Conjecturas

DOI: 10.53660/CONJ-1510-2B03

Argumentação no discurso oral e escrito de estudantes do ensino médio em uma sequência didática de física moderna

Debate in oral and written speech of high school students in a modern physics didactic sequence

Nelson Barrelo Junior[1]*, Anna Maria Pessoa de Carvalho[2], Elcimar Pessoa Rocha[3]

RESUMO

Este artigo apresenta parte de uma pesquisa em que estudamos como se desenvolve o processo argumentativo dos estudantes sobre o conceito de fóton e se os estudantes se apropriam das interpretações da Mecânica Quântica para a natureza e o comportamento da luz. Para alcançar nossos objetivos, fizemos uma revisão da literatura sobre a importância da inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea na escola média, das abordagens da Mecânica Quântica quanto à natureza e comportamento da luz, e das bases teóricas que alicerçam a análise da argumentação em sala de aula. A partir dessa revisão, foi possível perceber que o discurso dos estudantes é um fator de verificação de sua apropriação de conceitos. A análise das falas dos estudantes ratificou essa constatação. Transcrevemos as falas e os gestos de quatro de onze aulas de uma sequência de ensino que objetivava investigar a natureza e o comportamento da luz em um interferômetro real e em uma extrapolação para o ideal, utilizando o arranjo experimental de Mach-Zehnder e um programa de computador que simula esse experimento. As gravações foram feitas em duas turmas do terceiro ano do ensino médio de uma escola pública. Para responder às questões de pesquisa propostas, foram analisadas as aulas que sistematizavam as discussões e os registros escritos finais dos estudantes. A partir dos dados, foi possível verificar a ocorrência de indicadores de alfabetização científica, a estrutura do discurso oral dos estudantes e a apropriação de conceitos de Física Moderna e Contemporânea por estudantes de ensino médio.

Palavras-chave: Ensino e aprendizagem; Física; Argumentação em sala de aula; Física moderna e contemporânea.

ABSTRACT

In this research, we studied how the students develop an argumentative process on the concept of a photon and whether they adapt the interpretations of quantum mechanics on the nature and behavior of light. In order to achieve our objectives, we revised literature on the importance of inclusion of Modern and Contemporary Physics in high schools, importance of the approaches to quantum mechanics on the nature and behavior of light and theoretical foundations that consolidate the analysis of the argumentation in the classroom. From this revision, it was possible to realize that the students' debate is a verification factor of their appropriation of concepts. Analysis of their speeches confirmed this observation. We transcribed the speeches and the gestures of four out of eleven classes of a teaching sequence which aimed to investigate the nature and behavior of light in a real interferometer and in the extrapolation of an ideal interferometer, using the Mach-Zehnder experimental set-up and a computer program that simulates this experiment. The

[1] Universidade Federal Fluminense
* Email: nbarrelo@id.uff.brr
[2] Universidade de São Paulo
[3] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia

recordings were carried out in two third-year high school classes of a public school. With the objective of responding to questions of proposed researches, we analyzed classes that systematized the discussions and the students' final written registrations. From the data, it was possible to verify the occurrence of indicators of scientific literacy, the structure of the students' oral debate and the appropriation of Modern and Contemporary Physics concepts by the high school students.

Keywords: Teaching and Learning; Physics; Argumentation in the classroom; Modern and contemporary physics.

INTRODUÇÃO

A pesquisa que vamos apresentar teve como embrião um projeto que se desenvolve por um grupo de pesquisa formado por uma equipe de professores da rede pública do Estado de São Paulo e pesquisadores em ensino de Física da Universidade de São Paulo, intitulado "Introdução de Teorias Modernas e Contemporâneas na Física do Ensino Médio", no Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física (LaPEF) da Faculdade de Educação (FEUSP). Com apoio da FAPESP e do CNPq, este grupo, reunindo-se semanalmente no LaPEF/FEUSP, visava, por meio de análises e reflexões, desenvolver pesquisas em inovações curriculares que possibilitassem a transposição das teorias modernas e contemporâneas para a sala de aula. Três temas dominavam a atenção do grupo, a saber: Física de Partículas, Teoria da Relatividade e Dualidade Onda-Partícula.

