, tá ligado?
- (30) L1: Ah, então essa é fácil.
- (31) L2: Ué, por que?
- (32) L1: Porque não vai acontecer nada. A luz não é partícula, é onda. Não tem como acontecer nada.
- (33) L2: (risos) Pois é, eu também acho que a luz seja uma onda...

Dupla K :

Atividade enviada por WHATSAPP

1- O laser irá ser refletido parcialmente no semi-refletor em direção ao espelho q está do seu lado, e parte dele o atravessará e irá direto para o espelho atrás do 1° semi-refletor, fazendo com q o laser toque os dois espelhos e o semi-refletor ao mesmo tempo, criando uma imagem nas telas.

Segunda parte da 1° pergunta: ao ligar como fóton, não irá refletir em tudo, pois ele tem 50% de ser refletido assim como de passar direto pelo semi-refletor, assim a imagem não tem tantas chances de ser nítida como no laser, que temos certeza q atravessará e ser refletido

Parcialmente aconteceu oq esperávamos, no entanto com um fóton a imagem ficou em pontinhos, algo q não esperávamos, mas concluímos que aconteceu por ser uma partícula e não mais uma onda como o laser

2- sai do primeiro semi-refletor e vai para o primeiro espelho sendo refletido e para o segundo espelho, atrás dele, quando o laser o atravessa. Assim é direcionado para o segundo semi-refletor que irá direcionar o laser para as telas. Acreditamos que a imagem ficará mais forte na tela da esquerda. Pois o laser terá sido refletido mais vezes, do q ter atravessado mais semi-refletores. E quando usado o fóton, a imagem também ficará mais nítida na tela da esquerda.

3- vai chegar mais partículas de fótons no detector azul, assim como sempre teve imagem mais nítida na tela da esquerda, onde agora é o detector azul. Pois o fóton será refletido no semi-refletor e direcionado para o espelho o qual irá levar as partículas refletidas no azul. E onde é refletido, tem mais partículas. Aconteceu q no início tinha mais partículas chegando no amarelo e no meio chegou mais partículas no azul e no final o amarelo tinha mais.

4- agora irá começar a ter mais partículas no detector azul, no caso acontecerá o processo inversa da questão 3. Aconteceu que chegou mais partículas no azul e nenhuma no amarelo.