



DIFICULDADES NA PRODUÇÃO ESCRITA: SIMULANDO O EXPERIMENTO DA DUPLA FENDA

WRITTEN PRODUCTION DIFFICULTY: SIMULATING THE DOUBLE SLIT EXPERIMENT

Neide Maria Michellan Kiouranis¹

Aguinaldo Robinson de Souza²

Ourides Santin Filho³

¹Universidade Estadual de Maringá - UEM - Departamento de Química, nmmkiouranis@uem.br

²Universidade Estadual Paulista – UNESP Bauru/Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência, arobinso@fc.unesp.br

³Universidade Estadual de Maringá - UEM / Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática, osantin@uem.br

Resumo

Este trabalho apresenta os resultados da análise de textos elaborados por estudantes que participaram de uma unidade didática em química quântica. A partir do experimento da dupla fenda com ondas, partículas e elétrons, buscou-se identificar se eles elaboram textos de forma coerente em termos de comunicação, como prevê a linguagem científica e outras manifestações da escrita. Os resultados revelam produções textuais consideravelmente reduzidas, fragmentadas, sem progressão e continuidade das idéias, sem sequência interligada das partes que constituem um todo articulado. Constatou-se, perda do fio de unidade que garante a sua interpretabilidade. Nos aspectos científicos, as propriedades de partículas e ondas se revelaram facilmente na discussão, contudo, as dificuldades na escrita, foram bastante significativas. Dificuldades importantes também foram detectadas nas produções textuais desses estudantes ao lidarem com um sistema que simulou a propagação de elétrons através de uma ou de duas fendas.

Palavras-chave: Produções textuais. Comunicação escrita. Conhecimentos científicos. Experimento da dupla fenda. Ensino de Química Quântica.

Abstract

This study presents the results of a text analysis elaborated by students of quantum chemistry. More specifically, it had the aim to identify whether the learners elaborated texts that provide coherent explanations of the double slit experiment in terms of communication, according to standard scientific language and other written manifestations. Results revealed text productions found considerably reduced, fragmented, lacking progression, continuity of ideas, without an interconnected sequence of the parts that constitute the articulated whole, which thus caused a loss of the unity stream that guarantees its interpretability. As for the scientific contents, although the properties of particles and waves had been easily revealed in the discussion, the difficulties in writing were rather significant. Important difficulties were also detected in the text

productions of these students while dealing with a system that simulated the propagation of electrons through one or two slits.

Keywords: Text productions, Written communication, Scientific knowledge. Double-slit experiment, Quantum chemistry teaching.

Introdução

O objeto desta investigação embasou-se nos textos produzidos em 2006 por estudantes da terceira série do ensino superior do curso de Química, disciplina Química Quântica, de uma Universidade pública estadual, sobre o comportamento de partículas, ondas e elétrons no experimento da dupla fenda. Trata-se do desdobramento de parte de uma investigação realizada em nível de doutorado, no Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciências pela Unesp. Neste recorte, nosso objetivo foi observar o nível de proficiência linguística desses estudantes na modalidade escrita, aliada à compreensão de conteúdos científicos avançados.

Nossa proposta foi a de colocar os alunos em um paradoxo de representação dos elétrons enquanto não ocorresse o que Bohr chamou de um "evento completo", evidenciando as dificuldades inerentes ao processo como um todo. Vale ressaltar que a atividade didática proposta foi utilizada para justificar a introdução da mecânica ondulatória nas aulas, de modo que não procuramos outras possibilidades de representação. A partir da impossibilidade da representação, os alunos perceberam a necessidade de uma descrição abstrata do elétron no sistema de dupla fenda e nos átomos, quando não perturbados. Os alunos já haviam frequentado o curso de química quântica, haviam tido contato com equações de onda, mas não se haviam convencido de sua necessidade para descrever sistemas atômicos.

Os participantes foram orientados pelo professor regente da disciplina já mencionada, em atendimento à nossa solicitação para que desenvolvessem, em dezesseis horas-aula, atividades sequenciais relacionadas ao experimento com fenda simples e duplas, adaptado de obra clássica na área (Feynman, 1964).