Nossa pesquisa partirá da proposta apresentada por Brockington (2005) – a discussão da dualidade onda-partícula – cujo curso elaborado compõe-se de aproximadamente 52 aulas, divididas em onze temas designados blocos de conteúdo, a serem ministrados ao longo de um ano letivo, iniciando-se na abordagem do uso dos modelos no cotidiano e na física e concluindo com uma análise e discussão da dualidade onda-partícula. O curso tem sido aplicado desde 2004 por professores da rede pública estadual interessados na inclusão de Física Moderna e Contemporânea no Currículo Escolar.

Viemos aplicando esta sequência de ensino, desde 2006, em um curso regular de ensino médio, para estudantes do terceiro ano, e propusemos uma alteração do décimo bloco, com a inclusão da montagem e exploração de um interferômetro de Mach-Zehnder e do uso de uma simulação de computador, em substituição de uma encenação teatral que visa uma analogia pessoa-fóton.

Esta pesquisa objetiva identificar como ocorre a argumentação dos estudantes sobre o conceito de fóton durante um conjunto de atividades de laboratório de

investigação, com a construção e exploração de um interferômetro e com outras de experimentação de pensamento.

Procuraremos verificar se, durante essas atividades, os estudantes se apropriam das interpretações da Mecânica Quântica sobre a natureza e o comportamento da luz.

Os referenciais teóricos que embasam tal pesquisa devem versar sobre Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio, a natureza e o comportamento da luz e, finalmente, a argumentação em sala de aula e o discurso dos estudantes como forma de verificação de aprendizagem.

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO

Diversos autores têm apontado para a necessidade de inserção de FMC no currículo de Física da escola média.

Os *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio* (PCNEM) afirmam que

> […] as novas tecnologias de comunicação e da informação permeiam o cotidiano independente do espaço físico, e criam necessidades de vida e convivência que precisam ser analisadas no espaço escolar. A televisão, o rádio, a informática, entre outras, fizeram com que os homens se aproximassem por imagens e sons de mundos antes inimagináveis. (BRASIL, 1999, p. 132).

Enquanto no PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), tais ideias são reforçadas e delineiam-se os caminhos a serem seguidos no ensino de Física:

> A presença do conhecimento de Física na escola média ganhou um novo sentido a partir das diretrizes apresentadas nos PCNEM. Trata-se de construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade. (BRASIL, 2002, p. 1).

Também Gil-Pérez et al. (1988), Gil-Pérez, Senent e Solbes (1987), Barojas (1988), Gil e Solbes (1993) e Cuppari et al. (1997) já apontavam a necessidade de uma atualização curricular que incorporasse o conhecimento de Física Moderna e Contemporânea (FMC).

Diversos outros autores – como Borges et al. (1997); Ostermann e Moreira (2000); Borckington (2005); Karam, Cruz e Coimbra (2007); etc. – sinalizam neste sentido e

analisam os tópicos de Física Moderna abordados nas aulas e nos livros dedicados à escola de ensino médio. Muitos trabalhos se debruçam sobre a proposição de sequências didáticas de temas de Física Moderna.

Ostermann e Moreira (2000) apresentam uma extensa revisão da literatura sobre "Física Moderna e Contemporânea no ensino médio", em que consultam artigos em revistas, livros didáticos, dissertações, teses, projetos e navegações pela internet que abordam o tema. Concluem os autores que:

> […] seria interessante ressaltar que a maior concentração de publicações aparece na seção 5.1 ('apresentação de um tema de FMC') em contraposição com as seções 4 ('concepções alternativas sobre FMC') e 6 ('propostas testadas em sala de aula'). É possível que isto demonstre uma necessidade de amadurecimento da linha de pesquisa 'FMC no ensino médio'. Parece que há muitas justificativas em favor da atualização curricular e até uma bibliografia que apresenta (não tão aridamente como a literatura especializada) temas modernos. Entretanto, colocar todas estas reflexões na prática da sala de aula é ainda um desafio. Outra questão desafiadora é a escolha de quais tópicos de FMC deveriam ser ensinados nas escolas ou, o que dá no mesmo, de quais temas de FMC deveriam ser objeto de especial atenção na formação de professores de Física com vistas a uma adequada transposição didática para o ensino médio. (OSTERMANN; MOREIRA, 2000).

