

Alguns aspectos da transposição de uma sequência didática sobre o comportamento de partículas e ondas

Neide Maria Michellan Kiouranis¹, Aguinaldo Robinson de Sousa² e Ourides Santin Filho¹

¹Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil. E-mails: mmkiouranis@gmail.com, osantin@uem.br. ²Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, Brasil. E-mail: arobinso@unesp.br

Resumo: Neste trabalho apresentamos a análise de parte da implementação de uma sequência didática dirigida a estudantes de química quântica do ensino superior. A sequência versa sobre alguns conceitos fundamentais para a compreensão do comportamento dos objetos *partículas* e *ondas* no experimento da dupla fenda. O referencial de análise apoia-se na teoria da transposição didática proposta por Yves Chevallard, que possibilita a reflexão sobre o saber científico reelaborado para ser utilizado em situações de ensino. Nosso interesse neste estudo volta-se para a dinâmica da transição do saber a ensinar ao saber ensinado, mais especificamente, a importância de tornar os conceitos mais compreensíveis. Os resultados evidenciaram que a comunicação dos saberes pelos alunos se apresenta em meio às interrupções, lacunas e linguagens coloquiais. A análise permitiu identificar necessidades e possibilidades de aprendizagem, bem como reorientar a prática do professor, num processo dinâmico de ação e reflexão.

Palavras chave: teoria da transposição didática, ensino de Ciências, experimento da dupla fenda.

Title: Some aspects of the transposition of a didactic sequence about the behavior of particles and waves.

Abstract: This work presents a partial analysis of the implementation of a didactic sequence aimed at undergraduate students of quantum chemistry. The sequence develops on some fundamental concepts to understand the behavior of the objects *particles* and *waves* in the double-slit experiment. The analysis is based on the didactic transposition theory, proposed by Yves Chevallard, which allows reflection upon the scientific knowledge reorganized to be used in teaching contexts. Our interest in this study lays on the dynamics of transposition of knowledge-to-be-taught into knowledge-taught, particularly the importance of making concepts more comprehensible. Results showed that the communication of knowledge by the students is presented with interruptions, gaps and colloquial language. The analysis allowed the identification of needs and possibilities of learning, as well as a turn in the teacher practice, through a dynamic process of action and reflection.

Keywords: didactic transposition theory, teaching of science, double-slit experiment.

Introdução

Atualmente, há um vasto espectro de estudos que abordam a análise da estrutura e a dinâmica da comunicação em sala de aula. Nessa perspectiva, vários pesquisadores têm procurado entender a complexidade da relação professor-aluno, que pode orientar a Transposição Didática de forma diferente da que habitualmente encontramos nas aulas de Ciências. Há, portanto, uma variedade de abordagens disponíveis que privilegia a argumentação e as características de natureza qualitativa, com o intuito de contribuir essencialmente para que o discurso científico seja transposto para o discurso escolar de maneira mais significativa.

Essa transposição implica em incorporar vivências concretas e diversificadas, que vão além da simples exemplificação que, em geral, o professor utiliza com a intenção de tornar menos áridos os conceitos abstratos, as fórmulas e os fenômenos próprios das Ciências Naturais. Por esta razão, comumente, a prática do professor frente à transposição dos saberes científicos para os saberes a ensinar é impositiva, podendo trazer implicações na construção do saber científico escolar.

No âmbito da comunicação de saberes, qualquer ação pedagógica se realiza por meio de uma transposição didática que, para Chevallard (1991, p.31) consiste no “[...] trabalho que transforma um objeto do saber a ensinar em um objeto de ensino”. Assim, a escolha dos conteúdos, as tomadas de decisões e o tratamento necessário para torná-los viáveis em termos de construção de ambientes de ensino-aprendizagem significativos são tarefas desafiadoras que o professor enfrenta na sua prática. Ainda conforme Chevallard (1991, p.31), “um conteúdo do saber que foi designado como saber a ensinar sofre, a partir daí, um conjunto de transformações e adaptações que vão torná-lo apto para ocupar um lugar entre os objetos de ensino”. A transposição didática é por nós concebida como um conjunto de transformações que os conhecimentos científicos sofrem com o objetivo de ser ensinado. Invariavelmente implica deslocamentos e rupturas que os tornam didaticamente aplicáveis, como evidenciam as idéias do autor.

Compreender e analisar como se tornam viáveis esses saberes em situações de sala de aula, requer a delimitação de aspectos teóricos específicos e a elaboração de uma metodologia particular, bem como de professores que buscam possibilidades efetivas de transformação de seus saberes e suas ações didáticas. Por isso, as principais diferenças entre professores estão no tipo de relação que cada um deles estabelece com o

[...] saber que se manifesta em seu domínio da matéria e o significado que dá ao conteúdo proposto em seu ensino, a forma de situar-se e de situar o aluno com relação a dado saber, os marcos de referência que sugere ou impõe e os tempos de construção conceitual que outorga ou nega (De Longhi, 2000, p.204).

De modo geral, na prática, numerosas investigações revelam que o professor, mesmo em situações em que se utilizam diferentes e flexíveis estratégias,

[...] controla o discurso e atua como árbitro da validade dos conhecimentos através de um conjunto de regras (explícitas e implícitas) que estão presentes na fala durante a aula. Tais regras, não só reportam-se à correspondência entre significante e significado, como também regula e interpreta a interação que se estabelece (De Longhi, 2000, p.204).

Veja-se também da mesma autora, quando discute que muitas vezes a lógica gerada pela interação verbal entre alunos e professor, pode desvirtuar a dinâmica do tratamento conceitual, limitando excessivamente sua profundidade. Admitir a heterogeneidade no processo do discurso é bastante produtivo no âmbito de ensino e implica em considerar erros, desvios e contradições que devem ser ressignificados para dar sentido aos conteúdos envolvidos no processo de transposição didática.

Em sua dissertação de mestrado, Brockington (2005) apresenta uma importante contribuição sobre a Teoria da Transposição Didática, ao analisar os resultados de uma sequência didática que aborda conceitos da Mecânica Quântica. Para Brockington (2005, p.80) esta teoria configura-se como um

[...] eficiente instrumento de análise de processo segundo o qual o saber produzido pelos cientistas se transforma naquele que está contido nos programas e livros didáticos e, principalmente, naquele que realmente aparece nas salas de aula.

A linguagem científica e a transposição didática

Atualmente, encontram-se disponíveis resultados de pesquisas de vários autores que têm contribuído em seus estudos com os processos interpessoais e grupais da relação professor-aluno, bem como as dificuldades que os estudantes apresentam para organizar, de forma coerente, um conjunto de ideias científicas. Nessa perspectiva, eles buscam compreender a transformação entre o discurso científico e o discurso escolar, portanto, o processo de significação originado e desenvolvido por meio do uso da linguagem e outras formas de comunicação.

Sardà Jorge e Sanmartí (2000) alertam que é difícil identificar claramente se as dificuldades apresentadas pelos estudantes se devem à má compreensão dos conceitos ou à falta de domínio suficiente do gênero linguístico. Citando Lemke (1997), as autoras afirmam que muitos dos problemas de aprendizagem nas aulas de Ciências se devem tanto ao desconhecimento do padrão temático como do padrão estrutural próprio do texto científico. Nesse sentido, esse desconhecimento pode ser decorrente da idéia de que os diferentes gêneros linguísticos são objetos de aprendizagem nas aulas de línguas e não se constituem preocupação das aulas de Ciências.

Uma das consequências mais imediatas e visíveis do ensino de conhecimentos científicos é a dificuldade que os estudantes enfrentam para organizar e expressar um conjunto de idéias. De acordo com Sardà Jorge e Sanmartí (2000), essa dificuldade se estende ao diferenciar fatos observáveis e inferências, identificar argumentos significativos e organizá-los de forma coerente. Para além desses aspectos, está também a distinção entre os termos de uso científico e os de uso cotidiano e ainda o uso de linguagem coloquial. Quando escrevem, dizem as autoras, ou são orações

longas que mostram dificuldades de coordenação ou subordinação, ou são muito curtas, sem justificar qualquer afirmação.

Parece não haver dúvidas de que se aprendem as ideias científicas ao serem comunicados seus modelos e suas teorias, de forma que possam validar as representações que cada sujeito constrói sobre a realidade. Embora a linguagem científica tenha suas especificidades, é fundamental que ela seja trabalhada em sala de aula, visto que o falar e o escrever são também condições necessárias para transcender o âmbito dos conhecimentos conceituais e possibilitar que os estudantes expressem suas ideias. Discutindo tal argumentação, Sardà Jorge e Sanmartí (2000, p.407), asseveram que “para aprender ciência, é necessário aprender a falar e escrever (e ler) ciência de maneira significativa”.