As atividades propostas demandaram capacidades intelectuais diferentes: representação analógica por meio de desenho; representação gráfica e produção textual que demonstrasse o processo de raciocínio lógico e coerente aplicado nestes textos não-verbais, por meio de um relatório descritivo com base em duas questões: "O que foi representado?" e "Por que você representou dessa maneira?". Interessa-nos, nesse contexto de produções orais e escritas, as informações e saberes elaborados pelos estudantes de maneira que não reforcemos o tão rejeitado modelo pedagógico da transmissão, bem como não cairmos na falácia de que se pode considerar tudo.

Para análise do objetivo maior desta investigação, focado nas representações textuais, buscamos os fundamentos, sobretudo em De Longhi (2000); Galagovski e Muñoz (2002); Sardà Jorge e Sanmartí Puig (2000). Mortimer e Scott (2002); Andrade e Martins (2006); Almeida (1998, 2004).

As reflexões aqui apresentadas possibilitaram trazer à tona a imperiosa necessidade de se rever as clássicas metodologias de comunicação, tão cristalizadas nos processos de ensino e aprendizagem, para a consolidação dos conhecimentos científicos de Química ou do ensino superior como um todo.

Fundamentos teóricos

Atualmente há consenso entre os pesquisadores acerca da necessidade de integrar, em suas investigações, contribuições da psicologia, sociologia, epistemologia e outros campos do conhecimento que se configuram indispensáveis para inovação do ensino de ciências. No âmbito dessas tendências, surge a linha de investigação que trata de analisar a estrutura e a dinâmica da comunicação em sala de aula. Tal tendência busca compreender a complexidade do processo e analisar como se dá a circulação dos saberes em termos de discurso oral e escrito, o que requer a elaboração de uma metodologia particular, própria do campo da lingüística, e relativamente nova no âmbito das ciências da natureza. 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.

O que parece relevante na contribuição dos pesquisadores já mencionados, é que a diversidade de pontos de vista que decorre de suas investigações lança possibilidades de reflexão sobre a análise do discurso escolar. Nessa perspectiva, eles buscam compreender a transformação entre o discurso científico e o discurso escolar, considerando o processo de significação originado e desenvolvido por meio do uso da linguagem e outras formas de comunicação.

Sardà Jorge e Sanmartí Puig (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 da expressão por meio da escrita. 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 textuais são objetos de aprendizagem nas aulas de línguas, mas não se constituem preocupação das aulas de ciências.

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 se efetivar os conhecimentos conceituais e possibilitar que os estudantes expressem suas ideias com proficiência. Discutindo tal argumentação, Sardà Jorge e Sanmartí Puig (2000, p. 407), asseveram que “para aprender ciência, é necessário aprender a falar e escrever (e ler) ciência de maneira significativa”.

O contexto das aulas de ciências se constitui numa realidade singular e complexa, em que se dá um conjunto de relações que favorecem o diálogo entre seus agentes e o conhecimento científico. Na teoria da interação verbal, defende Bakhtin (2000, p. 281), o dialogismo traduz o princípio de que o discurso é necessariamente dirigido a outro, enquanto a polifonia expressa outros discursos naquele que está sendo engendrado. Os interlocutores situam-se num espaço físico-temporal bem definido e “a palavra é determinada tanto pelo fato de que procede de alguém como pelo fato de que se dirige a alguém”. Sobre os gêneros do discurso, Bakhtin (2000) procura estabelecer algumas diferenças essenciais e classifica-os em *gêneros primários* e *gêneros secundários*. Para ele, “os gêneros primários do discurso aparecem em circunstâncias do cotidiano, que se constituem em situações verbais mais espontâneas. Já os gêneros secundários aparecem em situações mais complexas e relativamente mais evoluídas, especialmente de escrita”.

Na perspectiva discutida por Bakhtin, os discursos se materializam por meio de variados processos e configurações, o que faz da prática discursiva um processo de reelaboração permanente. É fundamental, nesse processo, expor os alunos a uma grande diversidade de textos, permitindo sempre a possibilidade para a emergência de outros discursos, outras leituras, outros sentidos.