Valadares e Moreira (1998) trazem sugestões de como promover a inserção de tópicos de Física Moderna que se relacionem com o cotidiano dos estudantes. Priorizam experimentos de baixo custo e ensejam a compreensão de princípios que fundamentam tecnologias atuais. Nesse trabalho, os autores consideram o efeito fotoelétrico, o laser e a emissão de corpo negro para enfoque.

O INTERFERÔMETRO DE MACH-ZEHNDER

Para estudarmos interferência de radiação – seja luz, elétrons ou nêutrons –, podemos utilizar o experimento de dupla fenda que consiste em um arranjo onde a radiação atravessa uma abertura e, em seguida, dispõe de duas fendas, que pode atravessar para atingir um anteparo. Se ambas as fendas estão abertas, a tela mostrará faixas claras e escuras (a interferência). Se apenas uma das fendas está aberta, não há faixas.

Esse arranjo, embora contenha tudo que é necessário para uma análise qualitativa, apresenta desvantagens para um enunciado quantitativo, pois a "partícula" pode

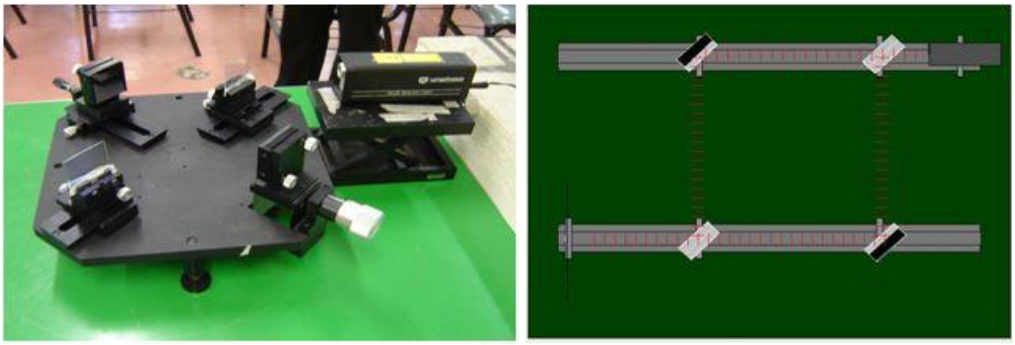
apresentar-se em muitos pontos no plano de observação, tornando complicada a descrição matemática do fenômeno.

Por isso, é mais apropriado o uso de um interferômetro que, de modo geral, é um dispositivo para medir superposição de ondas, interferência, com bastante precisão. Nessas montagens, a luz pode tomar, no mínimo, dois caminhos diferentes e as ondas que chegam por esses dois caminhos são sobrepostas, ocorrendo as interferências – destrutiva ou construtiva.

O arranjo experimental desenvolvido em 1896 pelo físico tcheco Ludwig Mach e pelo físico suíço Ludwig Zehnder, de maneira independente, tem sua estrutura bastante simples, como mostram as figuras. São necessários quatro espelhos, dos quais dois refletem toda a luz incidente sobre eles e dois, denominados "semiespelhos" ou "semirrefletores", refletem exatamente a metade da luz que incide sobre eles, deixando a outra metade atravessá-los.

Seu funcionamento é bastante simples, como mostra a figura 1:

Figura 1 – A esqueda o Interferômetro real clássico e a direita a representação do MZ, composto por uma fonte, dois semiespelhos e dois espelhos.



