

Apropriação discursiva em Física Quântica: a análise de padrões temáticos de interações discursivas em um curso de formação de professores

Discursive appropriation in Quantum Physics: the analysis of thematic patterns in discursive interactions in a pre-service teachers course

Jader da Silva Netto

Universidade Federal do Rio grande do Sul
jader.neto@bento.ifrs.edu.br

Cláudio José de Holanda Cavalcanti

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
claudio.cavalcanti@ufrgs.br

Fernanda Ostermann

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
fernanda.ostermann@ufrgs.br

Resumo

Este trabalho apresenta resultados de uma pesquisa que investiga o processo de apropriação discursiva do conceito de complementaridade onda-partícula no contexto de um curso de formação de professores de Física. Tomando como marco teórico-metodológico a teoria da mediação de Vygotsky e a filosofia linguística de Bakhtin, estudantes de uma disciplina de Física Moderna realizaram atividades de simulação computacional no Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder, mediadas por roteiros, explorando o fenômeno da interferência quântica. A partir dos enunciados dos estudantes, realizamos uma análise das relações semânticas com base na noção de padrão temático de Lemke. A mediação pelo *software* e roteiro exploratório exerceu um papel fundamental na negociação de padrões temáticos entre os estudantes. Nossas análises mostram que isso contribuiu tanto para o acréscimo de itens temáticos ao discurso quanto para a modificação de relações semânticas, como ocorre com a noção de probabilidade, essencial para a compreensão da complementaridade onda-partícula.

Palavras chave: padrões temáticos, Física Quântica, formação de professores, apropriação discursiva, Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder

Abstract

This paper presents results of a research which investigates the discursive appropriation process of wave-particle complementarity in the context of pre-service physics teachers

course. Considering as theoretical and methodological framework Vygotsky's mediation theory and Bakhtin's linguistic philosophy, students of Modern Physics performed computational simulation activities on the Virtual Mach-Zehnder Interferometer, mediated by exploratory guides, from which they were lead to study the quantum interference phenomenon. From the students' utterances, we performed an analysis of semantic relations grounded on the Lemke's thematic pattern notion. The mediated activity exerted a fundamental role for negotiation of the thematic patterns produced in the discursive interactions. Our analyzes show that this has contributed both to the addition of thematic items to the discourse and to the modification of semantic relations, as occurs with the notion of probability, essential to understand the wave-particle complementarity.

Key words: thematic patterns, Quantum Physics, pre-service teachers, discursive appropriation, Virtual Mach-Zehnder Interferometer

Introdução

A abordagem de temas de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio brasileiro é uma discussão que, desde o início dos anos 1990, despertou grande interesse. Vários são os estudos realizados nesse tema. Inserido nesse contexto, o ensino da Física Quântica (FQ) merece especial atenção. Nessa direção, nosso grupo de pesquisa tem investigado a formação docente nessa área, uma vez que a efetiva abordagem de tais temas nas salas de aulas do Ensino Médio demanda uma série de conhecimentos por parte do professor, envolvendo conceitos cujo processo de apropriação não é trivial. Nesse trabalho, apresentamos os resultados parciais de uma pesquisa que, apoiando-se na perspectiva sociocultural, investiga a apropriação discursiva em FQ, tomando a linguagem como variável de interesse. O contexto analisado neste trabalho envolve estudantes matriculados na disciplina de Física Moderna I, de um curso de Licenciatura em Física em um Instituto Federal, realizando atividades de simulação computacional no Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder (IVMZ).

A partir da teoria da mediação de Vygotsky e de conceitos da linguística bakhtiniana buscamos analisar as interações discursivas entre os estudantes a fim de compreender o processo de apropriação do fenômeno da interferência quântica. Para aprofundar nosso estudo recorreremos à noção de padrões temáticos de Lemke como estratégia para analisar as relações semânticas estabelecidas pelos estudantes em torno da complementaridade onda-partícula.

Em uma das etapas desse estudo, buscamos reconhecer na literatura como a perspectiva semiótica de Lemke vem sendo utilizada nas investigações relacionadas ao ensino de Ciências. A partir da revisão em periódicos nacionais com classificação A1, A2 e B1, nas áreas de Ensino e Educação, compreendendo os últimos dez anos, encontramos apenas sete trabalhos.

