

# PADRÕES TEMÁTICOS EM FÍSICA QUÂNTICA: O QUE REVELAM OS ENUNCIADOS DOS PROFESSORES?

Jader da Silva Netto

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul*

*Universidade Federal do Rio Grande do Sul*

**RESUMO:** A Física Quântica vem atraindo interesse nos currículos escolares, mas sua inserção efetiva na sala de aula requer uma série de conhecimentos por parte do professor. Nesse contexto, o ensino da teoria quântica é um tema que precisa ser investigado mais profundamente para se avançar na compreensão de aspectos que contribuem de modo mais significativo nos processos de formação docente neste tópico em especial. Neste trabalho, analisamos padrões temáticos de interações discursivas entre estudantes de um curso de formação inicial de professores, num cenário em que exploram o fenômeno da interferência quântica via simulação computacional. Os resultados apontam o compartilhamento de significados atrelados a uma perspectiva clássica para interpretação do fenômeno, dificultando o reconhecimento de propriedades quânticas fundamentais.

**PALAVRAS-CHAVE:** padrões temáticos, ensino de Física Quântica, formação de professores.

**OBJETIVOS:** O papel da linguagem no processo de ensino e aprendizagem já é objeto de estudo há bastante tempo na pesquisa em Ensino de Ciências. As investigações sob a perspectiva sociocultural têm trazido contribuições importantes para esse tema. A filosofia linguística de Bakhtin (2009), por exemplo, permite compreender como a linguagem assume um papel importantíssimo em contextos didáticos. Deve ser reconhecida não como um sistema abstrato de formas e regras linguísticas, mas como fenômeno social de interação verbal expresso como cadeias de enunciados.

A discussão sobre como a linguagem é moldada pelos diversos contextos socioculturais, pautada na perspectiva semiótica de Lemke (1987, 2001), traz importantes contribuições sobre o entendimento da estruturação dos conceitos na aprendizagem em ciências. Aprender ciências implica aprender a falar ciência, ou seja, adquirir fluência na linguagem da ciência, o que requer o reconhecimento e o domínio de formas especializadas de utilização da linguagem (Lemke, 1990). Nesse processo, o papel do professor é fundamental, uma vez que se espera que este pertença a uma comunidade de pessoas que se comuniquem utilizando essa linguagem, mas que em dado momento interagem com os estudantes, que usam uma linguagem própria para dar significado a conceitos científicos. Nesse sentido, Lemke afirma que comunicar ciência não é um processo fácil e defende que devemos reconhecer seu ensino a partir de uma perspectiva social, introduzindo aos poucos os estudantes na comunidade que fala ciência. Mais do que reconhecer os significados das palavras, é preciso desenvolver a capacidade de articulá-los corretamente e estabelecer relações com os contextos em que são utilizados.

Neste trabalho, analisamos as interações discursivas de uma dupla de estudantes de uma disciplina de Física Moderna ao iniciarem uma atividade de simulação computacional do fenômeno da interferência quântica na simulação computacional realizada no Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder (IVMZ, um *software* produzido pelo nosso grupo de pesquisa). As análises estão fundamentadas na filosofia da linguagem de Bakhtin (2009) e foram realizadas com base na representação de diagramas temáticos (Lemke, 1990), a partir dos quais buscou-se reconhecer as relações semânticas estabelecidas.