Ao analisar um texto oral e comparar suas características com as de um texto escrito, é possível verificar que a língua oral apresenta um caráter fragmentário, próprio da falta de elaboração prévia. Para Suassuna (2004), o texto conversacional é construído espontaneamente, sem tempo para a elaboração, e essa simultaneidade entre planejamento e produção, muitas vezes, leva o falante a não encontrar, no ato da conversação, uma alternativa de formulação imediata e definitiva. Isso faz com que o tópico em andamento seja interrompido, desconstruído, entremeado de inserções.

Orlandi (1996) distingue discurso e texto. O primeiro é um conceito teórico, lugar em que se materializa a relação da língua com a ideologia, portanto, uma prática social. Já o texto é o objeto de análise. Visto nessa perspectiva, o texto ganha importância por funcionar como unidade de significação, no entanto, essa unidade não é fechada nem homogênea, mas aparente e incompleta. Como unidade empírica, com começo, meio e fim, o analista procura entender o texto como estado determinado de um processo discursivo. Ainda na perspectiva da autora, é importante destacar a heterogeneidade do discurso, o que pressupõe dispersão de sentidos que, embora pareça ser uma unidade, sempre remete a outros discursos, buscando realidade significativa. O princípio da heterogeneidade acrescenta a autora, aplica-se também ao texto tanto em relação ao sujeito que ocupa várias posições quanto ao fato de podermos encontrar enunciados de vários discursos que derivam de diferentes formações discursivas.

Os aspectos teóricos postos anteriormente instigaram-nos a investigar as produções textuais elaboradas por estudantes de química sobre conhecimentos da física clássica, pré-requisitos para o entendimento da dualidade partícula-onda.

A abordagem de Feynman para o experimento da dupla fenda

Em sua proposta, Feynman e colaboradores visavam expor os fenômenos que ocorrem ao se procurar detectar elétrons que atravessam um sistema de duas fendas. Trata-se da releitura de um famoso *experimento mental* datado do começo do século XX e elaborado no auge das discussões que opunham diversos cientistas envolvidos na interpretação dos resultados da mecânica quântica. Com essa abordagem, o autor procura evidenciar a estranheza do comportamento dos elétrons ao interagir com sistemas de detecção, impedindo que eles possam ser caracterizados de modo independente do observador. Para fazer tal abordagem, Feynman procura, numa primeira etapa, resgatar e consolidar conceitos de mecânica clássica sobre o comportamento de projéteis e ondas, duas entidades físicas explicáveis pelas leis de Newton. Estas duas entidades consolidam o comportamento geral de partículas e ondas, que podem ser diferenciados pelas seguintes características:

Partículas: têm trajetória definida, que pode ser representada ponto por ponto por uma função unívoca, com uma e apenas uma posição x em cada tempo t . As partículas, ao se deslocarem, transportam energia e massa. Partículas não exibem interferência e nem difração ao interagirem com fendas ou obstáculos. A detecção de partículas é feita em unidades inteiras, sem a detecção de frações de partículas. Desse modo, não se pode falar em *intensidade* de partículas.

Ondas: a trajetória das ondas é indefinida, a função que a descreve não é unívoca, em particular quando ocorre o fenômeno de difração, efeito exibido pela onda ao atravessar uma fenda com largura da ordem de seu comprimento de onda. Na difração, a fenda atua como uma fonte de ondas esféricas, cuja trajetória não é definida por uma linha simples, mas por uma superfície de propagação. Na presença de outras ondas, pode ocorrer interferência. Ondas também transportam energia, no entanto, não transportam massa. Para as ondas, é possível falar em *intensidade*, que pode mudar continuamente e não de modo quantizado em unidades, como no caso das partículas.

A partir da hipótese de que essa primeira etapa do experimento permite consolidar as diferenças entre as duas entidades acima descritas, a segunda etapa consiste em colocar o leitor em contato com *o mesmo experimento* (isso é importante, porque, exceto o tamanho do arranjo experimental, que para elétrons tem que ter dimensões diminutas, as demais características eram as mesmas - uma fenda, duas fendas e um anteparo). Entretanto, nesse experimento o objeto foram os elétrons, que têm características de *partículas* e de *ondas*.