Mortimer (2006), em suas investigações aborda aspectos da aplicação das ideias científicas por meio do uso da linguagem e outros modos de comunicação. Nessa perspectiva, o professor deve possibilitar aos estudantes a expansão do uso da linguagem científica, transferindo progressivamente para eles o controle e responsabilidade de significação dos conhecimentos. Segundo o autor, é relativamente pouco conhecido o modo pelo qual os professores dão suporte ao processo de construção de significados em aulas de Ciências, apesar de que dificilmente alguém discordaria da sua importância.

No que diz respeito à linguagem, os alunos, segundo Galagovsky et al. (2003, p.21), tendem a se expressar com mais segurança “[...] mediante a linguagem verbal, provavelmente porque este tipo de linguagem é o mais usado em sala de aula, em suas vertentes oral e escrita”. As autoras argumentam ainda que a tendência em expressar-se com uma linguagem verbal correta pode ocultar aprendizagens exclusivamente memorísticas.

As questões elencadas neste preâmbulo são apenas alguns aspectos de muitas investigações realizadas em diversos campos da comunicação em sala de aula e nos diferentes níveis de ensino. O novo panorama requer um trabalho de desconstrução e de superação que mostre os impasses e aponte novas possibilidades de articulação, apropriação e transferência dos sentidos, informações e conhecimentos. Esses aspectos outorgam à prática do professor necessidades de buscar variadas abordagens, teorias, modelos e questões que ampliem significativamente o processo de transposição dos saberes.

A escola, nesse processo, tem o papel fundamental de propiciar condições para que os conhecimentos produzidos sejam adequados de modo que os alunos possam de fato incorporá-los em suas experiências concretas e diversificadas. Assim, essa apropriação só pode se concretizar se o aluno compreender a relevância dos conhecimentos para o entendimento dos fatos e fenômenos que o cercam. Diante disso, como afirma Suassuna (2004), apoiando-se em Michel de Certeau, a escola pode se configurar como um espaço onde seja possível a conjugação entre o saber (enquanto programação objetiva, conjunto de conteúdos de ensino) e a relação simbólica (enquanto comunicação ou lugar de experiência).

Feynman (apud Santos e Aureta, 1991, p.25), discutindo o que é ciência, disse que muito tarde acabou por descobrir um modo de testar se o que se ensinou é um conceito ou uma definição. Segundo o autor,

[...] basta dizer aos alunos: Sem usarem a nova palavra que acabaram de aprender, tentem explicar a mesma coisa com o vosso vocabulário habitual. Por exemplo, sem usar a palavra 'energia', digam-me o que sabem acerca do movimento do cão. Impossível. Então se conclui que não se aprendeu nada além da definição. Não se aprendeu nada acerca da ciência.

O autor argumenta que isso, em determinadas circunstâncias, pode não ter importância e é evidente que é fundamental aprender definições, no entanto, no processo de transposição dos saberes, o professor deve também se preocupar com a comunicação do estudante, para que o conhecimento científico não seja potencialmente inútil. Tomado a comunicação como palavra em movimento, o saber a ensinar deverá ser, em última instância, resultado de transgressão metodológica que vai evidenciar o saber ensinado.

Levantados esses aspectos, vamo-nos deter ao objetivo de propor uma reflexão acerca da Teoria da Transposição Didática, tendo como foco de interesse o trabalho do professor ao desenvolver uma seqüência didática sobre o comportamento de duas entidades físicas: partículas e ondas em um arranjo experimental sobre o experimento da dupla fenda, adaptado das sugestões de Feynman. Nosso interesse nessa investigação é trazer à tona aspectos da física clássica, macroscópica, fundamentais para a compreensão de manifestações do mundo quântico como o comportamento do elétron diante do mesmo arranjo experimental, com uma e com duas fendas.

Do ponto de vista da comunicação e transposição de saberes em sala de aula, julgamos que a temática em questão, possibilita abordagens abrangentes que permitem a articulação de conceitos importantes na compreensão dos objetos em questão, entre eles: energia, momento, continuidade, corpuscularidade (descontinuidade), frequência, interferência e intensidade. A ênfase será dada apenas aos aspectos metodológicos, no que se refere à importância da compreensão do movimento dos saberes no processo de comunicação de teorias científicas em sala de aula. Nessa perspectiva, a investigação versou sobre a necessidade de tornar mais claros os conceitos envolvidos no experimento da dupla fenda. Portanto, nosso foco de interesse centra-se no efeito da transposição didática, por meio dos resultados obtidos da interação professor/aluno tomando-se por base a implementação da unidade didática, com dezenove alunos da disciplina Química Quântica do Curso Bacharelado em Química, de uma Universidade pública brasileira.

Aspectos teóricos da transposição didática

O termo "transposição didática", de natureza epistemológica, foi proposto originalmente em 1975 pelo sociólogo Michel Verret, e retomado em 1980 por Yves Chevallard, que o inseriu no contexto da didática da Matemática. O conceito de *distância* foi analisado e retomado com as modificações necessárias para contextos de ensino. Com essa investigação, Chevallard (1991) faz da transposição didática uma teoria e, com isso, abre um importante espaço de reflexão sobre a dinâmica da significação dos saberes ensinados, estendendo-se para outras áreas do conhecimento.

O autor admite a existência de três patamares de "saberes" que se comunicam pedagógica e didaticamente. Esses três patamares apresentam

interesses distintos, e influenciam epistemologicamente o conhecimento ao longo de seu processo de transposição nos diversos contextos de comunicação em situações de ensino-aprendizagem, podendo ser identificados como:

1. Saber científico: É aquele produzido pelos cientistas e comunidade científica e encontra-se referenciado em livros e revistas especializadas. Apresenta perfil epistemológico bem específico, próprio do ambiente em que é gerado.

2. Saber a ensinar: É aquele que parte do saber científico, é organizado e hierarquizado com características bem diferentes daquele que o gerou, reconstituindo-se em um novo quadro epistemológico, portanto, em conteúdo que tenha sentido para os alunos. Nessa esfera do saber, encontram-se os programas escolares, documentos oficiais, autores de livros didáticos e outras formas de divulgação científica, professores e outros sujeitos que, direta ou indiretamente, participam das decisões sobre a seleção, organização e forma dos conteúdos destinados ao ensino.

3. Saber ensinado: É aquele que se configura essencialmente pelo trabalho do professor. Ocorre no próprio ambiente escolar como transposição interna. É importante compreender que o Saber a Ensinar já se encontra sistematizado no livro didático, no currículo e até em outros materiais utilizados com finalidade didática para produzir em sala de aula o saber ensinado.

Os agentes que integram as três esferas do saber aqui caracterizadas compreendem grupos sociais e interesses bastante distintos, que influenciam significativamente nas mudanças sofridas pelo "saber" no seu percurso epistemológico. Ao longo dessa trajetória (do ambiente científico à sala de aula), as três esferas coexistem e se influenciam. Nelas se encontram todos aqueles que ocupam os postos principais do funcionamento didático e se enfrentam com os problemas que surgem do encontro com a sociedade e suas exigências. Assim, o saber científico sofre um duplo processo, da (descontextualização) do seu processo de elaboração, passa por um processo de (recontextualização) didática até atingir o *status* de saber a ensinar, para finalmente ser constituído pelo saber que, de fato, é ensinado em sala de aula. Nas palavras de Chevallard (1991), a transposição didática é a transformação do saber científico em um saber possível de ser ensinado.

Na perspectiva da comunicação em sala de aula, a transposição didática entendida no contexto histórico da produção intelectual humana se configura como uma vertente da prática pedagógica que conforme (Chevallard, 1991, p.16), permite "[...] interrogar as evidências, pôr em questão as ideias simples, desprender-se da familiaridade enganosa de seu objeto de estudo. Em uma palavra, é o que lhe permite exercer sua vigilância epistemológica". Sendo assim, refletir sobre a transposição didática implica considerar que o aluno deva dispor de um conjunto articulado e cada vez mais amplo de recursos expressivos que favoreçam a compreensão e produção de significados. Dessa forma, conteúdos e as atividades podem tornar um conceito mais compreensível, legitimando seu lugar na aprendizagem. Um conteúdo designado como saber a ensinar, sofre, a partir de então, um conjunto de transformações adaptativas que vão torná-lo apto para ocupar um lugar entre os objetos de ensino. "O

trabalho que transforma o objeto de saber a ensinar em um objeto de ensino é denominado Transposição Didática” (Chevallard, 1991, p.45).

É impossível abordar separadamente essas esferas, em qualquer contexto epistemológico. Se estivermos preocupados com o saber ensinado, claro está que iniciemos nossa reflexão pelo saber científico, porque é com base nele que se dá a elaboração discursiva do saber a ensinar. Trata-se de um processo de despersonalização do conhecimento, que desestrutura seu caráter incisivo para dar lugar ao saber a ensinar, visando à produção social do conhecimento. O novo saber constituído, de maneira geral está nos livros didáticos, distanciando-se da história, das reflexões, dos erros e das possibilidades vivenciadas pelos cientistas na elaboração de tais saberes. Nessa perspectiva, o leitor se limita a tomar conhecimento dos resultados e convencer-se de sua validade.