Nos trabalhos de Sasseron e Carvalho (2011) e Carmo e Carvalho (2012), o papel da linguagem é explorado a partir da premissa que aprender ciências implica fazer uso da linguagem da ciência, entretanto a abordagem teórica predominante remete a outros autores. Alguns estudos exploram a dinâmica discursiva e analisam as relações e padrões estabelecidos entre os interlocutores dentro de contextos específicos, como Lima Junior, Ostermann e Rezende (2010), Sepulveda e El-Hani (2014) e Jiménez *et al.* (2016). Já os trabalhos relacionados aos aspectos multimodais no ensino de ciências dizem respeito ao

uso de diferentes formas, ou modos, de linguagem (gráfica, oral, escrita, visual) na construção do conhecimento, como Carmo e Carvalho (2009) e Padilha e Carvalho (2011).

Esta revisão da literatura não é suficiente para estabelecermos um quadro detalhado sobre a apropriação pela pesquisa em ensino de ciências da perspectiva semiótica proposta por Lemke. Entretanto, o que se verifica, desde já, é que há poucos trabalhos que a exploram enquanto estratégia metodológica.

Referencial teórico-metodológico

Teoria da mediação de Vygotsky

Na perspectiva da ação mediada de Vygotsky, busca-se compreender, entre outros aspectos, como o domínio de formas socioculturalmente situadas de ação mediada pode levar a formas mais particulares das mesmas no plano intrapsicológico (WERTSCH, 1993). Dada a importância do contexto sociocultural ao conformar e constituir todo processo de desenvolvimento, somado ao fato de que a principal ferramenta mediadora humana é a linguagem, a fala e as interações discursivas acabam por assumir um papel de extrema importância na organização das funções psicológicas superiores.

A interação mediada por ferramentas culturais é que promove o intercâmbio de signos, possibilitando o crescimento intelectual e cultural dos indivíduos (VYGOTSKY, 1994). Nesse contexto, a ação mediada pelo uso da linguagem assume um papel muito importante no nosso estudo sem, entretanto, desconsiderar o caráter mediacional do *software* e dos roteiros exploratórios utilizados na pesquisa. A atividade mediada é reconhecida a partir da unidade formada por estas três ferramentas (linguagem, *software* e roteiros).

A filosofia linguística de Bakhtin

Para o Círculo de Bakhtin, a linguagem é um fenômeno social de interação verbal expresso através de enunciados (BAKHTIN, 2009). Enquanto principal constituinte da interação do homem com o universo de signos, a língua tem como propriedade mais significativa o caráter dialógico, presente em todo processo discursivo e que atua como fonte da produção de sentidos.

Na cadeia de enunciados, além das vozes dos interlocutores, pode-se identificar a presença de vozes discursivas pertencentes ao contexto sociocultural destes e que podem ter origem em diferentes espaços e épocas em que os discursos são construídos. As vozes discursivas resultam da interação nas perspectivas sociais e individuais, de modo que nossas palavras são emprestadas de outros e carregadas de sentidos ideológicos. Esse processo através do qual os enunciados manifestam a presença de outras vozes discursivas é chamado de interanimação de vozes (WERTSCH, 1993).

No processo de compreensão dos enunciados, é como se esses fossem traduzidos, ou reelaborados, em palavras e expressões próprias do vocabulário e do contexto sociocultural de cada interlocutor. Isso configura a associação de contrapalavras que, segundo Bakhtin (2009, p. 137), “[...] quanto mais numerosas e substanciais forem, mais profunda e real é a nossa compreensão”. No contexto pesquisado, tomamos a associação de contrapalavras e seu repertório como aspecto a ser avaliado para investigar tanto os significados que estão em jogo quanto as vozes discursivas presentes.

A estrutura linguística na ciência

Os significados produzidos em qualquer evento discursivo dependem de como os membros de uma comunidade constroem as relações semânticas com outros discursos. Essa intertextualidade será definida pelos tipos de relações construídas entre discursos e do quão fortes são os laços estabelecidos entre estes (LEMKE, 2002).

Para aprofundar nossa investigação sobre a construção de significados em FQ, nos apoiamos na noção de formação temática de Lemke (1983), que compreende os padrões compartilhados e repetidos de relações semânticas, geralmente característicos de um campo do conhecimento. Tais formações consistem em itens temáticos específicos de um contexto e as relações semânticas estabelecidas entre esses.