Com base nessa abordagem, Feynman expõe as diferenças que surgem ao se detectar os elétrons que atravessaram uma fenda, mostrando comportamento corpuscular, e duas fendas, momento em que exibem comportamento ondulatório. A partir da questão de como e porque este comportamento muda, o autor traz ao texto a impossibilidade do resultado da detecção independe do próprio observador. Além disso, 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 (PESSOA JUNIOR, 2005). É a impossibilidade de caracterização dos elétrons como entidades independentes da observação que faz emergir a ausência de representação analógica (o que inclui qualquer imagem mental) de um elétron que percorre o espaço entre duas fendas de dimensões apropriadas e um detector. As consequências filosóficas deste resultado não são nada desprezíveis. A mecânica de Newton havia estabelecido uma corrente filosófica conhecida como determinismo clássico. Segundo essa corrente, conhecidas as variáveis dinâmicas de um sistema (posição inicial e velocidade) seria possível prever *completamente* a situação passada e futura desse sistema. Isso equivale a dizer que, pelo menos em teoria, se fosse possível construir um computador e alimentá-lo com as informações de posição e velocidade de todos os corpos do Universo, seria possível determinar a situação futura do Universo todo ou, dito de outra forma, nosso futuro seria já conhecido, a menos da limitação da construção do computador que fizesse os cálculos.

Desenvolvimento das atividades

Conduzidas em três etapas e em diferentes dias, as atividades totalizaram dezesseis horas, gravadas em áudio e vídeo, em período contraturno às aulas. Tomamos desse conjunto de atividades os textos elaborados com finalidade explicativa correspondentes aos dois primeiros momentos em que cada entidade, partículas, ondas e elétrons (partícula-onda), foi estudada. Resumidamente, estes momentos podem ser descritos como seguem:

1. Os alunos receberam um esquema que simulava o experimento da fenda simples e outro com fenda dupla. O dispositivo experimental, adaptado de Feynman, exibia uma parede com fendas e um anteparo, no qual os alunos, fazendo uso da imaginação, deveriam representar a entidade (partícula, onda, partícula-onda) depois de atravessar a parede. A questão proposta: Representem a disposição das entidades físicas (partículas, ondas, elétrons) no anteparo final do esquema recebido.

2. Pede-se aos alunos que façam a transposição da representação analógica (etapa 1) para um gráfico (representação matemática).
3. Finalizados os dois primeiros momentos, sem a interferência do professor, os alunos elaboraram textos que contemplaram as etapas anteriores da atividade e responderam às questões: O que você fez? Por que foi representado assim?

De maneira geral, a interpretação do experimento possibilitava algumas considerações que o aluno poderia abordar em seu texto, como inferência ou como hipóteses possíveis para solucionar o problema proposto.

Nas etapas subseqüentes os estudantes vivenciaram situações de ensino que compreendiam: discussões sobre as atividades; leitura do texto do Feynman; visualização de uma animação sobre o fenômeno. A unidade didática foi aplicada a alunos que já haviam frequentado o curso de química quântica e adquiriram alguma familiaridade com a mecânica ondulatória. Em seus aspectos gerais, a unidade contemplou, além do que trata esse trabalho, a leitura de texto de Richard Feynman e a exibição de filmes de animação e de experimento conduzido em 1989 pela Hitachi, em que se evidencia o comportamento dual do elétron em sistema similar à dupla fenda. Os resultados foram discutidos à luz da interpretação ortodoxa da mecânica quântica.

Alguns detalhes das condições iniciais para cada etapa são relatados abaixo.

Sistema com Partículas:

O esquema representava uma metralhadora giratória montada sobre um eixo fixo, podendo executar disparos em todas as direções. À frente da mesma havia uma parede contendo uma fenda não alinhada com o centro da metralhadora. Após essa parede havia outra, sobre a qual os projéteis podiam se fixar. Nesse anteparo havia um sistema de eixos cartesianos, cuja origem estava alinhada com o ponto de fixação da metralhadora. No arranjo, parte dos projéteis passava pela fenda e iam se fixar mais provavelmente numa posição deslocada do centro de coordenadas.

A partir do resultado acima, os alunos eram convidados a fazer uma transposição do analógico para o matemático, representando em um gráfico a distribuição de probabilidades de se localizar projetos no anteparo. Nessa condição, duas características eram esperadas: 1) o máximo de probabilidade estaria localizado fora do centro de coordenadas e, 2) a curva não apresenta simetria em torno de seu máximo, dadas as dimensões de largura da fenda, posição e espessura da parede que a contém.

