
ANÁLISE DISCURSIVA NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES: UMA DISCUSSÃO CONCEITUAL SOBRE FÍSICA QUÂNTICA MEDIADA POR UM INTERFERÔMETRO VIRTUAL DE MACH-ZEHNDER.

DISCOURSIIVE ANALYSIS IN A TEACHER PREPARATION COURSE: A CONCEPTUAL DISCUSSION IN QUANTUM PHYSICS MEDIATED BY A VIRTUAL MACH-ZEHNDER INTERFEROMETER

Alexsandro P. Pereira¹, Fernanda Ostermann², Cláudio Cavalcanti³

¹UFRGS/ Doutorado em Ensino de Física/ Instituto de Física/ alexsandro.pereira@ufrgs.br

²UFRGS/ Departamento de Física/ Instituto de Física/ fernanda.ostermann@ufrgs.br

³UFRGS/ Departamento de Física/ Instituto de Física/ claudio.cavalcanti@ufrgs.br

Resumo

Esse trabalho apresenta uma análise do discurso de seis estudantes universitários em atividades com um *software* que simula o interferômetro de Mach-Zehnder. Esse estudo foi desenvolvido junto a uma disciplina da sétima etapa do curso de Licenciatura em Física da UFRGS, durante o segundo semestre de 2007. O objetivo foi analisar as tensões nos enunciados dos alunos à luz do referencial sociocultural e avaliar em que medida os significados em física quântica são criados e desenvolvidos em sala de aula por meio do uso da linguagem e de instrumentos semióticos. Foi possível identificar que: (a) em atividades colaborativas com outros colegas, um dos alunos sempre assume a função do parceiro mais capaz; (b) essa função é conquistada mediante uma disputa ideológica que define as relações de poder e autoridade no grupo durante a atividade; (c) as explicações do parceiro mais capaz são sempre constituídas de fala egocêntrica; (d) as ações mediadas pelo uso do interferômetro virtual possibilitaram a criação da zona de desenvolvimento proximal, viabilizando a construção e a negociação de significados em física quântica.

Palavras-chave: análise discursiva; conceitos de física quântica, interferômetro de Mach-Zehnder; formação inicial de professores.

Abstract

This paper presents an analysis of six university students' utterances in activities mediated by a computer program, which simulates the Mach-Zehnder interferometer. This investigation has been developed in a seventh level discipline of a Bachelor Degree Course in Physics Education, in the Federal University of Rio Grande do Sul, during the second semester of 2007. The aim was to analyze the tensions in student's speech, investigating how meanings in quantum physics were create and develop by the using of language and semiotic instruments. It was possible to identify that: (a) in collaborate activities, one of the students always assumes the roll of "most expert classmate", (b) this roll is won after an ideological dispute that defines the relations of power and authority in the group, during the activity; (c) the most expert classmate's explanations are often elaborated by

egocentric speech; (d) the actions mediated by the virtual interferometer enable the creation of the zone of the proximal development, making possible the meaning making in quantum physics.

Keywords: discursive analysis, quantum physics concepts, Mach-Zehnder interferometer, teacher's preparation.

Introdução

O ensino de física moderna e contemporânea (FMC), em geral, e o ensino de física quântica (FQ), em particular, têm sido tema de vários estudos publicados nas principais revistas especializadas em pesquisa em ensino de ciências. Esses artigos têm apresentado, entre outros assuntos, estratégias didáticas inovadoras, elaboradas tanto para o nível médio e universitário. Em uma revisão bibliográfica recente sobre o ensino de FMC (PEREIRA e OSTERMANN, 2008)¹, no entanto, foi possível identificar apenas quatro trabalhos envolvendo professores em formação (KALKANIS et al., 2003; OSTERMANN e MOREIRA, 2004; OSTERMANN e RICCI, 2004; OSTERMANN e RICCI, 2005). Esse resultado aponta para a escassez de estudos relativos ao ensino de FQ na formação de professores, processo de fundamental importância para a construção de estratégias capazes de promover mudanças significativas na educação básica brasileira.