Esta opção teórico-metodológica considera que os conceitos são apenas itens pertencentes a um tema e nunca são utilizados isoladamente, mas através de conexões entre eles, originando padrões temáticos expressos na forma de redes de relações semânticas (LEMKE, 1990). Isso implica que levar em consideração apenas o significado das palavras no discurso é uma limitação, uma vez que há toda uma relação de significação que acaba negligenciada. Um estudante pode reconhecer, por exemplo, as definições das palavras corrente elétrica, diferença de potencial e resistência elétrica, entretanto, não há garantias de que consiga articulá-las corretamente e compor um enunciado que expresse uma relação de significação coerente com as leis de Ohm. Na perspectiva semiótica de Lemke, o objetivo do ensino de ciências é alcançado (ou seja, ‘falar ciência’) quando os itens temáticos que integram os discursos dos estudantes se relacionam formando estruturas coerentes com aquelas que compõem a linguagem do campo científico.

Especialmente nas disciplinas de FQ introdutória onde os estudantes se deparam com o desafio de adentrar num universo conceitual bastante distinto da Física Clássica, é fundamental analisar não apenas a associação de contrapalavras ou vozes discursivas nos enunciados. Estes enunciados devem ser analisados à luz das relações semânticas que manifestam, a fim de possibilitar que o pesquisador compreenda melhor a dinâmica do processo de construção de significados.

Metodologia

Diferentemente das trocas discursivas em que o professor detém o controle da atividade e que, muitas vezes, fazem com que o padrão temático dos estudantes seja deixado de lado, a atividade de simulação computacional realizada buscou criar um cenário onde estes tenham o controle, permitindo que determinem o ritmo e o curso das suas ações e interações. Desta forma, criou-se um contexto propício à trocas discursivas espontâneas, permitindo ao pesquisador identificar os padrões temáticos em formas mais naturais.

Para investigar as relações semânticas presentes nos enunciados dos estudantes, organizamos um dispositivo analítico, inspirado em Ferraz (2012) e Sepulveda *et al.* (2011), estruturado em seis etapas:

(Etapa 1) caracterização do contexto extraverbal: momento sócio-histórico-cultural em que os interlocutores se situam, caracterizado pelo horizonte espacial compartilhado, pela intersubjetividade entre estes e avaliação comum da situação. A ordem em que esta etapa ocorre não é determinada *a priori*, podendo iniciar antes mesmo da demarcação dos enunciados e se estender até as demais etapas.

(Etapa 2) demarcação dos enunciados: o principal critério de demarcação adotado foi a alternância entre os interlocutores, entretanto, num cenário de trabalho colaborativo

muitas falas podem ser interrompidas ou superpostas. Em alguns casos, a identificação dos enunciados considerou o efetivo encerramento do turno de fala de um interlocutor. (Etapa 3) leitura preliminar dos enunciados: contato inicial do pesquisador com os enunciados sem, obrigatoriamente, analisá-los, procurando identificar as relações destes com a temática proposta aos interlocutores.

(Etapa 4) identificação dos itens temáticos: busca-se reconhecer os elementos (palavras, contrapalavras, conceitos, expressões) presentes nos enunciados a fim de compor o diagrama temático.

(Etapa 5) análise dos enunciados e identificação das relações semânticas: os enunciados são analisados novamente para que se possa identificar quais relações semânticas são estabelecidas entre os itens temáticos pelos interlocutores.

(Etapa 6) representação de diagramas temáticos: consiste em esboçar graficamente as relações semânticas entre os itens temáticos.

Análise dos dados

O contexto extraverbal é caracterizado por estudantes organizados em grupos (três duplas e um trio) e que receberam um roteiro exploratório para realização da simulação computacional no IVMZ¹.