Vigilância epistemológica e os livros didáticos

Valendo-se da teoria de Chevallard (1991), Kang e Kilpatrick (1992) utilizaram o termo “Vigilância Epistemológica” voltado para as deformações científicas em textos escolares. Algumas dessas deformações foram estudadas por López (2001); (1996); Galagovski et al. (2003); Osborne e Fryberg (1991), entre outros. Tal vigilância implica lidar com o processo dinâmico, privilegiando os tempos históricos da produção do saber científico, inevitavelmente apresentado nos livros didáticos como verdade absoluta e inquestionável. Parafraseando Latour (1998), são verdadeiras “caixas pretas” que se apresentam aos professores e alunos para que sejam abertas. Nesse sentido, o professor, ao planejar suas aulas, tem a seu dispor a complexidade de um processo que é dinâmico, onde saberes científicos, objetos e práticas pedagógicas são escolhidos e levados para a sala de aula, muitas vezes sem considerar a complexidade que está por trás de um conceito, de uma definição, de leis e de suas aplicações.

Os livros didáticos, importantes representantes da transposição didática, têm sido objeto de vários estudos evidenciando alguns problemas que trazem consequências preocupantes para seus usuários, professor e aluno. Dentre eles, podemos destacar: uso de termos cotidianos ou alusivos em detrimento dos científicos; representações cotidianas (analogias, metáforas) para indicar uma representação abstrata; descrições com o intuito de nomear ou caracterizar determinado fenômeno, em lugar das relações causais. Estes são apenas alguns exemplos do que comumente encontramos nos livros didáticos. Vale destacar, todavia, que estes aspectos não são nada desprezíveis, se considerarmos que uma parcela significativa de professores os utiliza como única fonte de consulta e validação de sua prática pedagógica.

A literatura científica especializada exerce neste processo uma importante função. Nela, o caminho do cientista ao elaborar seus enunciados, expõe sua trajetória com as controvérsias e os consensos da época em que foram elaborados. Esse exercício pode ajudar o professor a sair da “caixa preta”, quando decide sobre conteúdos e estratégias, do saber a ensinar, visando aprendizagens mais significativas. Valorizar a produção do conhecimento científico, como recomenda Latour (2000) implica seguir os passos do cientista nos momentos e lugares onde eles

planejam, elaboram e reelaboram seus conhecimentos. Cabe ao professor buscar uma aproximação entre texto escolar e seu contexto de produção, criando um espaço metodologicamente interativo e comunicacional.

Com base nesses pressupostos, a transposição aqui discutida aborda um corpo de conhecimentos, sobre partículas e ondas, cujos referenciais teóricos advêm da Física clássica.

Comportamento corpuscular e ondulatório

Na segunda metade do século XVII, Isaac Newton iniciou o estudo da luz e suas propriedades, defendendo a hipótese de que era constituída de corpúsculos. Newton deixou claro que admitia que os corpúsculos de luz e a matéria dos sistemas ópticos tais como espelhos, lentes, fendas e outros trocavam "informações" a que dava o nome ora de "vibrações" ora de "espírito da matéria", ora de "alguma coisa de natureza imaterial".

Onda ou partícula? Eis as principais preocupações a respeito da natureza da luz que ocuparam boa parte do tempo, da história e da vida dos cientistas que se dedicaram a estudar esse assunto. Os principais foram Christiaan Huygens (1629-1695) e Isaac Newton (1642-1727) que defenderam a teoria ondulatória e a corpuscular respectivamente (Carvalho, 2005, p.4).

Afinal, qual é a natureza da luz? Se buscarmos a antiga Grécia, encontraremos relatos de estudos sobre variados fenômenos ópticos mostrando, inclusive, a natureza ondulatória da luz. Não foram somente os gregos que se interessaram pelo fenômeno, mas também os árabes e chineses.

Em que pesem as duas possibilidades, onda ou partícula, a teoria corpuscular era aceita pela maioria dos cientistas do século XVIII. No entanto, Newton havia evidenciado algumas dificuldades com essa teoria, especialmente pelo fato de que a difração não era facilmente observada como era para outros tipos de ondas, por exemplo; o som e ondas de água. Ele não rejeitou a ideia de uma perturbação periódica para os fenômenos luminosos, mas avançou em termos de teoria corpuscular e, por conta de sua notoriedade, sua concepção foi amplamente aceita pelos seus contemporâneos.

O modelo de Newton viria a persistir por muito tempo, não apenas por seu prestígio, mas pela explicação considerada coerente para as cores da luz. Newton tinha escrito sobre um fenômeno curioso, os anéis coloridos que se formavam ao sobrepor duas lentes. Ironicamente, Newton não considerava esse efeito como uma possível propriedade da luz e, no entanto, os chamados anéis de Newton representam uma das melhores provas da natureza ondulatória da luz, uma verdade que o próprio físico não quis reconhecer.

O abalo do modelo corpuscular viria a ocorrer somente no início do século XIX. Por volta de 1803, o físico britânico Thomas Young (1773-1829) resolveu a questão favoravelmente à Huygens realizando o primeiro experimento para demonstrar o caráter ondulatório da luz. Fez um feixe de luz monocromática passar por uma abertura estreita e constatou que num anteparo instalado do outro lado, não surgia simplesmente uma linha nítida, mas sim um conjunto de faixas luminosas de diferentes intensidades. Isso

mostrava que a luz sofria difração, tal como ocorria com as ondas sonoras ou as de um lago. Se a luz fosse constituída de partículas, esse comportamento seria impossível. Para confirmar esse resultado, desenvolveu outro experimento, fazendo a luz passar por duas fendas separadas por uma distância muito pequena e projetou a imagem produzida sobre anteparo distante. Young observou a formação de um padrão luminoso que apresentava áreas claras entremeadas com outras totalmente escuras. No lugar de duas linhas de luz, como era de se esperar, a imagem mostrou uma mancha grosseiramente elíptica, cortada por linhas paralelas escuras, que se caracterizavam por bandas alternadas de escuridão e de luz. Young entendeu que havia demonstrado o comportamento ondulatório da luz, visto que as linhas escuras só podiam ser causadas pela interferência de ondas, da mesma forma que se explicava a interferência das ondas de água.

Apesar dessas evidências, tais demonstrações foram consideradas insuficientes por muito tempo na Inglaterra, até serem complementadas mais tarde pelo trabalho de outros pesquisadores europeus. Com efeito, o experimento da dupla fenda conseguiu abalar a teoria do fenômeno corpuscular da luz, visto que os fenômenos de difração e de interferência eram características exclusivamente ondulatórias. Este foi um dos passos fundamentais para que mais tarde De Broglie propusesse a dualidade partícula-onda, sugerindo a possibilidade de ocorrência desses fenômenos para o caso de partículas.

O experimento da dupla fenda

De acordo com Mollon (2002), um dos legados mais importantes de Young foi o experimento da dupla fenda. Em seus escritos mais antigos, o experimento não aparece em sua forma padronizada, mas foi antecipado em uma de suas palestras, em 1803.

Em 1807 Young apresentou um diagrama que mostrava o padrão de interação das ondas "obtidas ao se lançar duas pedras de mesmo tamanho" ao mesmo tempo em um lago. O diagrama ilustra um conceito de hidráulica, mas ele fez analogias com acústica e ótica. Finalmente, o experimento da dupla fenda aparece em suas *Lectures sobre Filosofia Natural* de 1807, da qual Mollon (2002) destaca:

A fim de que os efeitos das duas porções de luz possam ser, portanto, combinadas, é necessário que elas tenham a mesma origem e que elas cheguem ao mesmo ponto por diferentes trajetórias, em direções não muito afastadas uma da outra [...]. O caso mais simples parece ser, quando um raio luminoso de luz homogênea choca-se contra uma tela, na qual existem dois pequenos buracos ou fendas, os quais devem ser considerados como centro de divergência de onde a luz é refratada em diferentes direções. Neste caso, quando os dois novos feixes formados são recebidos em uma superfície posicionada, visando interceptá-los, suas luzes são divididas por faixas escuras em porções quase iguais, mas essas se tornam mais largas quanto mais distantes a superfície for das aberturas (Young, apud Molon, 2002, p. 815).

De acordo com Crease (2002), em 1961, Claus Jönsson realizou o experimento da dupla fenda com elétrons e em 1989, Akira Tonomura e co-orientadores da Hitachi construíram um sistema em que uma fonte muito fraca era capaz de enviar elétrons individualmente na direção de um bi-prisma. Trata-se em essência de um filamento vertical. Ao alcançarem tal filamento, os elétrons podem passar através de um lado ou de outro deste, de modo similar a um par de fendas. Os cientistas observaram a formação de um padrão de franjas de interferência constituídas por um conjunto de pontos individuais, indicando que o detector estava observando partículas. De modo geral, o experimento da dupla fenda expõe a impossibilidade de se conhecer o comportamento de um objeto quântico enquanto ele não se manifesta como um “fenômeno completo” no sentido dado por Niels Bohr.