Numa segunda etapa, os alunos foram convidados a repetir suas representações, agora num sistema de duas fendas, dispostas de modo simétrico com relação ao centro do sistema de coordenadas.

Sistema com Ondas

Sistemas similares aos anteriores com uma ou duas fendas, agora imersos num “tanque de ondas” foi apresentado aos alunos e a eles foi proposto que fizessem as mesmas representações analógicas e matemáticas, agora para *ondas*. Esperava-se uma representação qualitativa do fenômeno ondulatório e do gráfico de probabilidades.

O resultado esperado dependia de diversas condições iniciais, inclusive a serem imaginadas pelos alunos, tais como a frequência e o comprimento de onda gerado. Contudo, esperava-se que os mesmos fossem capazes de perceber a possibilidade de difração e interferência e de suas representações no anteparo e no gráfico de probabilidades (no caso, de intensidade das ondas).

Sistema com Elétrons

É importante lembrar que as duas primeiras atividades (partículas e ondas) visavam consolidar as propriedades destes objetos, que fazem, em maior ou menor grau, parte do cotidiano das pessoas. Na terceira atividade (elétrons), o arranjo experimental era similar aos dois primeiros, com a ressalva da hipótese da escala atômica do arranjo das fendas e da presença de um canhão de elétrons.

Esperávamos, com essa etapa, colocar os estudantes diante de um objeto que se comporta de modo estranho, determinado exclusivamente pelas condições experimentais estabelecidas e pelo tipo de detector adotado. Ora ele se comporta como partícula, ora como onda, dependendo do operador do experimento, sem mostrar, afinal, como se dá o fenômeno de interferência de partículas – comportamento inesperado no mundo macroscópico da física clássica. As mesmas representações analógicas e gráficas foram solicitadas.

Ao término de cada uma das atividades acima, para sistemas com uma e com duas fendas, foi solicitado que os estudantes produzissem um texto para justificar suas representações analógicas. É nessa produção que nos deteremos nesse trabalho.

Análise e discussão dos dados

Considerando que este trabalho investiga características da linguagem escrita dos alunos, adaptamos algumas categorias de Sardà-Jorge e Sanmartí Puig (2000):

- I – Dados: são os fatos e fenômenos sobre os quais é construído o texto argumentativo;
- II – Justificativa: razão principal do texto que permite passar dos dados à conclusão;
- III – Conhecimento científico: conhecimentos básicos específicos que validam a justificativa;
- IV – Conclusão: valor final que se quer assumir com base na tese inicial;
- V – Exemplificação: relação entre ciência e vida cotidiana.

Tais categorias foram consideradas ao se levar em conta que se constituem elementos básicos indispensáveis para tornar qualquer texto inteligível. Não é intenção, portanto, investigar regras de ensino de produção textual sob a perspectiva do campo da lingüística. Cabe lembrar que os sujeitos elaboraram seus textos como forma de comunicação escrita acerca da atividade da fenda dupla, já mencionada. Assim, a produção textual foi elaborada num contexto imediato, totalizando 57 textos sobre a temática por eles vivenciada.

Distribuição quantitativa das Produções Textuais de acordo com as entidades físicas: partículas, ondas e elétrons, considerando as categorias propostas.

Dos 57 textos produzidos, constam desta distribuição: 17 textos sobre partículas; 13 sobre ondas e 17 sobre elétrons. Não foram considerados aqueles que não se adequavam às categorias propostas.

Quadro 1 – Produção textual - Partículas

Categorias	Ocorrências		
	Aborda satisfatoriamente	Aborda parcialmente	Não aborda
I – Dados	05	12	-
II – Justificativa	10	03	04
III - Conhecimento científico	03	07	07
IV – Conclusão	11	04	02
V – Exemplificação	01	01	15

Quadro 2 – Produção textual - Ondas

Categorias	Ocorrências		
	Aborda satisfatoriamente	Aborda parcialmente	Não aborda
I – Dados	05	07	01
II – Justificativa	09	02	02
III - Conhecimento científico	04	07	02
IV – Conclusão	09	02	02
V – Exemplificação	-	03	10