No intuito de promover novos estudos na formação inicial de professores, apresentamos uma investigação sobre o ensino de FQ fundamentada na perspectiva sociocultural. Esse trabalho é parte de uma dissertação de Mestrado Acadêmico em Ensino de Física. A pesquisa foi desenvolvida junto a uma disciplina da sétima etapa do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, durante o segundo semestre de 2007. O estudo trata de uma análise do discurso de seis estudantes do curso de Licenciatura em Física da UFRGS, em atividades colaborativas centradas no uso de um *software*, que simula uma bancada virtual do interferômetro de Mach-Zehnder (OSTERMANN *et. al.*, 2006). O objetivo é analisar as tensões nos enunciados dos alunos e avaliar em que medida os significados em física quântica são criados e desenvolvidos em sala de aula por meio do uso da linguagem e de instrumentos semióticos, tais como o interferômetro virtual. Essa pesquisa foi desenvolvida através do Estágio de Docência, realizado pelo primeiro autor desse trabalho, junto à disciplina FIS01032 – Seminários de Tópicos Especiais em Física Geral III. A disciplina consiste em uma revisão conceitual dos principais tópicos de FMC a partir da apresentação de seminários ministrados pelos próprios alunos.

Por que física quântica?

Na abordagem tradicionalmente adotada em cursos de FQ, há uma forte ênfase no emprego do formalismo matemático como mera ferramenta matemática, na resolução de listas de problemas, além de introduzir a teoria de maneira fortemente correlacionada com a física clássica, seja em seus fundamentos e pressupostos mais básicos, seja em sua história (OSTERMANN e RICCI, 2004). A abordagem tradicional dos cursos de FQ acaba relegando a um segundo plano o

¹ Artigo submetido à revista Investigações em Ensino de Ciências.

fato de que os objetos quânticos são de uma natureza muito diversa dos objetos clássicos.

Por que discussão conceitual?

No âmbito da formação inicial de professores, é crucial que se busque uma abordagem mais conceitual e qualitativa dos fundamentos de FQ. A abordagem conceitual, proposta no presente trabalho, não é uma desvalorização para a formação do estudante de Licenciando em Física. Pelo contrário, esse tipo de ensino requer do professor um profundo conhecimento do assunto (OSTERMANN e PRADO, 2005).

Por que formação inicial de professores?

Há um consenso entre pesquisadores da área de ensino de física sobre a necessidade de atualização curricular nos cursos de física de nível médio. A inclusão de tópicos de FMC nos livros didáticos de física, nos últimos anos, é uma forte evidência dessa tendência. Entretanto, possíveis transposições didáticas de fundamentos da FQ para o ensino médio dependem, fortemente, de uma sólida formação conceitual por parte dos professores de física (OSTERMANN e PRADO, 2005).

Por que análise do discurso?

Na perspectiva sociocultural, as interações discursivas são consideradas como constituintes do processo de construção de significados ou entendimento (REZENDE e OSTERMANN, 2006). Essa “virada discursiva” em psicologia tem resultado na investigação do discurso, além de outros mecanismos retóricos, utilizados para construir significados na educação em ciências (MORTIMER e SCOTT, 2002). A análise do discurso, enquanto ferramenta metodológica, tem se mostrado bastante poderosa quando empregada na investigação de interações discursivas entre indivíduos que executam tarefas mediadas por instrumentos semióticos, tal como o interferômetro virtual utilizado nesse estudo.

Por que o interferômetro de Mach-Zehnder?

Apresentando uma releitura mais moderna do experimento de dupla fenda, o interferômetro de Mach-Zehnder (IMZ) tornou-se um dos experimentos cruciais para a compreensão dos fundamentos da FQ ao provocar naturalmente reflexões sobre o problema conceitual da escolha dos caminhos pelo fóton (RICCI *et. al.*, 2007). Apesar de ter sido consagrado por Richard Feynman nos anos 60, o experimento de dupla fenda abre brecha para uma interpretação clássica do fenômeno, na qual o padrão de interferência observado no anteparo pode ser o resultado da interação entre o feixe de elétrons e os átomos das bordas das fendas. O fenômeno de interferência no IMZ é causado por uma diferença de fase, introduzida pela combinação de espelhos e semi-espelhos, entre as componentes do feixe luminoso.

Por que virtual?

O uso do IMZ em simulação virtual justifica-se plenamente pela falta de recursos nos laboratórios didáticos que possibilitem a preparação de estados

monofotônicos (um fóton emitido de cada vez), tecnologia alcançada somente a partir dos anos 80 em laboratórios avançados de física (OSTERMANN *et. al.*, 2006). O *software* utilizado no presente trabalho pode ser utilizado, facilmente, em laboratórios de informática de escolas públicas.