O comportamento corpuscular e ondulatório resumidamente aqui apresentado, com seus limites e possibilidades, evidenciam a importância de alternativas metodológicas que diminuam a distância entre um saber científico e o saber ensinado, visando sempre uma legitimação epistemológica.

Abordagem metodológica

O estudo que realizamos apoia-se na transposição didática, especificamente, a interação do professor e alunos durante o desenvolvimento de uma sequência didática sobre o tema que se relaciona ao comportamento de partículas e de ondas, no experimento da dupla fenda. Por se tratar de abordagens pouco utilizadas na prática docente, tanto o planejamento como a aplicação das atividades foram realizadas pelo professor e pesquisador por meio de discussões contínuas em busca de um tratamento mais apropriado para o desenvolvimento da atividade e, conseqüentemente, um tratamento mais aprofundado da temática em questão.

Temáticas que requerem a imaginação e poder de abstração, como a que aborda o experimento da dupla fenda, se revelam adequadas para analisar o processo de transposição didática por possibilitarem explicações e discussões não lineares. Assim sendo, por meio de descontinuidades e ajustes, o professor enfrenta o desafio de lidar com a desconstrução e novas articulações, visando à apropriação e transferência de sentidos, informações e conhecimentos.

O desenvolvimento das atividades

Diante da impossibilidade de controlar e analisar boa parte das variáveis presentes na prática do professor foi dado especial ênfase ao registro cuidadoso das interações verbais entre professor e alunos. Dos registros feitos no desenvolvimento das atividades, foram extraídas seqüências representativas da comunicação, envolvendo alunos e professor/alunos. Assim, o que está em jogo na atividade analisada é a forma como o professor age para fazer uso das estratégias sugeridas, bem como aprimorar as interações em sala de aula, visando construções mais significativas de saberes.

Este estudo de natureza qualitativa foi realizado em três etapas distintas, totalizando 24 horas e envolveu dezenove estudantes do terceiro ano de bacharelado em Química. Um estudo exploratório por meio de observação direta em sala de aula de Química Quântica foi realizado durante dois

bimestres quando detectamos importantes dificuldades no debate de questões da Física Clássica e Mecânica Quântica. Esses alunos eram capazes de solucionar problemas complexos por meio de fórmulas, no entanto, o processo de verbalização do fenômeno parecia-lhes pouco familiar. Nessa perspectiva, as atividades propostas valorizaram momentos de comunicação oral e escrita, com o intuito de tornar mais clara a compreensão dos conhecimentos envolvidos no contexto epistemológico da produção científica.

As atividades foram desenvolvidas fora do contexto da sala de aula, tanto em termos de espaço físico como de programa curricular da disciplina. Os conhecimentos físicos (prévios ou científicos) construídos ao longo da formação desses estudantes foram importantes na condução deste trabalho. Gravadas em áudio e vídeo, das transcrições, foram tomados alguns fragmentos que ilustram, de um lado, o dilema que o aluno enfrenta ao lidar com o saber escolar e de outro, o professor ao tentar intermediar o debate para que o saber a ensinar se torne operacionalizável.

O experimento investigado foi realizado utilizando partículas, ondas e elétrons. Neste trabalho remetemo-nos apenas às entidades físicas: partículas e ondas, desenvolvido, portanto, com base na sequência descrita a seguir.

Organização sequencial das atividades

Para tornar mais inteligível o *corpus* da pesquisa, apresentamos os diferentes momentos realizados independentemente, em dias diferentes, para as entidades físicas partículas, ondas e elétrons, na sequência que segue:

1. leitura do esquema e representação analógica;
2. representação gráfica do fenômeno;
3. elaboração de texto sobre o fenômeno representado;
4. discussão;
5. projeção do filme: Double-slit Theory Quantum Physics Animation;
6. leitura do texto *Quantum Behavior* adaptado e traduzido para o português;
7. questionário de avaliação das atividades.

Ações norteadoras das atividades

Momento 1. Leitura do esquema e representação analógica

a. Cada aluno recebeu um esquema contendo os principais dispositivos necessários para a realização do experimento. No primeiro dispositivo (Figuras 1A e 1B), uma metralhadora dispara projéteis que devem passar por uma parede (uma fenda e duas fendas) e atingir um anteparo onde os tais projéteis se instalam e podem ser identificados. No segundo, o experimento é idêntico (Figuras 2A e 2B) e a entidade física são as ondas. Resumidamente as etapas são:

I. Primeira etapa: Sistema com partículas

Simulação do Experimento da Dupla fenda com partículas

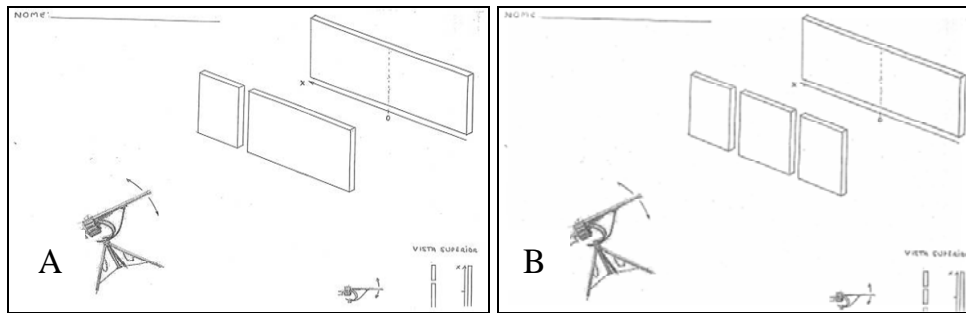


Figura 1.– Sistema com uma fenda (A) e sistema com duas fendas (B).

II. Segunda etapa: Sistema com ondas

Simulação do experimento da dupla fenda com ondas

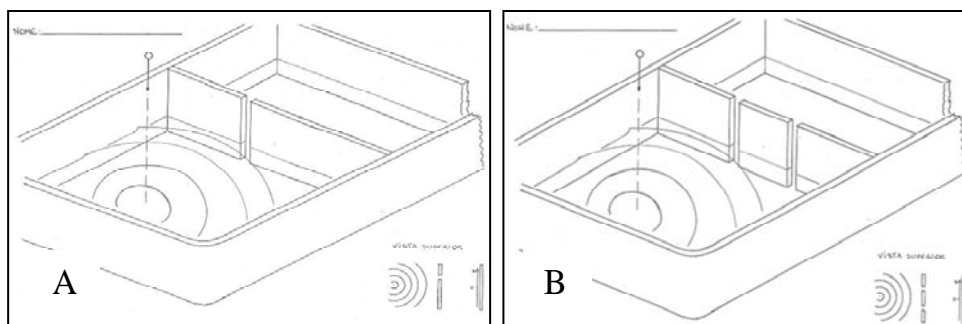


Figura 2.– Sistema com uma fenda (A) e sistema com duas fendas (B).

b. Foi solicitado que desenhassem a disposição final dos projéteis e das ondas após terem atravessado uma parede com fenda simples (Figuras 1A e 2A) e com fenda dupla (Figuras 1B e 2B), em cada atividade. O que se pediu aos alunos, de acordo com os autores da atividade, foi uma representação analógica, uma similaridade representacional do evento físico.

Momento 2. Representação gráfica

Terminadas as representações analógicas, foi solicitado uma representação gráfica de probabilidade de distribuição dos projéteis e das ondas.

Momento 3. Elaboração de texto

Consistia em elaborar um texto contendo os principais argumentos que justificavam suas representações.

Momento 4. Discussão

Os alunos deveriam compartilhar os conhecimentos. Esse momento mostrou-se fundamental no processo da Transposição Didática e consistia em responder às questões: Como foi feita a representação esquemática e gráfica? e em; Por que foi representada assim?

Momento 5. Projeção de filme: Double-slit Theory Quantum Physics Animation

Esta animação teve como objetivo propiciar ao aluno a visualização do fenômeno em estudo, além de possibilitar questionamentos resultantes de

comparações entre o que o aluno representou e o proposto pela animação. A animação pode ser encontrada facilmente no sítio do *Youtube* (<http://www.youtube.com/watch?v=DfPeprQ7oGc>).

Momento 6. Texto de apoio: "Quantum Behavior"

Versão traduzida e adaptada do cap.1, volume III do Livro "*The Feynman Lectures on Physics*". Esta versão é um fragmento do capítulo "Comportamento Quântico", no qual Feynman promove um diálogo bastante interessante com seus interlocutores na proposição de questões polêmicas e nas possibilidades de "respostas" que o experimento da dupla fenda suscita.

Momento 7. Avaliação

Um questionário (questões abertas) versando sobre os diferentes momentos das atividades foi respondido individualmente pelos participantes.

Deste conjunto de ações que compõe as atividades com partículas, ondas e elétrons, remetemo-nos conforme já mencionado neste texto, apenas às entidades partículas e ondas.