## MARCO TEÓRICO

O dialogismo, um dos pilares do pensamento do Círculo de Bakhtin, representa as relações discursivas entre o homem e o mundo, constituindo um princípio da produção de sentidos no discurso. O sujeito não é a única fonte das palavras que diz, uma vez que sua constituição ocorre através de um processo dinâmico, segundo uma perspectiva histórico-social. Na interação discursiva, a compreensão dos enunciados é evidenciada quando um interlocutor os reelabora a partir de suas palavras e entonações, empregando recursos linguísticos particulares. O repertório de palavras associadas ao enunciado permite que cada interlocutor ressignifique o discurso produzindo novos sentidos e revelando uma carga sociocultural própria que pode ser determinada, por exemplo, por suas crenças ou ideologias. A variedade de contrapalavras associadas aos enunciados é uma via importante para se investigar os significados em jogo. Ao responder um enunciado retoma-se a fala de outro, para contestá-lo ou estabelecer um consenso. Reelabora-se o enunciado, seja por meio da apropriação de palavras alheias ou pela sua simples repetição sem evidenciar a efetiva compreensão do seu conteúdo. Particularmente na FQ introdutória, onde muitos estudantes podem se encontrar numa zona de transição entre dois universos bastante distintos (o clássico e o quântico), analisar somente a associação de contrapalavras pode conduzir o pesquisador a conclusões equivocadas.

Para aprofundar nossa investigação sobre a construção de significados nesse cenário nos apoiamos na análise de padrões temáticos. O que dá suporte à esta escolha é o fato de que os conceitos são apenas itens pertencentes a um tema e nunca são utilizados isoladamente, mas através de conexões entre eles, originando tais padrões na forma de redes de relações semânticas (Lemke, 1990). Apenas reconhecer o significado das palavras no discurso não é o bastante, uma vez que há toda uma relação de significação entre elas que precisa ser considerada. Um estudante pode reconhecer, por exemplo, as definições de “força”, “aceleração” e “velocidade”, entretanto, isso não garante que este consiga articulá-las corretamente para compor um enunciado coerente do ponto de vista do conhecimento físico. Tais palavras, inclusive, podem ser expressas a partir de diferentes nomes ou expressões, o que corresponderia a contrapalavras segundo a perspectiva bakhtiniana, de modo que se referir a itens temáticos é mais consistente. Quando a forma como esses itens temáticos se relacionam está alinhada com aquela construída no âmbito científico, pode-se inferir que o padrão temático produzido corresponde a “falar ciência”. Este é o objetivo primordial do ensino de ciências segundo Lemke (ensinar os estudantes a utilizarem a linguagem e as relações semânticas da ciência) e Wertsch (2007).

## METODOLOGIA

### Contexto de realização da pesquisa e coleta de dados

A pesquisa envolveu nove estudantes de Licenciatura em Física do Instituto Federal do Rio Grande do Sul matriculados em uma disciplina de Física Moderna do 6º semestre do curso. Esta disciplina

consiste no primeiro contato formal dos estudantes com a Física do século XX e foi conduzida sob um enfoque mais conceitual.

Os estudantes estavam organizados em três duplas e um trio, escolhidos livremente, e iniciaram uma atividade de simulação computacional no IVMZ. Nesta atividade, orientada por roteiros exploratórios, buscava-se simular o fenômeno da interferência quântica (ver Fig. 1). Os diálogos entre os estudantes, propiciados a partir da interação com a simulação computacional e com os roteiros, foram gravados em áudio e transcritos para posterior análise de enunciados.