Fundamentação teórica

O presente estudo é pautado no referencial sociocultural e fundamenta-se em alguns aspectos das teorias de Vygotsky e Bakhtin. A teoria de L. S. Vygotsky (1896-1934) é uma teoria psicológica com bases marxistas. Vygotsky procurou compreender de que forma o materialismo dialético poderia contribuir para o estudo da mente (VYGOTSKY, 1994, p. 10). Seus estudos partem da hipótese de que as mudanças históricas na sociedade e na vida material produzem mudanças na natureza humana.

A teoria da mediação pode ser compreendida a partir de três aspectos fundamentais (WERCHT, 1993). O primeiro aspecto consiste na *análise genética* ou *evolutiva*. Utilizando-se do método dialético, Vygotsky estuda os fenômenos no seu processo de mudança, ou seja, historicamente. Sua abordagem é explicativa e não descritiva, valorizando a análise do processo em oposição à análise do objeto. O segundo aspecto importante é a crença de que *as funções psicológicas superiores derivam da vida social*. Diferentemente dos processos psicológicos elementares – processos cognitivos de origem biológica – as funções psicológicas superiores têm origem sociocultural. Elas caracterizam a forma puramente humana de inteligência responsável pelo ato de fala. O terceiro elemento fundamental da teoria de Vygotsky é a idéia de que *toda ação humana é mediada por instrumentos e signos*. Os signos, segundo Vygotsky, são estímulos artificiais ou autogerados que atuam como um instrumento da atividade psicológica. A palavra constitui o signo mais fundamental. A linguagem é um sistema complexo de signos.

O desenvolvimento da capacidade de usar a linguagem como um instrumento para a solução de problemas ocorre no instante em que o discurso social é internalizado. A partir desse momento, a linguagem, de uso interpessoal, passa a adquirir também uma função intrapessoal. Vygotsky define dois níveis de desenvolvimento psicológico na criança: o *desenvolvimento real*, nível em que ela consegue resolver problemas por si mesmo; e o *desenvolvimento potencial*, nível em que a criança só consegue resolvê-los sob a orientação de um adulto ou em colaboração com um parceiro mais capaz (VYGOTSKY, 1994, p. 112). A *zona de desenvolvimento proximal* é definida como sendo a distância entre estes dois níveis.

Apesar de propor uma psicologia marxista, é surpreendente que Vygotsky tenha feito tão pouca menção ao contexto social e institucional mais amplo, tais como a alienação, as lutas de classes e o consumismo. Alguns estudiosos de Vygotsky atribuem esse fato à sua morte prematura, aos trinta e sete anos de idade, por tuberculose. A valorização da linguagem e a concepção marxista de sociedade, defendidas por Vygotsky, são temas abordados em lingüística por M. M. Bakhtin. O psicólogo norte-americano James Wertch defende a tese de que os trabalhos de Bakhtin podem dar continuidade aos trabalhos de Vygotsky, tese assumida no presente estudo.

A filosofia da linguagem de Bakhtin (1895-1975), e de seus colaboradores², é a filosofia do signo ideológico. Bakhtin valoriza a fala, a enunciação e afirma sua natureza social, e não individual, definindo a língua como expressão das relações e lutas sociais (BAKHTIN, 2006). Um dos aspectos mais importantes de sua obra é a *dialogicidade* ou *pluralidade de vozes*. Para Bakhtin, a enunciação é um elemento do diálogo, fazendo parte de um processo de comunicação ininterrupto. Ela é determinada tanto pelo fato de que procede de alguém, como pelo fato de que se dirige para alguém, constituindo o produto da interação do locutor e do ouvinte. Outro aspecto de fundamental importância é a polissemia da palavra. Para o locutor, a palavra não se apresenta como um item de dicionário. O sentido da palavra é totalmente determinado por seu contexto e há tantas significações possíveis quantos contextos possíveis. Classes sociais diferentes servem-se de uma só e mesma língua. Conseqüentemente, em todo signo ideológico confrontam-se índices de valor³ contraditórios.

Segundo Bakhtin, a cada palavra da enunciação que estamos em processo de compreender, fazemos corresponder uma série de palavras nossas, formando uma réplica. A compreensão é uma forma de diálogo; ela está para a enunciação assim como uma réplica está para a outra no diálogo. Compreender é opor à palavra do locutor uma contra-palavra. Bakhtin define os *gêneros discursivos* como sendo uma forma típica de enunciado, relativamente estável, que correspondem a situações típicas de comunicação verbal. (WERTCH 1993, p. 80). A *ventriloquação* é o processo pelo qual uma voz fala através de outra voz ou tipo de voz na linguagem social (*op. cit.*, p. 78).