Interpretando os dados

Foge do escopo deste trabalho investigar todas as modalidades didáticas empregadas no desenvolvimento das atividades, portanto, é fundamental salientar que nos interessam apenas as falas, das quais é possível identificar o movimento dos saberes a partir da interação do professor e dos alunos. O que se pretende, em última instância, é rever conceitos da Física clássica, por meio de abordagem qualitativa, para que a inserção de novos saberes se dê de maneira mais significativa. Dessa forma, tomamos do experimento da dupla fenda com partículas e ondas, os fragmentos de diferentes momentos sem, necessariamente, seguir linearmente uma determinada seqüência. A opção por uma seqüência longa em cada fragmento deve-se ao fato de torná-lo mais inteligível, bem como ampliar o espectro de elementos implícitos e explícitos do discurso científico escolarizado. Procuramos utilizar alguns fragmentos que enfatizam ora a fala do professor, ora a fala do aluno e momentos interação professor-alunos.

Os fragmentos foram transcritos conforme produzidos, observação que vale para todas as demais escritas de alunos aqui representadas. Para sintetizar as falas transcritas utilizamos sinais que podem ser identificados como: [...] supressão de trecho,... pausa na fala, () manifestação de aluno (s) e professor ou outras informações. Os nomes dos alunos foram representados por números, com o intuito de mantê-los no anonimato.

Fragmento I – apresentação da atividade (ênfase na fala do professor)

O professor inicia a atividade orientando sobre os passos que serão seguidos para o desenvolvimento do experimento da dupla fenda. Com o intuito de evidenciar alguns conceitos clássicos, fundamentais para compreensão do comportamento ondulatório, relatamos momentos da atividade.

Iniciando a atividade

- a) Sistema com partículas

Professor: Então, eu vou distribuir para vocês (distribui uma folha com a representação do dispositivo experimental da dupla fenda)... Esse problema é um problema bastante conhecido na Mecânica Clássica e na Mecânica Quântica... e o problema que vamos tratar aqui, chama-se o problema da Dupla Fenda. Só que para a gente chegar propriamente no problema da fenda [...]. Então, no que se constitui esse arranjo experimental que vocês têm?

Do lado esquerdo desse arranjo vocês têm uma metralhadora. Essa metralhadora, ela tem certa flexibilidade de movimento, para direita, para esquerda e para cima e para baixo. Então ela tem liberdade de movimentação. À frente desta metralhadora vocês têm uma espécie de uma parede e essa parede tem uma fenda, ok? Podem representar aí os projéteis da maneira que vocês acharem melhor, mas vamos imaginar que a metralhadora está dando tiro para todos os lados... um tiro por vez... depois de um certo tempo, como é que vai estar a distribuição de projéteis que vão se encravar... nesta parede? É apenas isto que nós queremos que vocês... representem.

Aluna 1: Qual é a altura?

Professor: A altura, é a mesma altura... da parede da fenda, mas se você precisar de mais dimensões... Em tese é nessa paredinha aí, que você tem que representar os projéteis.

Aluna 2: [...] eixo x ?

Professor: Lá no fundo aí, olha. Lá tem o eixo x , ok? Eu quero que vocês representem qual vai ser a distribuição de projéteis, nessa parede aqui... a do fundo, aquela que tem o eixo x .

b) Sistema com ondas

Professor: Boa noite a todos né..., mais uma vez nos agradecemos a presença de vocês aqui, o fato de ter vindo novamente todo mundo que estava presente na atividade da semana passada, mostra o quanto vocês realmente se comprometeram com o trabalho que a gente está querendo desenvolver [...] a gente agradece de novo, por poder contar com vocês. A Paula acabou de perguntar agora a pouco, de um terceiro encontro. Vai haver um terceiro encontro, que é onde,... esse terceiro encontro é realmente um encontro chave pra essa proposta didática que a gente está querendo estudar, ok? [...].

Bom, vocês têm aí, alguma coisa..., um arranjo experimental. Alguma coisa é até similar àquilo que nós vimos na semana passada, mas na essência nós temos aquilo que nós podemos chamar de um tanque de ondas, agora. Uma espécie de uma cuba que vocês estão vendo aí... mais ou menos na metade dessa cuba tem novamente uma parede com uma fenda. Do outro lado, além dessa parede com a fenda existe uma superfície detectora de ondas. OK? [...] temos uma onda que vai se propagar sobre a superfície desse líquido como vocês estão vendo aí, em direção à fenda. [...]. Nós queremos que vocês representem o que vai acontecer com essa onda quando colidir nessa parede que tem a fenda. [...]

Aluno 1: Professor! Tem líquido dos dois lados?

Professor: Tem líquido dos dois lados, aí no fundo vocês conseguem ver o líquido, a linha do líquido sobre a placa,... a superfície detectora...

Aluna 2: Eu não sei como desenhar... Pode usar a régua? [...]

Professor: O que nós vamos pedir prá vocês agora é a mesma coisa que pedimos na atividade anterior. Vocês vão receber um papel de gráfico, tá... Então, vamos pedir agora, a mesma representação que nós pedimos na atividade passada. Vocês têm o papel de gráfico, aí..., esse papel de gráfico... [...]

Aluno: O que é esse x?

Professor: Esse x equivale a esse eixo x de distância que você tem aqui. Dá uma olhadinha no seu desenho, então, o eixo x que eu coloquei aqui (lousa), ele corresponde a esse eixo x que orienta o espaço na superfície detectora de ondas... ok?

Os aspectos procedimentais foram enfatizados com o intuito de contribuir com a leitura e compreensão dos materiais e questionamentos que orientaram a atividade, evitando-se interrupções e dispersões que pudessem interferir tanto nas respostas dadas pelos estudantes, como no tempo previsto para a atividade. O professor está diante da necessidade imprescindível de mediar a relação entre o aluno e o *saber ensinado*, proporcionando ao aluno sentimento de confiança.

No segundo fragmento, o professor descreve o arranjo experimental, mas agora usando linguagem e dispositivos mais "científicos", *superfície detectora de ondas, gerador, circuito e propagação*. A problemática em questão possibilita aos estudantes utilizarem os conhecimentos científicos estudados em contextos diferentes daqueles que se limitam ao *saber a ensinar*, transposto para a sala de aula, por uma via de mão única, a do livro didático.

Notamos uma excessiva preocupação dos estudantes em compreender todos os elementos do esquema que simula o evento. A perspectiva do erro parece incomodá-los, provavelmente pela "necessidade" de responder corretamente às solicitações. Surgem dúvidas que, como na atividade anterior, explicitam o desejo de conhecer bem o sistema, fazer boas representações e, assim, corresponder às expectativas do professor.

As dúvidas surgidas se apresentam como *feedback* para o professor refletir sobre, até que ponto o *saber científico é retomado* no processo de transposição didática, neste caso as representações (figuras, imagens, desenhos, entre outros) utilizadas na seleção e organização dos recursos e conteúdo da atividade.

Fragmento II – Representação probabilística de distribuição

Nosso intuito no recorte que segue foi o de evidenciar a importância de se levar em conta as interpretações que os alunos podem fazer de representações, figuras ou ilustrações de naturezas diversas.

Buscando a compreensão da proposta

a) Sistema com partículas

Professor: Então, vocês receberam um papel milimetrado, daquele que vocês vão usar muito em físico-química experimental. E o que nós

vamos representar nesse gráfico... eu vou fazer mais ou menos aqui o desenho..., no papel..., o que eu vou pedir prá vocês representarem aqui no papel... é mais ou menos assim né... (na lousa). Eu vou colocar o sistema de referência que nós tínhamos, né... e esse gráfico aqui... ele vai conter: vocês podem até fazer aí à caneta...um, eixo x na mesma orientação que vocês têm... vamos marcar o zero [...] x, nesse eixo que está aqui... Então essa linha vertical marca... a posição zero de x aqui né... ok? E o que eu vou pedir prá vocês é representarem um gráfico, fazer um gráfico de probabilidade né..., de distribuição dos projéteis na parede.

Aluno 1: Qual dos casos? [...]

Professor: Podem fazer agora um gráfico.

Aluna 2: [...] não entendi nada, mas é essa parede do fundo.

Professor: Pessoal oh..., Prestem atenção..., [...] nós temos um gráfico, não temos uma parede. Eu não estou pedindo para vocês fazerem a representação analógica no gráfico. Eu pedi uma representação matemática de probabilidade de distribuição dos projéteis na parede. Percebam isso, ok? Alguma dúvida ainda?...É um gráfico de probabilidades, vocês lembram de gráficos de probabilidade que nós fizemos na quântica?... Psi quadrado, aí vai..., se preferirem.

Aluno 2: Complicou. [...].

b) Sistema com ondas

Professor: Pessoal, vocês receberam também mais um papel de gráfico para fazer agora, a representação da probabilidade de distribuição das ondas na superfície, para um sistema com duas fendas, agora..., ok? Então, novamente um sistema de eixos (x na horizontal e probabilidade na vertical). Representem, então, a distribuição de probabilidades que a gente percebe na superfície detectora de ondas.

Aluna 1: Professor! É um líquido, né? É um líquido normal?