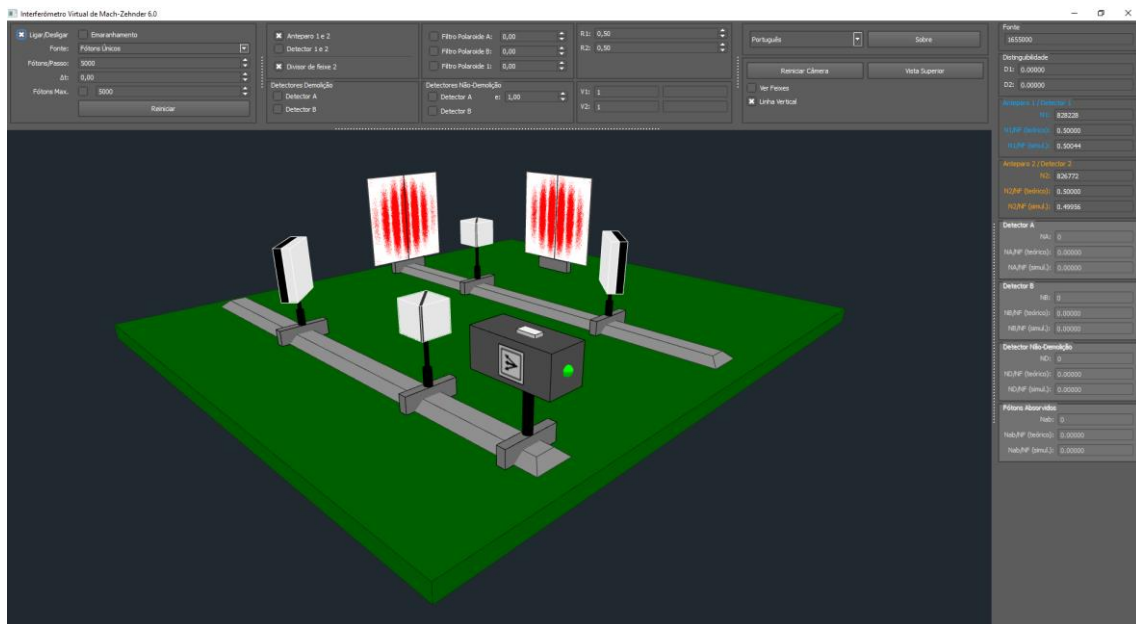


Figura 1: Padrões de interferência obtidos com fótons únicos.

Os estudantes deveriam explorar o fenômeno da interferência quântica a partir dos padrões de detecção formados com a fonte operando em regime monofotônico e com os divisores de feixe balanceados (iguais coeficientes de reflexão e transmissão em cada um). A figura 1 apresenta o *layout* do *software* com os padrões de interferência obtidos

¹ A descrição detalhada dos dispositivos no IVMZ, seja do ponto de vista conceitual ou do formalismo envolvido, pode ser encontrada em outros trabalhos do nosso grupo, como Netto (2015) e Netto, Cavalcanti e Ostermann (2015).

nos anteparos para a situação descrita. Vamos analisar dois episódios envolvendo a dupla E₈E₉.

O primeiro episódio refere-se ao momento em que os estudantes obtêm os padrões de interferência pela primeira vez e buscam explicá-los.

E₉: Aqui [no roteiro] fala em visibilidade. Acho que tem que ver a visibilidade que a figura tem.

E₈: Beleza! ... E daí?

E₉: Daqui a gente consegue saber se é onda ou partícula. ... Aqui tá bem visível.

E₈: Os fótons têm a figura porque sofrem a interferência. Isso que importa, a interferência quântica.

E₉: Sim, é interferência. O que quer saber é de onde vem isso. ... Acho que tem que saber a probabilidade.

E₈: Uma probabilidade de sofrer interferência.

E₉: Mais ou menos isso. ... É a probabilidade que define se a figura vai ser um máximo [de interferência] ou não.

E₈: Será que não tem a ver com aquela história de que se comporta conforme o experimento? ... Acho que só acontece porque o fóton é uma onda-partícula.

E₉: Não, não é isso. Pra mim, o segredo é a probabilidade do fóton chegar [no anteparo] e dar uma franja ou ser um mínimo.

O conceito de visibilidade é empregado no enunciado de E₉ com auxílio da contrapalavra ‘visível’ para se referir a um padrão de interferência com bom contraste, estando associado ao caráter ondulatório do fenômeno. O estudante E₈, em dois momentos, utiliza expressões que não estavam presentes em nenhuma das interações anteriores com o colega. Enunciados como “*têm a figura porque sofrem a interferência ...*” e “*... só acontece porque o fóton é uma onda-partícula.*” aproximam-se mais de uma forma de discurso citado (vozes discursivas de livros didáticos ou outros professores, por exemplo) do que sinalizam alguma compreensão do problema. Seu último enunciado, inclusive, não parece esboçar uma interação com o colega, mas uma pergunta que busca apenas organizar a sequência de sua fala.