Mortimer e Scott (2002), pautados pelas teorias de Vygotsky e Bakhtin, elaboraram uma ferramenta sociocultural para analisar a interações discursivas entre professor e alunos em situação formal de sala de aula. Essa ferramenta apresenta a seguinte estrutura: (a) intenções do professor; (b) conteúdo; (c) abordagem comunicativa; (d) padrões de interação; (e) intervenções do professor. A ferramenta tem sido utilizada em outros estudos, nos quais vem sofrendo algumas adaptações. No presente trabalho, utilizamos esse instrumento para analisar as interações entre alunos, fazendo uso apenas da *abordagem comunicativa* e dos *padrões de interação*.

A abordagem comunicativa pode ser classificada da seguinte forma: *discurso dialógico*, no qual o aluno considera o que o colega tem a dizer sob o ponto de vista do próprio colega; *discurso autoritário*, no qual o aluno considera o que o aluno tem a dizer somente do ponto de vista do discurso científico; *discurso interativo*, o qual ocorre com a participação de mais de um aluno; *discurso não-interativo*, o qual ocorre com a participação de um único aluno. Os padrões de interação surgem na medida em que os alunos alternam enunciados e freqüentemente adquirem a forma I-R-A (iniciação do aluno, resposta do colega e avaliação do aluno). Quando o aluno sustenta o enunciado do colega por meio de intervenções curtas, surgem outros padrões tais como as interações do tipo I-R-P-R-P-R... ou do tipo I-R-F-R-F-R..., onde P significa ações discursivas que permitem o

² Existe uma polêmica acerca da verdadeira autoria do livro *Marxismo e Filosofia da Linguagem*. As primeiras edições atribuem a obra a V. N. Volochínov.

³ Conjunto das significações que tem maior destaque para um dado interlocutor no momento em que aprecia o enunciado.

prosseguimento da fala do colega e F significa um *feedback* para que o colega elabore um pouco mais sua fala.

Assim a análise apresentada no presente trabalho levou em conta os seguintes aspectos: (1) o uso da fala como mediadora da ação; (2) o nível de colaboração com parceiros mais capazes; (3) a criação, ou não, da zona de desenvolvimento proximal; (4) a linguagem como expressão das relações e lutas sociais; (5) as réplicas nos diálogos e os processos de compreensão; (6) o uso de gêneros discursivos; (7) a abordagem comunicativa e os padrões de interação dos enunciados.

Metodologia de pesquisa

Após um levantamento inicial das noções prévias dos alunos acerca da dualidade onda-partícula⁴, realizou-se uma seqüência inicial de oito seminários sobre alguns temas da óptica ondulatória (reflexão e refração, interferência, polarização e difração) e da FQ introdutória (radiação térmica e a quantização da energia, efeito fotoelétrico e o efeito Compton, dualidade onda-partícula, princípio da incerteza, a equação de Schrödinger). Após os seminários, o professor da disciplina discutiu alguns aspectos do IMZ, apresentando uma discussão conceitual sobre óptica ondulatória aplicada ao interferômetro.

Inspirados nos trabalhos de Müller & Wiesner (2002) e na abordagem conceitual da FQ proposta por Pessoa Jr. (2005), implementamos, no décimo terceiro encontro, uma atividade centrada no uso de um IMZ virtual. Esta atividade, realizada em um laboratório de informática do Instituto de Física da UFRGS, teve a duração de dois encontros. Organizados em duplas, os alunos receberam um roteiro especialmente elaborado para as atividades com o *software*. Três alunos, num total de quatorze, estiveram ausentes durante a atividade. Os onze alunos, organizados em quatro duplas e um trio, ocuparam cinco computadores equipados, cada um, com um IMZ virtual, um microfone e um gravador de som. Os diálogos dos alunos foram gravados em áudio e posteriormente transcritos para análise, segundo alguns aspectos das teorias de Vygotsky e Bakhtin. Após a intervenção didática, o professor da disciplina discutiu o formalismo matemático da FQ aplicado ao IMZ, apresentando uma síntese das diferentes interpretações epistemológicas da teoria.

Nesse trabalho, apresentamos os resultados da análise dos enunciados de seis dos onze alunos presentes na intervenção didática, durante as atividades do primeiro encontro, relativos ao fenômeno de interferência quântica. A análise detalhada destes e dos demais diálogos pode ser encontrada em Pereira (2008).