Fonte: dos autores.

Em nossa pesquisa, utilizamos as quatro interpretações para as observações no interferômetro de Mach-Zehnder, propostas por Montenegro e Pessoa Jr (2003), que podem ser resumidas da seguinte maneira (Quadro 1):

Quadro 1 – Interpretações da Mecânica Quântica
na experiência com interferômetro de Mach-Zehnder.

	Interpretação
1. Ondulatória	O fóton se divide em dois "meio-fótons" no primeiro semiespelho do interferômetro. Os dois "meio-fótons" se recombinam no segundo semiespelho, assim como as ondas, produzindo o padrão de interferência observado na saída do interferômetro.
2. Corpuscular	O fóton é uma partícula e nunca se divide. Assim, um fóton segue um único caminho, bem determinado, no interior do interferômetro. No semiespelho o fóton pode ser refletido ou transmitido com a mesma probabilidade.
3. Dualista realista	O fóton é composto de duas partes: uma partícula e uma onda associada. Assim, a partícula é como um "surfista" viajando sobre a onda e só pode estar onde existe onda. A onda pode se dividir e se recombinar nos semiespelhos, produzindo interferência. Com isso, após o registro de muitos fótons, o padrão de interferência pode ser observado na saída do interferômetro.
4. Complementaridade	O fóton se manifesta ora como onda, ora como partícula, mas nunca como onda **e** partícula ao mesmo tempo. O arranjo experimental é que determina a "cara" do fóton. Se observarmos o padrão de interferência, interpretamos o fóton como onda. Se pudermos determinar o caminho seguido pelo fóton no interior do interferômetro, dizemos que o fóton se comporta como partícula.

Fonte: dos autores.

A ARGUMENTAÇÃO EM SALA DE AULA

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) apregoam que a escola é um dos poucos lugares em que os estudantes têm a possibilidade de contato com o conhecimento físico formal e de compreensão do mundo (BRASIL, 1999). Assim, torna-se mais relevante o aprendizado de conhecimentos científicos pelos estudantes de modo que possam expressar suas opiniões e ter uma visão mais crítica e atuante no mundo.

Segundo Sasseron e Carvalho (2008a),

> […] apesar da grande importância da ciência em nossa cultura, e sendo o objetivo da escola básica a formação de cidadãos que possam interagir com o mundo em que vivem, a ciência que é apresentada nas escolas não reflete nenhum dos aspectos da ciência como desenvolvimento humano, muito ao contrário a tradição do ensino científico, quer no curso fundamental, quer no médio, obriga os estudantes a memorizar os conhecimentos já comprovados, que não são usados nem nas próprias classes de ciências. Essa dicotomia entre o que é ciência e como ela está sendo ensinada, desde os primeiros anos do ensino fundamental até o final do curso médio, tem levado os pesquisadores em ensino de Ciência, assim como os planejadores de currículo, a uma reflexão do processo de alfabetização, ou enculturação, científica, tecnológica e ambiental, apontada na literatura atual como condição fundamental para que os indivíduos participem de forma crítica e consciente na sociedade contemporânea.

As autoras reiteram essa relevância dada à ciência em nossa sociedade, embora tal importância não se traduza na forma como ela é ensinada.

O conceito de ‘enculturação científica’, apresentado por Driver e Newton (1997), se faz presente somente quando o aluno consegue compreender e utilizar parte da linguagem, dos métodos e das práticas da cultura científica que, com a cultura que já possui, criam novas visões de mundo e ampliam as que já possuíam, ou seja, quando ele consegue se apropriar da cultura científica (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 1999; MORTIMER; MACHADO, 1996; CAPECCHI; CARVALHO, 2000; CAPECCHI; CARVALHO; SILVA, 2002; CAPECCHI, 2004; CARMO, 2006).

Mortimer (1994 apud CARMO, 2006) propõe que o ensino de ciências leve o aluno a adquirir novos conhecimentos e cultura sem eliminar os que já possuía e, a partir dessa nova situação, saber utilizar o que for mais adequado de acordo com o contexto.