O estudante E₉ preocupa-se em entender a origem do fenômeno argumentando em torno das probabilidades envolvidas, restringindo-se à probabilidade de detecção em determinadas regiões dos anteparos para formar as franjas de interferência, praticamente desconsiderando o restante do aparato envolvido.

O diagrama temático da figura 2 representa as relações semânticas estabelecidas, principalmente, a partir dos enunciados de E₉. Embora os enunciados sejam o produto da interação discursiva com o colega e analisá-los separadamente possa parecer artificial, optamos por considerar o diagrama temático como relativo prioritariamente aos enunciados de E₉, em função do conteúdo dos mesmos. Enquanto os enunciados de E₈ expressam basicamente dúvidas ou simples concordância, E₉ procura dar explicações e o caráter assertivo das mesmas torna mais evidentes as relações semânticas² que ele estabelece.

² As relações semânticas construídas neste texto estão representadas pelas seguintes abreviaturas: Po/At (Portador/Atributo), Ps/Pr (Passivo/Processo), Ator/Pr (Ator/Processo), Rs/Pr (Resultado/Processo), It/Cnd (Item condicionado/Condição), Cs/Pr (Causa/Processo), Hip (Hiponímia) e Co-hip (Co-hiponímia).

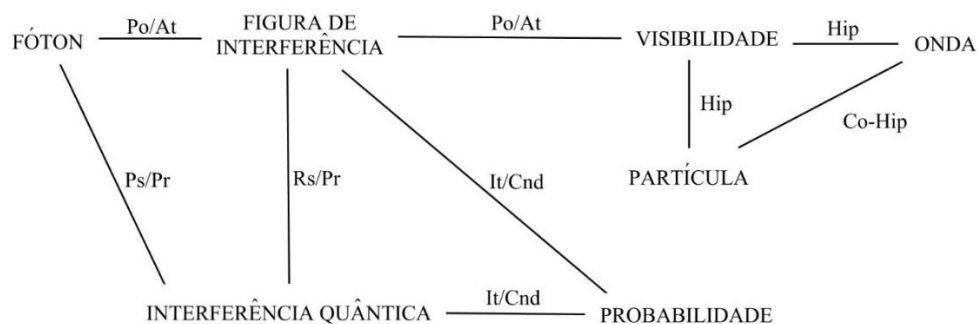


Figura 1: Diagrama temático das explicações do estudante E₉.

A probabilidade de detecção em determinadas regiões dos anteparos, cuja gênese não é mencionada nos enunciados, é encarada como uma condição (It/Cnd) para a ocorrência da interferência quântica. Este fenômeno é um processo que ocorre sobre o fóton (Ps/Pr), que é portador de uma propriedade (“*eles têm a figura de interferência*”). Este atributo, que é o resultado de um processo (formação do padrão de interferência quântica) pode ser revelado sob determinadas condições, ou seja, depende das probabilidades envolvidas (item condicionado).

Como forma de caracterizar a natureza da luz, onda e partícula são considerados hipônimos³ de visibilidade, uma vez que os estudantes admitem que a figura de interferência possui uma visibilidade característica. A noção de que o valor da visibilidade pode indicar a natureza corpuscular ou ondulatória do fenômeno é que conduz, implicitamente e de modo equivocado, a essa relação semântica. Nesse sentido onda e partícula teriam uma relação de co-hipônimos entre si.

A figura de interferência é reconhecida como tendo natureza probabilística, entretanto, essa característica não é atribuída ao fenômeno que produz tal figura. Embora os estudantes estejam falando do padrão de detecções e não do fenômeno físico que gera esse padrão, há uma contradição ao considerar que o fóton já carrega consigo uma propriedade bem definida (um padrão de interferência) permanecendo a ideia de que esse padrão já está determinado *a priori*. A probabilidade mencionada pelos estudantes se refere à detecção em certas regiões dos anteparos e não àquela introduzida pelos divisores de feixe e diferenças de caminho, processos que não aparecem nos enunciados. Também verifica-se que os estudantes não estabelecem nenhuma relação semântica entre probabilidade e visibilidade.