Aluno 1: Líquido normal...?

Professor: É um líquido...

Professor: Pessoal, nós pedimos novamente que vocês... Para o sistema com duas fendas, nós pedimos um texto explicando o porquê da representação que vocês fizeram, aí no verso da figura. Não sei se eu fui claro na explanação do sistema [...], mas dentro do tanque tem líquido[...] e tem um dispositivo que gera onda. Perceberam nessas ondinhas que estão representadas aí que tem líquido que se propaga em direção à fenda. Perceberam isso? Estou esclarecendo porque não sei se isso ficou claro né, e agora que ficou mais claro pra vocês, se quiserem fazer a representação pensando agora na concepção de líquido, ok. [...].

Professor: Pessoal, terminaram essa representação?[...]. Vocês vão receber um papel de gráfico, tá? [...]. Vocês têm o papel de gráfico, aí..., Esse papel de gráfico..., (na lousa, mostra a representação da escala x) e nós queremos que vocês representem, nesse gráfico, a

probabilidade... da incidência da onda naquela superfície detectora de ondas. Ficou claro? [...].

Aluno: O que é esse x?

Professor: Esse x equivale à esse eixo x de distância que você tem aqui. Dá uma olhadinha no seu desenho, então, o eixo x que eu coloquei aqui (lousa), ele corresponde a esse eixo x que orienta o espaço, na superfície detectora de ondas... Ok?

A representação gráfica pede uma linguagem de caráter mais científico (sistema de referência, gráfico de probabilidade). Alguns estudantes tiveram dificuldades em atender o tipo de representação gráfica que estava sendo pedido. Inicialmente, imaginavam que deveriam representar a posição dos tiros no gráfico (analógica) e não uma curva de distribuição de probabilidade (matemático-abstrata). Eles devem ter uma noção cotidiana de probabilidade frequentista (por exemplo, chance de acertar um alvo), mas aparentemente têm menos familiaridade com outras formas de probabilidade e que elas podem ser representadas graficamente.

Surge uma dúvida quanto às características do líquido (é um líquido normal...). A dúvida persiste, pois alguns estudantes entendem que devem existir propriedades no líquido (viscosidade, densidade...) que podem determinar seu comportamento e, por extensão, sua representação. Não podemos ignorar que alguns estudantes tiveram dificuldades em generalizar o líquido na produção de ondas. Provavelmente um dos fatores que os impediriam de prosseguir na tarefa, sem os questionamentos postos, é o fato de os livros didáticos, de maneira geral, simularem a água na proposição do experimento da dupla fenda com ondas. Talvez este seja um dos motivos pelos quais ficaram presos às amarras da natureza do líquido e conseqüentemente às suas propriedades.

O contexto físico e os recursos utilizados são pouco convencionais, portanto, os elementos que compõem a construção didática para significação do saber ensinado devem possibilitar a compreensão clara de todos seus componentes, bem como do fenômeno estudado. É preciso considerar, por se tratar de uma atividade que visa sintetizar conteúdos, pode perder sua efetividade, caso o aluno esteja, no momento de sua realização, sem um domínio mínimo da teoria.

Fragmento III – Momento de discussão (ênfase na fala do aluno)

A discussão se configura como um dos momentos cruciais da interação professor-alunos, qual seja, o de estimular o debate e problematizar os efeitos de sentidos para gerar novas aprendizagens, no contexto do saber ensinado.

Incentivando a verbalização dos resultados

a) Sistema com partículas

Professor: Bem, alguém de vocês gostaria de explicar as representações que fizeram? Quem se habilita? Elas estão aqui, a primeira, e a segunda está na mão de vocês. Ninguém se habilita para explicar? Eu vou fazer o seguinte... vou mostrar três representações para vocês, esta representação aqui..., nós temos esta e esta representação, o mesmo fenômeno representado aqui de três

maneiras que vocês vêem, que semelhança tem essas representações? Se alguém quiser justificar a sua representação, porque ela foi citada aqui, fica à vontade. [...]

Aluno 2: Neste gráfico para mim, mais embaixo da barreira, tem maior abrangência em x , já em cima da barreira tem a menor abrangência em x .

Aluna 1: Entendi que pode chegar a posição da fenda, só tem como afetar uma reta de projéteis, porque ela vai se comportar como partícula, então ela vai estar numa linha reta. Se ele virar um pouquinho, acho que o ângulo já vai fazer com que ele pegue na primeira parede e não vai atravessar, eu acho que a probabilidade...

Aluno 4: A largura e a espessura também..

Aluna 2: Já não é tão considerada já que o professor falou que não atravessa de jeito nenhum, o projétil.

Aluno 5 : Mais... e você tem uma fenda assim..., na parede muito grossa...ela não vai passar para o outro lado...ela tem um espaço ali de intervalo que ela passa...(inaudível)

Aluna 3: Talvez eu discorde... eu discordo disso porque a modalidade de se movimentar é igual de cima para baixo.

Aluno 5: Depende do tamanho...vai chegando perto do... x , por exemplo, quanto mais perto o tiro... passa perto da barreira...meio da fenda...

Aluna 4: mas que altura... mais ou menos...?

Aluna 5 : No centro da fenda, não o tiro de frente... não entendi, dentro da fenda que você fala está de frente, por exemplo... essa mesa e a fenda, vai estar aqui bem no centro a maior probabilidade.

b) Sistema com ondas

Professor: Bom, alguém de vocês gostaria de iniciar o debate.[...]... aí das representações, da mesma forma que fizemos na aula passada [...]... Alguém se oferece aí pra iniciar?

Aluna 1: Oh!, eu acho que a onda vai chegar...na superfície detectora... em toda superfície detectora..., em ambos os casos... No primeiro, eu acho que eu tenho o espaço da fenda, como é um líquido, ele está vindo aqui [numa onda, daqui sai um pedaço e] ele vai se propagando, vai aumentando [...]... vai chegar inteiro, vai bater inteiro no detector. E a outra vai ser... daqui, vai se acoplar com a outra onda e vai bater também inteira.

Professor: Quer mostrar sua representação?

Aluno 1: Primeiro, eu acho que depende da distância de uma fenda pra outra pra ver se ela vai [...] conseguir chegar inteira [depende da distância da onda ou da fenda até a outra pra ver se a onda vai chegar inteira,...[...].

Aluno 2: [eu pensei que a onda interfere,[...] então vai ter interferência construtiva, que os dois vão estar...na hora que chega na fenda...elas vão passar juntas então ela vai estar no mesmo, sei lá, mesma fase, então a interferência vai ser construtiva [e vai ser só no caso desse centro aqui, ó]. Nessa aqui essa onda continua normal [e

aqui vai ser ao contrário, no caso a onda vai ser construtiva e] se bater lá [e a amplitude dela vai ser maior nesse caso...]

Aluno 3: Eu acho que a onda vai chegar num único ponto ao longo do eixo x é uma onda mecânica e essa altura que vai ser o eixo y vai depender da viscosidade do líquido e da amplitude da onda que saiu do gerador.

Aluno 4: Eu acho... no primeiro caso, quando a onda vai passar pelo furo aqui....

Professor: Você não quer mostrar sua figura para os demais...

Aluno 5: Eu acho que vai passar pela fenda e vai se propagar como se tivesse nascido nessa fenda. Aí assim, vai sair em círculo né, e o meio assim perpendicularmente em direção à fenda... vai ser um pouco maior a amplitude lá no anteparo porque ela tem maior energia, não sei... Aqui nas partes laterais assim, vai ser, menos amplitude... no anteparo. No segundo caso, entre as duas fendas vai ter maior amplitude porque a onda vai ser construtiva, aqui há interferência é claro, vai depender da distância entre as duas fendas como a gente viu na outra aula, então vai ser construtiva. E entre as duas fendas vai ser vai ser maior a amplitude lá no anteparo, né por que vai ter maior energia e tudo mais e aqui nas laterais vai ser menor. [...].

Professor: Mais alguém? (aluno 7), quer comentar sua representação, (aluno 7)?

Aluno 7: Então, eu tinha pensado, mas pensei de maneira errada. Eu acho. Mas eu acho que concordei com o da (aluna 3), depois. Acho que vai ter um máximo, uma amplitude máxima no meio, no caso da primeira fenda. Depois vai diminuindo porque a onda que vai bater na parede vai meio que morrer. E a que passar pela fenda, vai continuar a ter amplitude, mas ela vai perturbar ainda o líquido que está em volta dela... então, o que tiver no centro vai ter máxima amplitude e em volta vai ser mínimo, vai diminuir a perturbação... Porém, aqui eu coloquei essas duas aqui, que não existem, porém se eu fosse representar de novo ...eu representaria só aqui, ou seja, um máximo e depois ia diminuindo a amplitude dessa onda ...e essa daqui também, mas eu coloquei o máximo aqui..., só que aqui eu colocaria aqui menor, porque essas duas ondas aqui, considerando essas duas fendas... diminuindo... e, aqui um pouco de cada uma, então ficaria aqui.