Quadro 3 – Produção textual - Elétrons

Categorias	Ocorrências		
	Aborda satisfatoriamente	Aborda parcialmente	Não aborda
I – Dados	03	13	01
II – Justificativa	07	03	07
III - Conhecimento científico	04	07	06
IV – Conclusão	-	17	-
V – Exemplificação	01	02	14

Se compararmos os quadros acima, notamos que, quantitativamente, o número de ocorrência das categorias, nos textos analisados, não se altera de maneira significativa para as três entidades físicas consideradas. Nessa perspectiva, a única categoria que se diferencia em termos desejáveis é a conclusão para a entidade *partícula* com um total de 11 textos. Nas demais categorias, podem ser notadas tanto uma carência acentuada como excesso de textos com características que pudessem indicar certa coerência nas produções textuais dos alunos. Vistos nessa perspectiva, a grande maioria das elaborações revela características de uma produção falada, decorrente, provavelmente, da falta de oportunidade que o aluno tem de fazer uso de estratégias de ensino que incentivem a escrita.

Em termos dos conhecimentos específicos que visavam consolidar as propriedades de *partículas* e *ondas*, não é possível, de modo geral, encontrá-los claramente nos textos. Contudo, se buscarmos nas representações analógicas e gráficas, é possível identificar tais propriedades que, de certa forma, validam nossa intenção de resgatar conhecimentos da mecânica clássica. O mesmo não se pode observar e tampouco comparar quando lidamos com as representações relacionadas ao comportamento dual do elétron. Nesse sentido, os textos sobre as três entidades

físicas, por si só, não comunicam a intenção do autor. Para significá-los, há que se buscarem outras leituras nas diferentes produções. Depreende-se daí uma importante necessidade de se privilegiar estratégias de ensino que exijam a escrita como fator de comunicação de processos mais elaborados em contextos de aulas de química.

Estudos que abordam as três entidades em foco também foram realizados por Pereira, Cavalcanti e Ostermann (2009, p. 82) e mostram que os estudantes “[...] não conseguem reconhecer com clareza quais são as situações em que o fenômeno é essencialmente corpuscular ou tipicamente ondulatório”.

Destacamos do conjunto de elaborações dos estudantes aquelas que, quantitativamente, representam o menor e o maior extremo da produção textual, em termos de elementos conceituais, para as diferentes entidades. Esses extremos quantitativos nos dão uma idéia clara da tipologia adotada pelos alunos, já identificada como descritiva. Os textos foram transcritos conforme produzidos.

Texto 09 - Partículas

Fenda Simples: Imaginei as seguintes trajetórias ilustradas na vista superior levando em conta que a arma tem mobilidade para cima e para baixo e que a fenda é estreita.

Fenda Dupla: Imaginei as seguintes trajetórias que ilustrei na vista superior levando em consideração que a arma também tem mobilidade para baixo e para cima e que a fenda é estreita.

Texto 15 - Partículas

Fenda Simples: A justificativa para o experimento se deve,/ como a metralhadora possui livre rotação, se movendo para todos os lados, para cima e para baixo, o preenchimento será total,/ mas será um pouco mais deslocado para a esquerda, pois a metralhadora está alinhada com o centro da parede. Ao virarmos ela, para disparar os projéteis, vão passar pela fenda,/ mas eles estão numa trajetória retilínea. A mesma inclinação que a metralhadora faz com o centro da parede, a trajetória também faz/, por isso, os tiros estão deslocados para a esquerda.

O eixo x do gráfico é como se fosse a parede, o centro do gráfico seria o centro da parede./ Como é um gráfico de probabilidade, não podemos afirmar com 100% de certeza onde todos os projéteis estarão. A maior probabilidade está representada por x_0 , que seria a distância da incidência dos projéteis até o centro.

Fenda Dupla: O experimento pode ser justificado como no primeiro caso, mas agora possui duas fendas, os projéteis passaram pelas duas, como elas estão separadas à mesma distância do centro, os projéteis estarão nas duas extremidades, e se distribuem. O gráfico apresenta duas probabilidades.

Os textos 09 e 15 sobre partículas ilustram os extremos (maior e menor texto) encontrados no conjunto das produções. Cabe destacar que o estilo predominante é o de frases curtas, rupturas de ideias, desconexões, explicações insuficientes, falta de elementos epistemológicos e até mesmo de conhecimentos básicos que expliquem o fenômeno.