Resultados da análise do discurso

Os enunciados da primeira etapa foram separados nas seguintes categorias: (a) caminhos dos feixes do laser; (b) interferência em regime clássico; (c) interferência em regime quântico. Apresentamos, nesse trabalho, apenas os diálogos referentes ao item "c". As frases sublinhadas sinalizam que o locutor está lendo um enunciado em voz alta. Os erros de português e as eventuais ocorrências de linguagem vulgar formam mantidos para não afetar o contexto e a autenticidade dos diálogos. Para designar a superposição de duas ou mais vozes emitidas

⁴ Artigo submetido à Revista Electrónica de Enseñanza de La Ciencia .

simultaneamente, utilizamos um pequeno espaçamento de linha. Os episódios são apresentados a seguir.

Episódios da dupla A_1 e A_2

Os episódios analisados nessa seção foram vivenciados pelos estudantes A_1 e A_2 , ambos do sexo masculino, licenciandos do curso de Física da UFRGS. No item 13 do roteiro exploratório, os estudantes retiraram o segundo espelho semi-refletor e operaram o IMZ virtual em regime quântico, substituindo os anteparos por detectores de fótons, conforme a figura 1. A duração do diálogo foi de 2 minutos e sete segundos.

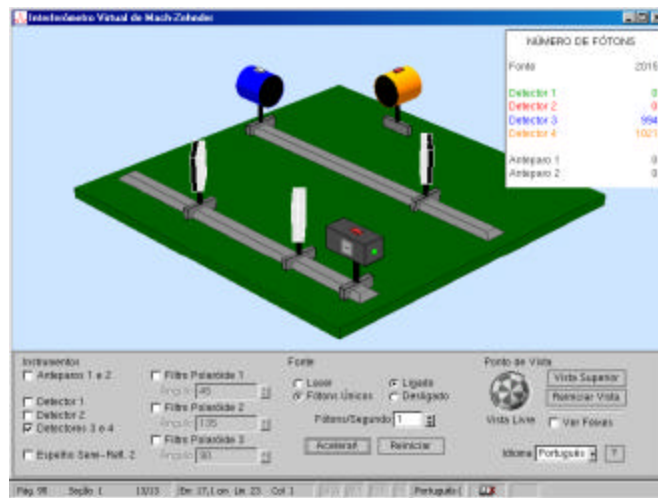


Figura 1. Verificando a indivisibilidade dos fótons.

A_2 : Ligue a fonte.

A_1 : *Às vezes ele liga o azul, às vezes o amarelo... Ah! Como é só um fóton, ele tem a probabilidade ou de vim... Ou de ser refletido ou de ser refratado.*

A_2 : *É, olha lá, ó... Dá pra ver lá em cima, ó... Ó, tá indo pro azul, outra hora pro amarelo, pro azul... Aleatório.*

A_1 : *É, aleatório. É aquela probabilidade. É 50% do fóton ir por algum lugar e 50% pro outro.*

A_2 : Acompanhe a contagem de fótons emitidos pelo quadro bláblabá e compare com o número de fótons coletados em cada detector. Por que obtemos esse padrão? A gente já disse... Clique no botão acelerar cinco vezes e compare novamente a contagem de fótons emitidos pelo número coletados.

A_1 : *Tem que apertar cinco vezes?*

A_2 : *Hãh, cinco vezes.*

A_1 : *Tá. Continua. Quase 50 %. A diferença é pequena. Vou apertar mais uma vez!*

No diálogo acima, é possível identificar a organização social estabelecida pelos alunos durante a execução da tarefa. Enquanto A_2 orienta a atividade mediante a leitura do roteiro exploratório, A_1 fica responsável pelas explicações, assumindo a função do parceiro mais capaz, ao mesmo tempo em que opera o IMZ virtual. É interessante notar que a explicação “Às vezes ele liga o azul, às vezes o amarelo...” (2ª linha) é orientado internamente, como uma fala egocêntrica, organizando a ação de A_1 . Após atingir a compreensão do fenômeno, evidenciada pela emissão de um “Ah”, A_1 passa a orientar sua explicação externamente, organizando a ação do colega. O enunciado “Como é só um fóton, ele tem a

probabilidade ou [...] de ser refletido ou de ser refratado” (2ª e 3ª linha) sugere o uso da analogia entre a intensidade do feixe eletromagnético (regime clássico) e o caráter probabilístico inerente à FQ.

No Item 15 do roteiro exploratório, os estudantes recolocaram o segundo espelho semi-refletor e mantiveram os detectores 3 e 4, conforme a figura 2. Os alunos tiveram que explicar o padrão de interferência quântica no regime monofotônico. A duração do diálogo foi de 1 minuto e 9 segundos.