Embora professor e alunos alternem momentos da fala, o professor deu oportunidade a todos os estudantes de falarem sobre suas produções, na tentativa de socializar os conhecimentos para que os mesmos pudessem complementar alterar e até rever suas idéias acerca do fenômeno em discussão e, ao mesmo tempo, elaborarem significados. A intervenção do professor neste momento foi intencionalmente limitada, no sentido de explorar as idéias, os entendimentos e a verbalização dos estudantes.

Há que se considerar a dificuldade que os alunos têm em expressar suas idéias. Podemos depreender das falas, no sentido mais amplo, impregnadas de lacunas e repetições, que também é inegável a dificuldade do aluno em traduzir os conceitos próprios da ciência (saber científico) para uma

linguagem não formal, de sala de aula. De maneira geral, essas falas denotam alguns aspectos comuns da linguagem coloquial, que devem ser levados em conta para que produzam sentidos, ou seja, devem ser remetidos às condições de produção do conhecimento científico. Este momento é fundamental no processo de transposição dos saberes e cabe ao professor, a tarefa de possibilitar a significação dos conhecimentos. Nessa perspectiva alguns termos podem ser destacados, dentre eles: *amplitude, intensidade, propagação da onda*, que aparecem repetidamente de forma ininteligível nas falas dos estudantes. Para Chevallard (1991), a textualização do saber e a despersonalização que esta situação implica, tende a promover uma concepção “positivista” de aprendizagem, se não trabalhada adequadamente.

Um aspecto que merece ser destacado é que durante as discussões, influenciados pelas falas dos colegas, muitos deles entenderam que poderiam rever suas elaborações. Esse movimento de revitalização dos conceitos envolvidos na atividade se mostra potencialmente útil. A diversidade de formas de explicitar os saberes que pode decorrer dessa atividade não é vista como limitação. É preciso depois estabelecer conexões e relações que tornem possível novas explicações e interpretações do fenômeno estudado.

Os estudantes, ao expressarem-se por meio da linguagem formal, o fazem por meio de lacunas que podem ocultar aprendizagens exclusivamente memorísticas (Galagovsky et al., 2003). No tocante a essa aprendizagem memorística, apoiada exclusivamente nos livros ou na fala do professor há, na atualidade, um forte apelo no sentido de problematizar os paradigmas da transmissão dos saberes e rever alternativas didáticas que possibilitem o diálogo entre professor e estudantes e entre os próprios estudantes visando à construção de novos sentidos. Cabe ao professor considerar a relação saber/duração como elemento fundamental do processo didático, no sentido minimizar as lacunas das falas em busca de uma forma mais inteligível de expressar os saberes.

Fragmento IV – Incentivando o debate (ênfase na interação)

A sequência aqui destacada contempla a insistência do professor ao instigar e ampliar o debate, num convite à participação.

Professor: Bom, nós, nas atividades anteriores, trabalhamos com sistemas diferentes. Na primeira atividade, nós tínhamos parede de uma fenda, duas fendas, só que nós estávamos lidando com entidades diferentes, que eram os projéteis da metralhadora. Na atividade anterior, nós estávamos, evidentemente, com o mesmo arranjo experimental, uma fenda e duas fendas, no entanto, as entidades ou a entidade com a qual nós trabalhamos foi uma entidade onda, ok? Antes de a gente analisar o resultado de hoje, ou alguma coisa além do resultado de hoje, vamos só dar uma repassada no filminho, até onde nós tínhamos visto até a segunda atividade. Vamos tentar ver o que a gente apreende com relação àquelas duas entidades que nós tínhamos já examinado. Então, acho que é esse sujeito aqui... (se reporta ao filme).

Ok, tínhamos visto esse filminho até aí. O que nós vamos procurar fazer agora é tentar compilar os resultados dessas duas primeiras atividades. Na primeira atividade, nós lidamos essencialmente com que

tipo de entidade?... Na segunda atividade, evidentemente, nós lidamos... o que é que vocês podem nos contar, coisas ou propriedades que são características de cada uma dessas entidades que nós lidamos aqui. Examinando, naturalmente, os desenhos de vocês e o filminho nesses dois experimentos.

Aluna 1: As partículas eram indestrutíveis e as ondas não.

Professor: Quem mais? ... Elas são... que palavra você usou no começo?

Aluna 1: Indestrutíveis.

Professor: Todo mundo entendeu? ok? indestrutíveis?

Aluno 1: Essa partícula sofre interferência destrutiva, só construtiva que não.

Aluna 2: As duas partículas não se juntam e formam uma só e a onda se junta e forma uma só.

Aluna 3: Não tá falando de intensidade, tá falando assim: duas ondas, elas vêm ou elas vêm e elas acabam ou elas se somam e formam uma maior, a partícula ela não se destrói nem gruda uma na outra e forma uma maior, é isso.

Professor: Mais observações? (risos). Então, como é que é essa história que vocês acabaram de debater aqui pode ser colocada na lousa?

O desejo de abordar significativamente os conhecimentos e não o de transmitir uma quantidade de informações pode ser identificado pela mediação do professor, nos dois fragmentos.

No tocante aos conteúdos trabalhados na seqüência didática, estes se referem a conhecimentos previamente estudados, portanto, o nosso propósito de trabalhar diferentes modalidades foi o de instigar os estudantes a pensarem sobre o tema, ativando conhecimentos e relacionando-os com aqueles advindos de novas situações interlocutivas.

De maneira geral, conforme Chevallard (1991, p. 102), o ensino tende a prover os estudantes de respostas a perguntas que eles nunca formularam, então cabe ao professor criar situações que favoreçam a atividade questionadora como zona de elaboração que autoriza a ascensão, por parte dos estudantes, da dinâmica temporal instituída. Nessa perspectiva, o professor tenta uma interação mais dialógica, trazendo para o contexto do saber a ensinar, as características fundamentais que diferenciam "partícula" e "onda", visando fornecer fundamentos para o entendimento do comportamento do "elétron" na atividade subsequente.

Recolocando dúvidas, incertezas e inquietudes, para alimentar e ampliar o debate

No fragmento abaixo está evidente que o professor interfere persistentemente, no sentido de possibilitar a decodificação dos termos e idéias manifestas no discurso dos estudantes, de maneira a torná-los mais inteligíveis, como preconiza um dos pilares fundamentais do processo de Transposição Didática. Nessa perspectiva, o propósito do professor é

envolvê-los em contextos de referências cada vez mais amplos, de maneira a aproximá-los da linguagem da ciência.

Aluno 1: Não sei... Mas de falar que sofre interferência e não sofre, já não está falando isso?

Professor: É, mas eu quero que vocês cheguem a outra noção. Então, do ponto de vista gráfico, como é que vocês distinguiriam essas duas representações que nós fizemos na aula passada, e também baseadas nos textos que nós lemos, né. Nós fizemos duas equações na aula passada, uma para partícula e uma para onda, lembram disso?

Aluno 2: ... a soma das duas unidades...

Professor: No caso de que objeto?

Aluna 1: Partículas.

Professor: E no caso da onda?

Aluna 2: Raiz quadrada...(inaudível).

Professor: ...Essa equação ela é uma equação o quê?

Aluno 5: Unidades.

Professor: E no segundo gráfico?

Aluno 5: Intensidade

Professor: Ok, que tinha então? No primeiro gráfico nós fizemos uma representação de...

Aluno 5: Probabilidade

Professor: E no segundo caso, nós fizemos uma representação de que?

Alunos: Intensidade

Professor: Vamos então colocar essas duas equações na lousa, Ok? [...] no caso de ondas, nós representamos que propriedade, exatamente?

Professor: Intensidade. E no primeiro caso, nós representamos?

Alunos: Probabilidade.

Aluna 2: Eu acho que tem que ter, eu não sei falar certo assim, que nem, uma luz ela pode ser mais forte ou ela pode ser mais fraquinha, isso eu acho que é intensidade. O que é a característica da onda, já uma partícula vai ser do mesmo jeito, sempre, ela não vai ser uma partícula mais gorda ou mais menorzinha... ela vai ser uma partícula só, por isso que o caso dela vai ser probabilidade, é onde ela vai estar, já a onda não, a intensidade dela vai ser mais forte...

Nas suas falas, os estudantes intercalam expressões técnicas (propagar, interferência construtiva...), com cotidiana (pagar, bater, normal...). O professor aproveita a presença de um termo de interferência numa equação (representação matemática) para convidar os estudantes a explicar sua origem física (analógica), a fim de que eles exercitem a transposição do mundo físico para a representação matemática.