O segundo episódio corresponde à continuidade da atividade, após os estudantes terem utilizado detectores demolição nos braços do interferômetro (para se certificarem que não há detecções simultâneas) e tomado contado com o conceito de distinguibilidade (informação disponível sobre caminho no interferômetro).

E₈: Como que tu faz pra saber o caminho?

E₉: Tem que ver a probabilidade em cada divisor, óh. ... Nesse aqui vai pra cá.

E₈: Por causa da probabilidade maior nesse lado.

E₉: Isso. Só que tem que considerar os dois divisores pra saber o que vai dar no final.

E₈: Hu::m. ... Mas não quer dizer que vai ser com certeza.

E₉: Não. É uma probabilidade aqui e outra aqui e daí isso vai se somar. ... O segredo é que daí vai ter aqui óh, informação sobre caminho.

E₈: Acho que o que define isso é que é onda-partícula.

³ A palavra felino, por exemplo, é mais geral do que a palavra gato e, assim, diz-se que nessa relação gato é um hipônimo e felino um hiperônimo.

E₉: É uma característica dos fótons.

E₈: Se fosse só partícula não ia ter interferência.

E₉: Sim, eu concordo, mas é que tem que ver aqui. ... É que daí tem informação do caminho.

E₈: Só quando é partícula?

E₉: Isso. É mais ou menos assim: tendo a informação dá pra saber o caminho, então tá lidando com partícula e fica uma figura mais borradinha.

E₈: Agora tá fazendo sentido.

Mesmo que E₈ insista em reduzir a discussão à afirmação de que o caráter dual da luz é o aspecto principal, sem investigar outras possibilidades, ele procura interanimar mais sua voz com a do colega. As noções de probabilidade e visibilidade dos padrões de interferência parecem ter importância maior, visto que a primeira é incorporada nos seus enunciados e a segunda é alvo de concordância explícita, conforme mencionado ao final do diálogo. O estudante E₉ traz contribuições importantes para a discussão, chamando atenção para a existência de informação disponível sobre caminho e também para as probabilidades relacionadas aos divisores de feixe. A análise mais ampla, se estendendo para além da simples observação dos anteparos, pode ser atribuída à mediação com o roteiro exploratório que, aos poucos, introduz questionamentos que exigem que os estudantes estejam atentos a outros aspectos.

A figura 3 ilustra o diagrama temático relativo à dupla de estudantes no que podemos caracterizar como sendo a negociação de um padrão temático. Tal afirmação torna-se possível pela própria dinâmica envolvida na produção dos enunciados, onde E₈ se depara com uma explicação que realmente parece ter algum significado para ele.

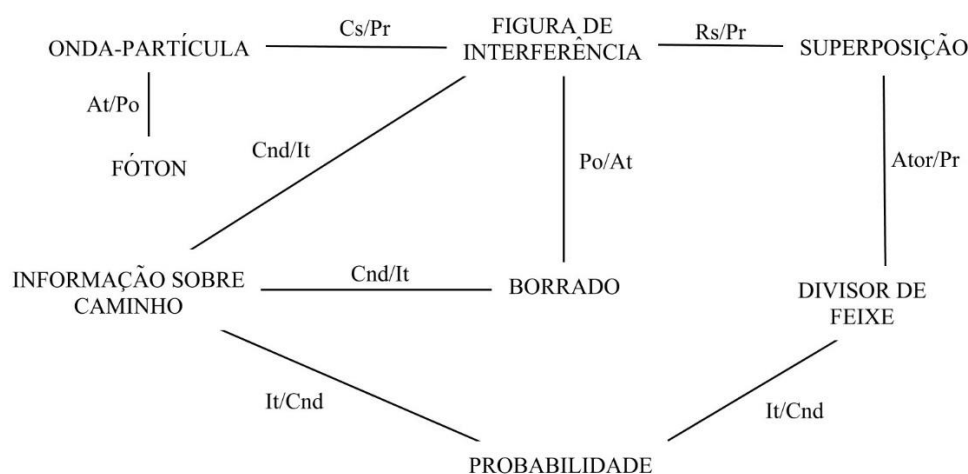


Figura 3: Diagrama temático da interação entre E8 e E9.