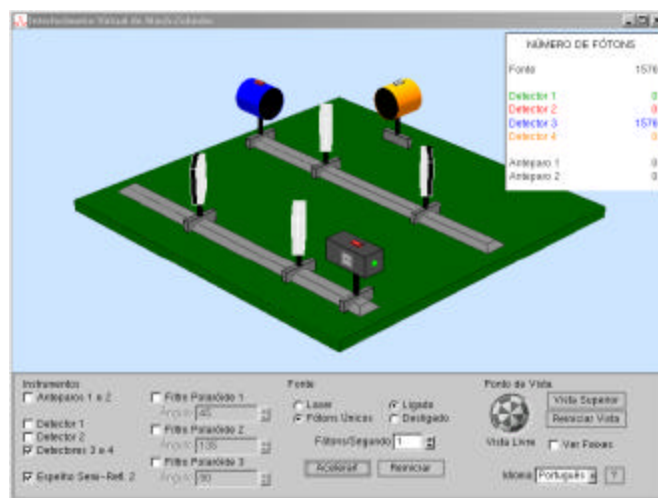


Figura 2. Interferência quântica com detectores

A₂: Tá. Desligue a fonte do laser e clique no botão reiniciar. Os instrumentos... Em instrumentos, marque a caixa de seleção espelho semi-refletido... semi-refletor 2 e ligue a fonte de 'laser' novamente.

A₁: O que que eu vou te dizer agora... Só vai marcar o azul! Hehehe. Que que eu te falei? Ele deve mandar apertar no acelerar de novo, não deve?

A₂: Hu, hum. acelerar cinco vezes e compare normal.

A₁: Um, dois, três, quatro, cinco! Eu te falei! Hehehehe.... E agora? Hehehehe.

A₂: Barbaridade! Agora tá ficando ruim .

A₁: Cara, eu te falei. Eu fiz um trabalho sobre isso aí semestre passado.

A₂: Tá.

A₁: Só um detector detecta os negócios...

No diálogo acima, podemos observar em A₁ uma abordagem do tipo autoritária. No entanto, a previsão “Só vai marcar o azul!” (4ª linha) foi feita com base em uma experiência passada, evidenciada pela fala “Cara, eu te falei. Eu fiz um trabalho sobre isso aí semestre passado” (9ª linha). Isso não revela, necessariamente, um domínio pleno do assunto por parte de A₁. As expressões “E agora?” e “Barbaridade! Agora ta ficando ruim” (7ª linha) mostram o estado de surpresa e perplexidade dos estudantes ao falharem na busca de uma explicação adequada para o comportamento do fóton.

Episódios da dupla A₃ e A₄

Os episódios analisados nessa seção foram vivenciados pelos estudantes A₃ e A₄, ambos do sexo masculino, licenciandos do curso de Física da UFRGS. O próximo diálogo refere-se ao item 13 do roteiro exploratório (figura 1) e teve a duração de 37 segundos.

A₄: Ligue a fonte. O que observa? Ta. Vai um pra cada detector.

A₃: Não.

A₄: Como não?

A₃: Tão indo muito mais pro detector três. Olha ali, ó. Olha o numerozinho do detector.

A₄: Tá, mas tá errado... Ah! Tá lá. Agora a coisa tá ficando linda. Tem que ser igual.

A₃: Ah, é que de repente é a única... é a coisa quântica.

A₄: Sim, sim, sim.

A₃: A probabilidade...

A₄: Sim, sim, sim...

A₃: Põe ali.

A₄: Vou botar, ó: acelerar... Já fica mais parecido.

No texto acima, é possível identificar a presença das vozes de ambos alunos no diálogo, o que caracteriza a abordagem comunicativa como sendo essencialmente interativa. Podemos perceber que A₄ assume para si a função do parceiro mais capaz. Os enunciados “Como não?” (4^a linha), “Tá, mas tá errado” e “Tem que ser igual” (6^a linha) mostram que, apesar da aparente contradição observada no IMZ, A₄ impõe-se autoritariamente, tendo como base o domínio do conteúdo científico.

No item 15 do roteiro, os estudantes recolocaram o segundo espelho semi-refletor no interferômetro, operando-o em regime quântico, conforme a figura 2. O diálogo durou cerca de 45 segundos.

A₄: Em instrumentos tu bota o segundo semiespelho... e ligue a fonte novamente. O que se observe em cada um deles? Tá, agora o que eu imaginei, ó. Esse aqui tá bem no centro, né?

A₃: Hu, hum.