Para Chevallard (1991, p.109), “o saber tratado em pré-construções, segundo a lógica implícita de um código de conduta, é um saber frágil, sem vigor, porque depende do contexto de situação, não tolera a variação”. Nessa perspectiva, se o estudante não consegue utilizar seu vocabulário habitual para explicar um fenômeno, ele não apreendeu o conceito, ele não apreendeu Ciências. Cabe ao professor, portanto, recolocar questões que mobilizem os *saberes a ensinar* em contexto mais significativo de reelaboração do conceito. A dificuldade em expressar as idéias pode ser evidenciada na maioria das falas, contudo, o professor consciente de que o *saber a ensinar* é um saber “exilado” de suas origens e separado de sua produção histórica, ou seja, do saber científico, busca aproximações no sentido de possibilitar construções mais efetiva por parte do estudante.

Linguagem coloquial	Significação possível
a. [...] é um líquido <i>normal</i>	Referência à água ou características dos líquidos.
d. [...] ela teria uma <i>força</i> maior que ia ficando mais juntas e chegariam com uma <i>força</i> maior aqui...	Amplitude/energia.
c. [...] como é um líquido, ele está vindo aqui numa onda, daqui sai um <i>pedaço</i> e ela vai se propagando.	“Pedaço” para explicar a propagação e o fenômeno da difração.
d. [...] a onda que vai bater na parede vai meio que <i>morrer</i> e a que passar pela fenda vai continuar a ter amplitude, mas ela vai perturbar..	Um pouco de animismo associado aos termos: bater e morrer. Referência à interferência destrutiva ou à dissipação de energia.
e. [...] eu não fiz o <i>caminho</i> , eu só fiz o <i>caminho</i> na vista superior.	Frentes de ondas.
f. [...] ficou muito curta a distância, ou também ficou muito <i>forte</i> a onda, ou talvez chegue só um <i>pedaço</i> , mas se ela for voltar.	Amplitude.
g. [...] chegue só um <i>pedaço</i> [...], mas se ela for voltar, a onda vai voltar e ela vai bater ...	Falta de linguagem para descrever o processo como um todo, pois não há “pedaços” de onda.
h. [...] elas vão <i>passar juntas</i> então ela vai <i>estar no mesmo</i> , sei lá...	As ondas estarão em fase.

Quadro 1.– Linguagem coloquial x significação possível.

De maneira geral as falas nos remetem a significações possíveis que podem ser identificadas no quadro acima. Os alunos utilizam uma linguagem bastante informal na tentativa de articular as idéias sobre conceitos envolvidos no experimento e empregam termos bastante usuais em suas explicações.

Do ponto de vista do *saber ensinado*, notam-se lacunas na forma como os alunos expressam suas idéias, influenciadas, provavelmente, pelo livro didático, pela fala do professor e outros materiais de divulgação científica. Até mesmo animismo aparece na fala, com a intenção de tornar a comunicação mais clara. No entanto, com o desenvolvimento das atividades, pudemos perceber que os alunos tornaram-se mais confiantes e autônomos no cumprimento das tarefas. Na medida em que iam se familiarizando com as atividades, a intervenção do professor contribuiu

efetivamente, no sentido de aproximar os conhecimentos físicos da sala de aula, próprios do saber a ensinar, da Física do cientista.

Não há dúvida de que se trata de um processo que depende muito da forma como o professor intermedia o discurso. Não basta introduzir “novas” alternativas didáticas em contextos de ensino. Antes de tudo, refletir sobre o processo pelo qual o saber científico se transforma em saber ensinado pode ser um recurso muito útil para que professores e estudantes sejam expostos à argumentação científica. Retomando Galagovsky cabe-nos perguntar: Será que no trânsito dos saberes, valendo-se de alternativas didáticas diversificadas, os estudantes passaram a utilizar linguagem mais correta e científica, própria do *saber científico*? Evidentemente que para responder a essa questão há necessidade de analisar os muitos modos de interpretar e entender as lacunas, o equívoco, o erro, o silêncio, o inesperado, o que foge do nosso propósito. No entanto, levando-se em conta a falta de vivência desses estudantes com modalidades didáticas que lidam com o processo de produção de sentidos de forma interativa e não apenas com o produto, pode-se afirmar que houve avanços significativos que puderam ser percebidos nas falas, durante as atividades e também por meio de avaliação escrita.

Finalmente, é importante ressaltar o fato de que todas as características apresentadas pela Transposição Didática aplicam-se a todos os saberes identificados nesta atividade. Sua aplicabilidade é ampla, porém, o professor deve exercer a vigilância epistemológica, no trânsito dos saberes.

Considerações finais

Refletir sobre a transição dos diferentes saberes, tomando por base a análise da seqüência didática discutida neste texto, pode contribuir para que professor e alunos reconheçam que o sentido da fala está fortemente vinculado ao processo de leitura vivenciado no contexto histórico e social. Além disso, o *saber a ensinar* sistematizado em livros e materiais científicos precisa ser transformado para que, efetivamente, o estudante possa atribuir significados aos fatos e fenômenos do mundo que o cerca. Entre a linguagem cotidiana e a linguagem científica há um distanciamento que corresponde, no último caso, a uma informação que se utiliza de múltiplas linguagens, daí sua complexidade.

Lembramos aqui o propósito da transposição didática, seja o de lidar com os saberes que transitam do *científico ao saber ensinado* e destacamos a importância de se investigar como o professor faz uso desses saberes. Nesse sentido, não basta apenas o professor se apropriar do *saber científico*, já transformado em *saber a ensinar*, mas levar em conta que está diante de um processo complexo e que a sala de aula destina-se a confronto e reelaboração de ideias. Chevallard (1991, p.53), afirma que o uso “crítico”, incluindo o auto-crítico, da análise da Transposição Didática é uma primeira reação, sem dúvida, inevitável frente ao reconhecimento de sua existência.

Os referenciais teóricos utilizados, tanto aqueles favoráveis, quanto aqueles que ressaltam as limitações da transposição didática possibilitam-nos inferir que, sob diferentes perspectivas, a seqüência didática proposta pode ser potencialmente útil para estudos de conceitos que envolvem o experimento da dupla fenda com partículas e ondas. Finalmente, esperamos que os aspectos aqui pontuados, possam contribuir para que, de um lado, o

professor reconheça as necessidades dos alunos no processo de comunicação dos saberes e, de outro, que o próprio aluno reconheça suas dificuldades e encontre formas de superação. Assim, refletir sobre como as práticas educacionais podem ser constituídas para que temas controversos possam ser transpostos para as salas de aula, parece fundamental e contribui para a não simplificação da realidade.

Toda a comunicação entre os agentes envolvidos nesta atividade evidencia algumas lacunas que dificilmente serão preenchidas sem o uso de estratégias que possibilitem uma transposição didática que vise, efetivamente, a legitimação epistemológica. A avaliação das modalidades didáticas aqui empregadas não deve ser entendida como ausência de conteúdo, mas como indício do processo de construção cognitiva. Ao professor cabe a paciente tarefa de estabelecer a conexão necessária entre os diferentes saberes, ou seja, entre as ideias dos alunos e as bases científicas do conhecimento historicamente construído, sempre no sentido de favorecer seu desenvolvimento e aprendizagem.

Referências bibliográficas

Brockington, G. (2005). *A realidade escondida: a dualidade partícula-onda para alunos do ensino médio*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciência). São Paulo: Universidade de São Paulo.

Carvalho, S.H.M. (2005). *Einstein: uma luz sobre a luz*. São Paulo: USP.

Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica: del saber sabio ao saber ensinado*. Argentina: La Pensée Sauvage Editions.

Crease, R.P. (2002). *The most beautiful experiment*. Em <http://physicsweb.org/articles/world/>.

De Longhi, A.L. (2000). El discurso del professor y del alumno: análisis didáctico en clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 2, 18, 201-216.

Feynman, R.P. (1964). *Lectures on physics*. Califórnia: Addison Wesley.

Galagovski, L.R. et al. (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de Ciencias Naturales: un ejemplo para el aprendizaje del concepto de reacción química a partir del concepto de mezcla. *Enseñanza de las Ciências*, 1, 21, 107-121.

Latour, B. (1998, 2000) *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. São Paulo: Editora UNESP.

López, A.R. e C.M. De La Caba (2001). Contenidos personales y sociales en los apartados del conocimiento del medio social y tecnológico de los libros de texto. *Revista Española de Pedagogía*, n. 218, enero-abril.

Mollon, J.D. (2002). The origins of the concept of interference. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, Series A, 360, 807-819.

Mortimer E.F. e P. Scott (2006). Atividade discursiva na sala de aula de Ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7, 3, 1-26.

Osborne, R. e P. Freyberg (1991). *El aprendizaje de las Ciências: implicaciones de la ciencia de los niños*. Madrid: Narcea.

Santos, A.M.N. e C. Aureta (1991). *Uma tarde com o Sr. Feynman: o que é ciência*. Lisboa: Gradiva.

Sardà-Jorge, A. e N. Sanmartí (2000). Enseñar a argumentar científicamente: um reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18, 3, 405-422.

Suassuna, L. (2004). *Linguagem como discurso: implicações para as práticas de avaliação*. Tese (Doutorado). Campinas: Universidade Estadual de Campinas.

Youtube. Double Slit Theory Quantum Physics Animation. Em www.FreeScienceLectures.com.