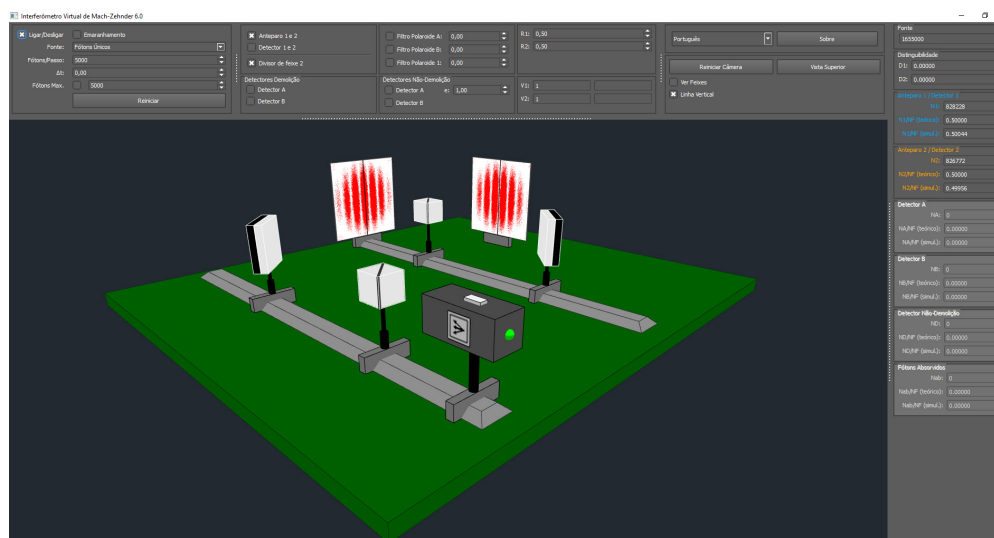


Fig. 1. Simulação da interferência quântica no IVMZ (o anteparo 1 está à esquerda e o 2 à direita)

Na Fig. 1, além da fonte e dos anteparos nas saídas do interferômetro, há dois divisores de feixe ( $BS_1$ , logo após a fonte, e  $BS_2$ , imediatamente antes dos anteparos) e dois espelhos ( $M_1$  e  $M_2$ ).

A interferência quântica pode ser explorada no IVMZ a partir de diversos cenários, por exemplo, com a inserção de filtros polaroides e detectores (demolição e não-demolição) ou alteração dos coeficientes de reflexão e transmissão dos divisores de feixe. Vamos nos restringir ao caso mais simples no qual a fonte opera em estado monofotônico (um fóton é emitido de cada vez) e ambos os divisores de feixe estão balanceados (o coeficiente de reflexão é numericamente igual ao de transmissão em cada divisor de feixe, ou seja, ambos valem 0,50).

## Tratamento e análise dos dados

Segundo Lemke (1990), o diálogo na sala de aula de ciências procura reproduzir os padrões temáticos que constituem o campo científico. Buscamos investigar as relações semânticas estabelecidas pelos estudantes a partir dos padrões temáticos que elas exibem e o quanto contribuem para o “falar cientificamente” em FQ. Para analisar as interações discursivas após a transcrição das gravações, estabelecemos uma estratégia inspirada em Ferraz (2012) e Sepulveda *et al.* (2011), estruturada em seis etapas.

1. demarcação dos enunciados: o principal critério adotado foi a alternância entre os interlocutores, entretanto, no cenário de trabalho colaborativo muitas falas podem ser interrompidas ou superpostas. Em alguns casos, a identificação do enunciado considerou o efetivo encerramento do turno de fala do interlocutor.

2. leitura preliminar: contato inicial do pesquisador com os enunciados sem, obrigatoriamente, analisá-los, para identificar as relações destes com o tema em estudo.
3. caracterização do contexto extraverbal: momento sócio-histórico-cultural em que os interlocutores se situam, caracterizado pelo horizonte espacial compartilhado, pela intersubjetividade entre os interlocutores e pela avaliação comum da situação. A ordem em que esta etapa ocorre não é fixa, podendo iniciar antes mesmo da demarcação dos enunciados e se estender até as demais.
4. identificação dos itens temáticos: reconhecimento dos elementos (palavras, contrapalavras, conceitos, expressões) presentes nos enunciados e que podem compor o diagrama temático;
5. análise dos enunciados e identificação das relações semânticas: busca-se identificar quais são as relações entre os itens temáticos estabelecidas pelos interlocutores
6. representação de diagramas temáticos: etapa onde se esboça graficamente as relações semânticas.

## RESULTADOS

Na transcrição dos enunciados, as palavras entre colchetes se referem a anotações do pesquisador para facilitar a compreensão da interação discursiva e os três pontos sinalizam uma pequena pausa nas falas. Optamos por apresentar a análise dos enunciados da dupla  $E_1E_2$ .