Lemke (1998a, 1998b) ressalta, como característica do aprendizado de ciências, a apropriação, pelo aluno, do discurso científico. A utilização apropriada da linguagem da ciência, de acordo com o contexto, indica um crescimento em relação a seu discurso anterior em vez da simples substituição.

Para Sasseron e Carvalho (2008a), a linguagem argumentativa é uma das principais características do processo de construção de Ciências. Recorrem a estudos apresentados por Latour e Woolgar (1997) e a Latour (2000), que apontam a presença da linguagem argumentativa tanto em laboratórios quanto durante a apresentação de trabalhos, sejam em congressos ou em artigos publicados. Segundo estes últimos, é através da argumentação que os cientistas convencem os outros sobre a importância de seus trabalhos, a verdade do que dizem e a necessidade de investimentos no financiamento de seus projetos.

Essa capacidade de argumentação segue um padrão estudado por Toulmin (1958/2006), que procurou descrever a argumentação na prática.

Toulmin (2006) apresenta a estrutura básica que compõe a argumentação e quais são as relações que existem entre seus componentes.

Em sua pesquisa, Rivard e Straw (2000) obtêm conclusões precisas sobre o efeito que a escrita e a fala podem trazer à aprendizagem:

> A fala é importante para compartilhar, clarificar e partilhar idéias científicas entre os pares enquanto fazem questões, levantam hipóteses, explicam e formulam idéias; juntos, todos parecem ser importantes mecanismos durante as discussões. O uso da escrita parece ser importante para refinar e consolidar estas novas idéias com os conhecimentos prévios. Estas duas modalidades parecem ser dialéticas: a fala é social, divergente e produtiva, enquanto a escrita é pessoal,

> convergente e reflexiva. Além disso, a escrita parece aumentar a fixação do conhecimento co-construído ao longo do tempo. (p. 588 apud SASSERON, 2008, p. 49).

Jiménez-Aleixandre e Diaz de Bustamante (2003) afirmam que o discurso dos estudantes nas aulas de ciências contribui para uma compreensão mais geral dos processos de aprendizagem das ciências. Nesse trabalho, os pesquisadores apresentam alguns resultados obtidos com a aplicação de um projeto de Ciências chamado RODA (Raciocínio, Discussão e Argumentação), e a ênfase na análise dos dados recai sobre a argumentação.

Os autores analisam os argumentos utilizados em sala de aula, tanto por seu conteúdo quanto por sua estrutura, e, uma vez que muitos dos temas científicos analisados neste trabalho não são inéditos para os estudantes, sua atenção recai sobre o modo como se apresentam as justificativas sob o ponto de vista defendido pelos estudantes.

O modelo de Toulmin (2006), já citado, tem sido adaptado e vem sendo amplamente utilizado em estudos na área de pesquisa em Educação, apresentando-se como um importante e eficiente instrumento de análise na investigação sobre a argumentação dos estudantes em aulas e situações de ensino de Ciências.

Driver e Newton (1997), Jiménez-Aleixandre, Reigosa Castro, Álvarez-Pérez (1998), Capecchi e Carvalho (2000), Capecchi, Carvalho e Silva (2002), Villani e Nascimento (2003), Capecchi (2004), Carmo (2006) e muitos outros pesquisadores têm se valido desse modelo de Toulmin em seus trabalhos e investigações, de forma a contribuir significativamente para sua consolidação como um importante instrumento de análise adaptado a diversas situações de ensino.

Finalmente, Sasseron (2008) sugere em sua pesquisa a existência de convergência entre as diversas classificações propostas pelos autores mencionados. Agrupa as habilidades listadas por eles em três blocos e os denomina de Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica.

Em nossa pesquisa, na identificação da argumentação dos estudantes, consideraremos os indicadores apresentados por Sasseron (2008), abaixo, bem como sua relação com as categorias propostas por Driver e Newton e por Jiménez-Aleixandre.