A₄: Ele só tá coletando os fótons que vão bem no centro do anteparo. Então vai todos pra esse aqui agora. Por causa da interferência. Essa figura de interferência que vai ter na...

A₃: Aaah...

A₄: Não é?

A₃: Hu, hum.

A₄: Sacou?

A₃: Sim, sim, sim.

Os enunciados acima reforçam a idéia de que A₄ exerce a função do parceiro mais capaz. Esse diálogo é marcado por uma mudança abrupta na sua dinâmica, no momento em que A₄ introduz na sua fala a palavra *interferência* (6^a linha). A compreensão do fenômeno observado no IMZ virtual, por parte de A₃, evidenciado na fala “Aaah...” (8^a linha) tornou desnecessária qualquer tipo de explicação posterior.

Episódios da dupla A₅ e A₆

Os episódios analisados nessa seção foram vivenciados pelos estudantes A₅ e A₆, ambos do sexo masculino, licenciandos do curso de Física da UFRGS. O próximo diálogo refere-se ao item 13 do roteiro exploratório (figura 1) e teve a duração de cerca de 2 minutos.

A₆: O Detector pisca.

A₅: Sim, pra ver os fótons. Pra que lado foi o fóton. É bem provável que era isso. O que se observa em cada um dos detectores? Ah, e ligue a fonte. Detector 3 e 4, que é o que a gente tá vendo. O que se observa em cada um dos detectores? Porque obtemos este padrão? Ó, eles não vão interferir. É, se eu to emitindo um único fóton... Tu viu que não é igual. Tá vendo? Aqui aponta quantos tá chegando em cada um deles. Aqui é o total emitido. Não é proporcional.

A₆: Isso é uma coisa aleatória.

A₅: Não, é aleatório. Porque tu tá vendo, ó. Não existe uma baita diferença, esse aqui já passou. É aleatório. Mas um...

A₆: É aleatório. 50% de chance de passar ou de refletir.

A₅: Isso... É aleatório. Isso é verdade. Ou bate aqui e vê lá... Beleza. É aleatório. Beleza.

Esse diálogo é marcado pela participação decisiva de A₆ na construção e negociação de significados. Embora coubesse a A₅ a função de explicar, conforme mostram o texto acima, os enunciados “Isso é uma coisa aleatória” (8ª linha) e “50% de chance de passar ou de refletir” (11ª linha), emitidos por A₆, possibilitaram a re-elaboração das explicações do colega. A incorporação da voz de A₆ na fala de A₅, nos enunciados “Não, é aleatório” (9ª linha) e “Beleza, é aleatório” (13ª linha), caracteriza a abordagem comunicativa como sendo essencialmente interativa e dialógica.

O diálogo abaixo refere-se ao item 15 do roteiro exploratório (figura 2) e teve a duração de 1 minuto e 30 segundos.

A₆: Só aparece um deles. Detector 3 só o que é refletido. Ah, claro. O padrão de interferência. Se ele vier no centro, aqui não era ao nde tinha a... é...

A₆: A construtiva?

A₅: Construtiva... aonde tinha um centro iluminado... aonde tava chegando os fótons... Então aqui eu esperaria realmente ter os fótons.

A₆: É um fóton de cada vez, né?

A₅: É um fóton de cada vez.

A₆: Ele não pode se dividir!

A₅: Essa que é a questão da quântica, né.

A₆: Então, se ele é um de cada vez, não podia ter ... se é um só, não podia se... não podia ter diferença, né.

A₅: É aquela questão. Ele se... como é que é? Ele interfere com ele mesmo depois. Essa que é a questão da quântica. Mas se tu pensar nas manchas, né. No centro, tu vai ter fótons ali mesmo. (Ininteligível). Sempre no 3, sempre no centro do 3.

A₆: É.

A₅: Se eu pensar assim. E aqui no centro do 4, nada porque ele tá em destrutiva. Agora fica essa questão mesmo. Um único fóton está interagindo com ele mesmo. Atira, ele chega. Então, ele tá interagindo com ele mesmo.

O diálogo acima mostra a transição de um discurso inicialmente autoritário para sua forma dialógica e interativa. No início da fala de A₅, é possível identificar alguns traços de fala egocêntrica. Ele começa sua explicação orientando sua fala

internamente, organizando a própria ação conforme mostra o enunciado “Só aparece um deles” (1ª linha). A expressão “Ah, claro” (mesma linha) evidencia o momento de compreensão. A partir deste instante, os enunciados de A₅ são orientados externamente para organizar a ação do colega. A pergunta “É um fóton de cada vez, né?” (6ª linha), emitida por A₆, marca o início de uma interanimação de vozes que possibilita a construção de significados. É possível identificar o uso de enunciados típicos em aulas de FQ, tal como “Um único fóton está interagindo com ele mesmo” (17ª linha). Esse tipo de expressão pode ser considerado um gênero discursivo em FQ.