No texto 15, no ponto indicado pela primeira barra, o aluno interrompe o enunciado antes mesmo de formular plenamente a informação. Mesmo se tratando de uma interrupção brusca, não afeta o desenvolvimento contínuo e natural da ideia que explica o fenômeno estudado. No entanto, outros conhecimentos da mecânica clássica, fundamentais nessa atividade e já estudado nas aulas de Física, não aparecem nos textos.

Texto 19 - Ondas

Fenda Simples: *No meio a probabilidade é máxima porque a onda passa sem sofrer desvios, ou com pequenos desvios, ao lado direito e esquerdo temos também uma detecção, mas com intensidade diferente.*

Fenda Dupla: *A ideia é igual a uma fenda considerando os desvios da onda nas fendas.*

Texto 30 - Ondas

Fenda Simples: *As ondas feitas pelo objeto podem chegar a qualquer lugar da parede se tiver intensidade apropriada. No gráfico o eixo y representa a intensidade e o eixo do x o lugar da parede receptora. O gráfico mostra que frente à fenda há maior intensidade do que os outros pontos (levando em conta que o objeto caiu alinhado com a fenda), e essa intensidade vai diminuindo, quanto mais distante do local onde tem maior intensidade.*

Se levarmos em conta que as ondas batem na parede e voltam irão poder mudar porque de alguma forma pode ocorrer interferência.

Fenda Dupla: *Agora ocorre interferência entre duas ondas sendo esta construtiva, se as ondas estiverem a mesma distância da parede, nela temos em $x=0$, o lugar de maior intensidade.*

Texto 34 - Elétrons

Fenda Simples: *Imagino que o feixe de elétrons se comporte de tal forma a incidir apenas na abertura da fenda, observando um comportamento ondulatório e não de partícula, como no caso das balas da metralhadora.*

Fenda Dupla: *Nenhuma observação*

Texto 39 - Elétrons

Fenda Simples: *A questão da dualidade onda-partícula está incluso nesse sistema como se trata de emissão de elétrons, mas levando em conta a massa do elétron, a trajetória que esse elétron percorrerá até chegar no detector de elétrons – elétrons, no entanto implicará um certo momento que o elétron estará se comportando como onda. Assim sendo, a posição do elétron no detector de elétron será afetada devido a fenda, a trajetória e também a força gravitacional também um fator predominante para a posição no detector de elétrons.*

Fenda Dupla: *Levando em consideração as duas fendas, influenciará em uma melhor*

distribuição da posição dos elétrons, no entanto o que será levado em conta será a questão do comportamento da onda do elétron o que propiciará ondas construtivas e destrutivas, assim sendo o gráfico de representação será distribuído em sua probabilidade.

Encontramos, na maioria dos textos, um conjunto de frases muitas vezes soltas e justapostas, as quais não deixam entrever seus limites nítidos e conexões, cujos tópicos não se configuram unidades de sentidos. Os parágrafos são compostos por uma mistura de frases que se associam, tentando uma interdependência, mas seguem sem a pontuação adequada. Um discurso escrito com características própria da fala.

O que se pode notar também é que, dos 19 alunos participantes da atividade, apenas um demonstrou preocupação com o comportamento do elétron, como se verifica no texto 48.

Texto 48: Fenda simples

Considerarei o elétron como partícula, eles preenchem a esquerda da parede com uma maior intensidade como podemos verificar no gráfico. O elétron saindo possui uma trajetória definida.

Texto 48: Fenda dupla

Considerarei o elétron como partícula, por isso assume comportamento como se fosse um projétil. Considerarei um elétron por vez. Mas ficou algumas dúvidas: Elétron é partícula ou onda? Como ele se comporta? Como fazer a junção dos gráficos? Ele bate na parede e muda a direção? Pode considerar como um feixe de elétrons? Os elétrons presos na parede geram alguma influência? Podemos considerar a massa?

Embora o aluno tenha tentado simplificar a solução ao tomar o elétron como partícula, suas dúvidas denotam a estranheza que tal opção causa diante das possibilidades que o experimento permite. Trata-se, então, de um excelente recurso didático, que, nesse caso, poderia esclarecer tal impossibilidade, remetendo à noção de que, não havendo modelo analógico, resta, como único modelo possível para representar o comportamento do elétron, o modelo matemático.