$E_1$ : Acho que esse aqui divide a luz [BS<sub>1</sub>].

$E_2$ : Faz sentido. É um divisor de feixe. O desenho é igual ao das fendas.

$E_1$ : De interferência né. Sempre fica assim. Só tô em dúvida de como faz a figura.

$E_2$ : Ora, dividindo a luz.

$E_1$ : Sim, mas é que aqui tá emitindo partícula. ... Fótons.

$E_2$ : Então... o fóton se divide pra cá e pra cá [BS<sub>1</sub>].

$E_1$ : Estranho.

$E_2$ : Eu entendi assim: ele divide o fóton pra cá e pra cá e o outro divisor manda pra um lado e pro outro.

$E_1$ : Daí ele não divide também?

$E_2$ : Divide e soma. O que interessa é que vai acumulando [os fótons] e formando figuras.

$E_1$ : Tá confuso.

$E_2$ : O fóton é onda e partícula e daí vai formando a figura.

$E_1$ : Igual as ondas?

$E_2$ : Isso, por dualidade.

Identificamos os seguintes itens temáticos: figura de interferência, dupla fenda, fóton, partícula, onda, dualidade, acúmulo, divisor de feixe, soma e divisão.

A apresentação das relações semânticas ocorre entre pares de itens temáticos e estão indicadas no diagrama da Fig. 2 a partir das seguintes abreviaturas: Po/At (Portador/Atributo), It/Cnd (Item temático condicionado/Condição), Ator/Pr (Ator/Processo), Ps/Pr (Passivo/Processo), Pr/Rs (Processo/Resultado), Cs/Pr (Causa/Processo) e MdSext (Mediação semiótica de contexto externo).

Embora os itens temáticos pertençam ao cenário envolvendo dois interlocutores, optamos por considerar que o padrão temático se refere primordialmente ao estudante  $E_2$ , já que seus enunciados têm um caráter mais explicativo quando comparado aos de  $E_1$ .

A partir de uma relação atributiva, o fóton é reconhecido como portador dos atributos onda, partícula e dualidade. A formação da figura de interferência nos anteparos é condicionada à dualidade (condição), reconhecida como atributo da partícula (fóton). A figura de interferência, que é igual a obtida no experimento da dupla fenda (mediação semiótica de contexto externo), é resultado (Rs) de um processo

(Pr) de acúmulo de fótons nos anteparos e condicionada (It) ao carácter ondulatorio do fóton (Cnd). O fóton é considerado ator e também passivo (Ps) de um processo (Pr) de divisão. O interlocutor considera que o fóton age sobre ele mesmo, uma vez que “se divide”. Esse processo, assim como a soma (provavelmente uma contrapalavra para superposição) tem como causa (Cs) a presença do divisor de feixe. Tanto a divisão do fóton quanto a soma são processos cujo resultado (Rs) é a formação da figura de interferência.