Síntese dos resultados

Os resultados da análise mostram que em atividades colaborativas com outros colegas, um dos integrantes do grupo sempre assume pra si a função do parceiro mais capaz. Em alguns casos, esse papel é conquistado através de uma disputa ideológica entre os componentes do grupo, no qual o domínio do conteúdo científico envolvido na atividade em questão é utilizado para definir as relações sociais de poder e de autoridade. Essas tensões e conflitos ideológicos, emoldurados na fala dos estudantes, reforçam a noção bakhtiniana de que a palavra é a arena onde se desenvolvem as lutas de classes (BAKHTIN, 2006).

Nos enunciados explicativos, a fala do parceiro mais capaz é perpassada por um mecanismo de transição que modifica sua função mediadora, deslocando o sentido de sua orientação. Inicialmente, os enunciados são orientados internamente, organizando a ação do locutor de forma bastante similar à fala egocêntrica encontrada nas crianças ao executar uma tarefa (VYGOTSKY, 1994). Uma vez alcançada a compreensão, evidenciada pela imposição de uma réplica ao próprio enunciado, o locutor passa a imprimir uma série de perguntas retóricas e afirmações que são orientadas externamente, com a finalidade de organizar a ação do ouvinte. Nessa ação, é possível identificar o uso de alguns gêneros discursivos em FQ, tais como “o fóton interfere com ele mesmo”.

As atividades desenvolvidas com o IMZ virtual, quando articuladas ao roteiro exploratório, possibilitaram a criação da zona de desenvolvimento proximal ao proporcionar tarefas que só puderam ser resolvidas em colaboração com os colegas. As ações mediadas pelo uso do software possibilitaram ainda, por parte dos estudantes, a construção e a negociação de significados em FQ. Em outras palavras, as atividades desenvolvidas na exploração do software possibilitaram a contextualização de uma série de conceitos e princípios introduzidos nas disciplinas cursadas pelos alunos em semestres anteriores, tais como fóton, interferência quântica, densidade de probabilidade, entre outros aspectos. Nesse sentido, o IMZ virtual se mostrou uma ferramenta cultural extremamente poderosa, tanto em termos de motivação para o estudo da FQ, quanto no que diz respeito à facilitação dos processos de compreensão e construção de significados aceitos cientificamente.

Referências

BAKHTIN, M. M. **Marxismo e filosofia da linguagem**. 12. ed. São Paulo: Editora Hucitec, 2006.

KALKANIS, G.; HADZIDAKI, P.; STAVROU, D. An instructional model for a radical conceptual change towards quantum mechanics concept. **Science Education**, v. 87, n.2, p. 257-279, 2003.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. Atividade discursiva nas salas de aula de Ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 7, n. 3, p. 1-12, 2002.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Updating the physics curriculum in high schools: a teaching unit about superconductivity. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. v. 3, n. 2, 2004.

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.; RICCI, T. S. F. Conceitos de Física Quântica na formação de professores: relatos de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 22, n. 1, p. 09-35, abr. 2005.

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. 11, n. 2, p. 235-258, mai. 2004.

OSTERMANN, F.; PRADO, S. D.; RICCI, T. S. F. Desenvolvimento de um Software para o Ensino de Fundamentos de Física Quântica. **A Física na Escola**. v. 7, n. 1, p. 22-25, mai. 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**. Porto Alegre, 2008. Dissertação (Mestrado).

REZENDE, F.; OSTERMANN, F. Interações discursivas on-line sobre Epistemologia entre professores de Física: uma análise pautada em princípios do referencial sociocultural. **Revista Electrónica de Enseñanza de la Ciencia**. v. 5, n. 3, p. 505-522, 2006.

RICCI, T. S. F.; OSTERMANN, F.; PRADO, S. D. O tratamento clássico do interferômetro de Mach-Zehnder: uma releitura mais moderna do experimento da fenda dupla na introdução da física quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 29, n. 1, p.79-88, 2007.

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

WERTCH, J. V. **Voces de la mente: un enfoque sociocultural para el estudio de la acción mediada**. 1. Ed. Madrid: Visor Distribuciones, 1993.