A noção de probabilidade é reconhecida como algo estabelecido (item condicionado) pelos divisores de feixe e consiste em uma condição para obter informação disponível sobre caminho. Os divisores de feixe são considerados os responsáveis (Ator) pela superposição das probabilidades envolvidas, um processo (Pr) cujo resultado (Rs) é a formação das figuras de interferência. A formação dessas figuras é vista como um processo (Pr) cuja causa (Cs) é o caráter dual da luz, que é um atributo dos fótons. Ou seja, o caráter dual da luz é que pré-determina a formação dos padrões nos anteparos. Por outro lado, quando os estudantes se referem à caracterização dos padrões de interferência, consideram que estes podem ser portadores de um atributo (borrado), de modo que a informação sobre caminho é a condição a ser considerada para compreender os mesmos. Há aqui um importante salto qualitativo que precisa ser destacado. De uma relação de hiponímia frente ao conceito de visibilidade, o comportamento dual do fóton passou a ser

visto como causa da interferência quântica. Assim que foi introduzido o conceito de distinguibilidade os estudantes parecem ter evocado relações semânticas mais sofisticadas. O conceito de distinguibilidade poderia ser considerado um hiperônimo de onda e partícula, semelhante ao que ocorreu com a visibilidade no diagrama temático da figura 2, caso os estudantes mantivessem o mesmo padrão temático. Isso concorda com argumento de Wertsch, segundo o qual um dos objetivos da boa instrução é “auxiliar os alunos a se tornarem fluentes em um sistema de signos” (WERTSCH, 2007, p. 186).

Pode-se observar um expressivo aumento na quantidade de itens temáticos presentes nos enunciados, o que é de se esperar dada a constante interação dos estudantes com a simulação e com o roteiro. Entretanto, não é apenas esse aumento que devemos analisar, tendo considerável importância o tipo de relações estabelecidas. Estas, por sua vez, mostram que o roteiro e o *software*, ao atuarem como ferramentas mediadoras introduzem novos termos e conceitos ao discurso e despertam o estabelecimento de novas relações semânticas, propiciando uma dialogicidade que, se bem conduzida, pode levar a uma rica experiência de aprendizado.

Considerações finais

Para Lemke (1998a), todo letramento (aqui entendido como prática discursiva social) é multimidiático, na medida em que os signos não são construídos isoladamente, exigindo outros elementos (escritos, visuais ou sonoros) para sua compreensão. Assim, a atividade mediada pelo *software* e roteiro parece ter exercido muito bem este papel, possibilitando, de diferentes formas (observação dos anteparos, compreensão do papel de cada dispositivo no interferômetro), que os estudantes comecem a se apropriar de conceitos importantes para compreender o fenômeno da interferência quântica.

A análise dos enunciados possibilita identificar a presença de conceitos importantes (probabilidade, visibilidade dos padrões de interferência, distinguibilidade, caráter dual atribuído ao fóton), entretanto, é na representação dos diagramas temáticos que identificamos mais claramente as relações semânticas estabelecidas entre esses conceitos. A noção de probabilidade, por exemplo, que no diagrama temático da figura 2, parece refletir outras vozes discursivas, numa forma de discurso citado, passa a se integrar ao discurso na forma de relações que são determinantes para a compreensão da complementaridade onda-partícula.

Consideramos que a representação e análise de diagramas temáticos, ao evidenciarem as relações semânticas que se estabelecem no discurso, merecem mais atenção na pesquisa em ensino, pois permitem complementar e aprofundar ainda mais os estudos envolvendo análises discursivas. Conforme verificamos, as relações estabelecidas entre conceitos podem representar tanto apropriações discursivas coerentes quanto equivocadas, entretanto, essa constatação resulta da análise semântica dos diagramas temáticos e não da análise bakhtiniana. Nesse sentido, a análise semântica em conjunto com a análise bakhtiniana pode possibilitar análises discursivas mais profundas e constitui-se em uma importante recomendação de natureza teórico-metodológica para a pesquisa na área.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro que custeou o desenvolvimento das novas versões do *software*. O primeiro autor agradece o apoio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul e à Capes pela bolsa de estudos.