A produção textual, como já referida, foi livre, com o intuito único de que todos os alunos pudessem escolher a sua maneira de potencializar a escrita na utilização dos conceitos inerentes ao fenômeno. Julgamos que, frente a essa liberdade, o aluno pudesse, de acordo com seu estilo, transferir seus conhecimentos em unidades que teriam, além dos padrões da linguagem escrita, o seu estilo próprio. Esta forma de solicitar a atividade, todavia, pode não ser a mais eficiente.

Considerações finais

Após o cotejamento da produção de textos não-verbal (representação analógica e gráfica) e os escritos, percebemos que há uma grande distância entre essas específicas competências intelectuais. A capacidade de leitura das representações analógicas e as respostas dadas, bem como as suas respectivas representações em forma de gráficos denotam raciocínio lógico,

coerente e assertivo, que podemos considerar um fator positivo quando enfocamos o aspecto positivo deste conteúdo. Provavelmente, isto decorre de metodologia que privilegia apenas parte da formação intelectual dos nossos estudantes, qual seja, a repetição de exercícios que visam apenas a reprodução do conhecimento científico. Contudo, mediante uma solicitação que se exige outra capacidade intelectual como a escrita, esses mesmos estudantes demonstram grande dificuldade em expressar todos os procedimentos utilizados para as explicitações, sejam na representação analógica e gráfica.

As produções textuais revelam um baixo domínio da variedade formal no que tange à linguagem científica. Isto é, seus textos, geralmente curtos, apresentam-se de forma fragmentada, sem progressão e/ou continuidade do pensamento para formarem uma unidade de sentido. São frases justapostas e sem as devidas articulações, que dificultam qualquer modalidade de significação. Tais resultados acenam para a necessidade de se rever as abordagens suscetíveis de respostas unívocas, rígidas, com ênfase nas “verdades” científicas.

Referências

ALMEIDA, M. J. P. M. *Discursos da Ciência e da Escola: ideologias e leituras possíveis*. Campinas: Mercado de Letras, 2004.

_____. O texto escrito na educação em física: enfoque na divulgação científica. In ALMEIDA, M. J. P. M. de ; SILVA, H. C. da. (orgs). *Linguagens, Leituras e Ensino de Ciências*. Campinas: Mercado de Letras, 1998.

ANDRADE, I. B. ; MARTINS, I. Discurso de professores de ciências sobre a leitura. *Revista Investigações em Ensino de Ciências*. v.11, n. 2. Porto Alegre, 2006.

BAKHTIN, M. *Estética da criação verbal*. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

DE LONGHI, A. L. El discurso del profesor y del alumno: análisis didáctico en clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, n. 18, v. 2, p. 201-216, 2000.

FEYNMAN, R. P.; LEIGTON, R. B.; SANDS, M. *Lectures on physics*. Califórnia: Addison Wesley, 1964.

GALAGOVSKI, L. R.; MUÑOZ, J. C. La distancia entre aprender palabras y aprehender conceptos: o entramado de palabras-concepto (EPC) como um nuevo instrumento para la investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 20, n. 1, p. 29-45, 2002.

MORTIMER, e. & SCOTT, P. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sócio-cultural para analisar e planejar o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.7, n. 3, p. 1-24, 2002.

ORLANDI, E. P.; *A linguagem e seu funcionamento: as formas do discurso*. Campinas, SP: 1996.

PÊCHEUX, M. *O discurso: estrutura ou acontecimento*. 4. ed. Trad. Eni Puccinelli Orlandi. Campinas, SP: Pontes, 2006.

PEREIRA, A. P.; CAVALCANTI, C. J. DE H.; OSTERMAN, F. Concepções relativas à dualidade partícula-onda: uma investigação na formação de professores de física. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 8, n. 1, p. 72-92, 2009.

PESSOA JUNIOR, O. *Conceitos de física quântica*. v. II, São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

SARDÀ JORGE, A.; SANMARTÍ PUIG, N. Enseñar a argumentar científicamente un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 18, n. 3, p. 405-422, 2000.

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