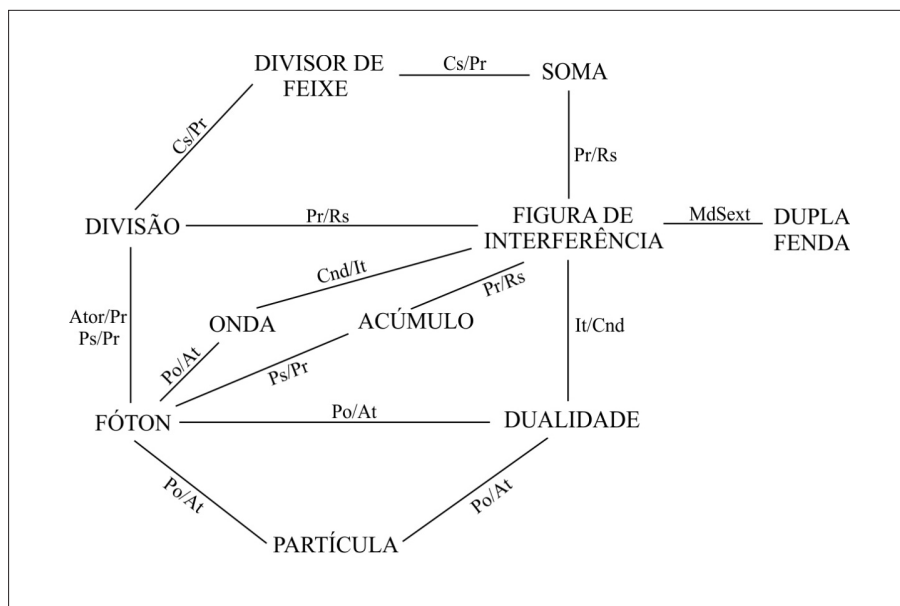


Fig. 2. Padrão temático dos enunciados do estudante  $E_2$

Os enunciados revelam, parcialmente, o reconhecimento de algumas propriedades importantes envolvidas, como a dualidade. Segundo  $E_2$  é esta propriedade que permite às partículas exibirem um padrão de interferência, que é uma característica ondulatoria, embora o termo tenha mais a aparência de discurso citado. Esses enunciados remetem a outros discursos com que o estudante pode ter tomado contato, visto que há uma imediata relação com o experimento da dupla fenda, que contribui para construir uma explicação.

## CONCLUSÕES

As relações semânticas estabelecidas por  $E_2$  evidenciam uma série de processos (divisão, soma e acúmulo) que envolvem os fótons e que não são devidamente compreendidos pelos estudantes. A noção de partícula clássica parece predominar no discurso, dada a forma como se admite a possibilidade de divisão e soma (ou reconstrução) do fóton. Um caráter animista também se manifesta nas relações estabelecidas, já que divisão e soma (processos que ocorrem nos divisores de feixe) parecem ser governados pelo próprio fóton, desconsiderando-se o caráter probabilístico envolvido.

A identificação e compreensão das relações semânticas por parte do pesquisador não é simples, uma vez que estas podem ter raízes mais profundas, ligadas às crenças dos estudantes ou ao processo de escolarização. No ensino da FQ, é preciso estar atento não apenas aos conceitos (ou itens temáticos) envolvidos, mas na forma como se articulam já que os mesmos conceitos podem se vincular à diferentes interpretações e visões epistemológicas. Avaliar padrões temáticos pode constituir uma estratégia valiosa e consideramos que tanto a comunidade de ensino quanto de pesquisa podem se valer mais deste recurso.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo suporte financeiro que possibilitou custear o desenvolvimento das novas versões do *software*. O primeiro autor agradece o apoio do Instituto Federal do Rio Grande do Sul e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de estudos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKHTIN, M. M. (2009). *Marxismo e Filosofia da Linguagem: problemas fundamentais do método sociológico na ciência da linguagem*. São Paulo: Hucitec.
- FERRAZ, G. (2012). *Perspectivas de professores de Física sobre as políticas curriculares nacionais para o ensino médio*. (Mestrado Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Saúde), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- LEMKE, J. L. (1987). Talking Science: Content, Conflict, and Semantics. *AERA Annual Meeting-Educational Research and the Disciplines*, Washington.
- (1990). *Talking Science: language, learning and values*. Westport-Connecticut: ALEX Publishing.
- (2001). Articulating Communities: Sociocultural Perspectives on Science Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), 296-316.
- SEPULVEDA, C., REIS, V. P. G. S., ALMEIDA, M. C., CARNEIRO, M. C. L., AMARANTE, A. L. A. C. P., & EL-HANI, C. N. (2011). Uma ferramenta sociocultural de análise da apropriação da linguagem social da ciência escolar. *Atas do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Campinas.
- WERTSCH, J. V. (2007). Mediation. In H. Daniels & M. Cole (Eds.), *The Cambridge Companion to Vygotsky* (pp. 178-192). New York: Cambridge University Press.