Referências

- BAKHTIN, M. M. **Marxismo e Filosofia da Linguagem: problemas fundamentais do método sociológico na ciência da linguagem**. 13. ed. São Paulo: Hucitec, 2009.
- CARMO, A. B.; CARVALHO, A. M. P. Construindo a linguagem gráfica em uma aula experimental de física. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 1, p. 61-84, 2009.
- _____. Múltiplas linguagens e a Matemática no processo de argumentação em uma aula de Física: análise dos dados de um laboratório aberto. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 1, p. 209-226, 2012.
- FERRAZ, G. **Perspectivas de professores de Física sobre as políticas curriculares nacionais para o ensino médio**. (2012). 124 f. Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Saúde (Mestrado) – NUTES, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- JIMÉNEZ, J. P. C.; MELO, G.; BACIGALUPO, F.; MANGHI, D. Olas de significado en la interacción profesor-alumno: análisis de dos clases de Ciencias Naturales de un 6to de primaria. **Ciência & Educação**, v. 22, n. 2, p. 335-350, 2016.
- LEMKE, J. L. Thematic analysis: Systems, Structures, and Strategies. **Semiotic Inquiry**, v. 3, n. 2, p. 159-187, 1983.
- _____. **Talking Science: language, learning and values**. Westport, Connecticut: ABLEX Publishing, 1990.
- _____. Metamedia literacy: transforming meanings and media. In: REINKING, D.; MCKENNA, M. C.; LABBO, L. D.; KIEFFER, R. D. (Eds.). **Handbook of literacy and technology : transformations in a post-typographic world**. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1998a. Cap. 17. p. 312-333.
- _____. Multiplying Meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. In: MARTIN, J. R.; VEEL, R. (Eds.). **Reading Science: Critical and functional perspectives on discourses of science**. Londres: Routledge, 1998b. Cap. 5. p. 87-114.
- _____. Ideology, Intertextuality and the Communication of Science. In: FRIES, P. H.; CUMMINGS, M.; LOCKWOOD, D.; SPRUIELL, W. (Eds.). **Relations and functions within and around Language**. London: Continuum, 2002. Cap. 2. p. 32-55.
- LIMA JUNIOR, P.; OSTERMANN, F.; REZENDE, F. Liderança e Gênero em um debate acadêmico entre graduandos em Física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 10, n. 1, p. 1-16, 2010.
- NETTO, J. S. **Complementaridade onda-partícula e emaranhamento quântico na formação de professores de Física segundo a perspectiva sociocultural**. (2015). 311 f. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (Doutorado) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- NETTO, J. S.; CAVALCANTI, C. J. H.; OSTERMANN, F. Estratégias discursivas adotadas por professores em formação na compreensão do fenômeno da complementaridade em atividades didáticas mediadas pelo interferômetro virtual de Mach-Zehnder. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 15, n. 2, p. 293-320, 2015.
- PADILHA, J. N.; CARVALHO, A. M. P. Relações entre os gestos e as palavras utilizadas durante a argumentação dos alunos em uma aula de conhecimento físico. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 10, n. 2, p. 25-40, 2011.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Uma análise de referências teóricas sobre a estrutura do argumento para estudos de argumentação no ensino de Ciências. **Ensaio-Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 3, p. 243-262, 2011.

SEPULVEDA, C.; EL-HANI, C. N. Obstáculos epistemológicos e sementes conceituais para a aprendizagem sobre adaptação: uma interpretação epistemológica e sociocultural dos desafios no ensino de evolução. **Acta Scientiae**, v. 16, n. 2, p. 237-263, 2014.

SEPULVEDA, C.; REIS, V. P. G. S.; ALMEIDA, M. C.; CARNEIRO, M. C. L.; AMARANTE, A. L. A. C. P.; EL-HANI, C. N. Uma ferramenta sociocultural de análise da apropriação da linguagem social da ciência escolar. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, VIII, Campinas. 2011.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. 5. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1994.

WERTSCH, J. V. **Voces de la mente: un enfoque sociocultural para el estudio de la acción mediada**. Madrid: Visor Distribuciones, 1993.

_____. Mediation. In: DANIELS, H.; COLE, M. (Eds.). *The Cambridge Companion to Vygotsky*. New York: Cambridge University Press, 2007. Cap. 7. p. 178-192.