Quadro 2 – Indicadores propostos por Sasseron (2008).

Indicador	Explicação
Seriação de informações	Lista ou relação de dados não necessariamente ordenados.
Organização de informações	Ocorre quando as informações são arranjadas.
Classificação das informações	Caracteriza-se pela ordenação dos elementos trabalhados e ocorre quando se busca o estabelecimento de características para os dados.
Levantamento de hipóteses	Suposições acerca de um tema.
Teste de hipóteses	Colocação à prova das suposições anteriormente levantadas.
Justificativa	Garantia para uma afirmação/proposição proferida.
Previsão	Associação de acontecimento para predição de uma ação e/ou fenômeno.
Explicação	Relacionamento entre informações e hipóteses já levantadas. Normalmente acompanhada de justificativa e previsão.

Fonte: dos autores.

A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência de ensino tem como base aquela proposta por Brockington (2005) em sua dissertação de mestrado. São promovidas alterações surgidas das discussões no grupo de professores, em 2006, e foi desenvolvida em parceria com a Dra. Maria Beatriz Fagundes, que, na época, desenvolvia um projeto de pesquisa de pós-doutorado na FEUSP, e já desenvolvera trabalho semelhante com estudantes de grau médio em escola técnica da Alemanha.

Esse conjunto visa substituir o bloco XI sobre dualidade onda-partícula de Brockington, estendendo-o de 4 para outro de até 11 aulas.

A atividade 1 se inicia com a leitura e a discussão do texto que confronta a teoria ondulatória e a corpuscular da luz (recurso de ensino 1). Objetiva-se retomar a discussão sobre a natureza da luz e espera-se que os estudantes proponham uma experiência para a descoberta dessa natureza. A atividade tem sequência com a representação da analogia (recurso de ensino 2), com o professor anotando as hipóteses levantadas pelos estudantes. Espera-se que os estudantes elaborem explicações a partir dos resultados obtidos. A atividade visa facilitar a compreensão do funcionamento do interferômetro de Mach-Zehnder e dos resultados experimentais obtidos por ele.

A atividade 2 apresenta de forma expositiva (apresentação em multimídia) o interferômetro de Mach-Zehnder (MZ), retoma a analogia da aula anterior e a relaciona com o MZ. Mostra as interpretações para um só fóton, bem como as limitações de cada uma delas para explicar os resultados experimentais.

A atividade 3 parte da leitura e discussão do texto sobre dualidade onda-partícula (recurso de ensino 3), e, em seguida, pede-se aos estudantes que respondam às questões. Objetiva verificar qual a compreensão do aluno acerca do conceito de ciência e como justificam sua escolha para uma das quatro principais interpretações da Mecânica

Quântica para a natureza da luz. Espera-se que os estudantes percebam que não existe uma resposta certa, mas que é necessária uma argumentação que justifique sua escolha.

As aulas 5 e 6 da sequência didática são dedicadas à manipulação do interferômetro e ao uso da simulação de computador.

A sequência permite ao professor optar pela realização completa, ou não, de todos os episódios temáticos, a fim de ajustar seu cronograma de aulas ao calendário escolar.

AS ARGUMENTAÇÕES DOS ESTUDANTES

Foram feitas as transcrições de todas as aulas gravadas das duas turmas. Os registros escritos dos estudantes estão catalogados. A pesquisa completa encontra-se em Barrelo (2010). Neste artigo, evidenciaremos alguns aspectos relevantes dos registros orais e escritos dos estudantes.

Em nossa análise, procuraremos mostrar como os estudantes estruturam seus argumentos, retomando, para isso, os referenciais teóricos citados anteriormente. Enfatizaremos a forma como os argumentos são explicitados (TOULMIN, 2006; LAWSON, 2000, 2002), os níveis de argumentação, os elementos que a compõem e a maneira como se relacionam (DRIVER; NEWTON, 1997). Também verificaremos as operações epistemológicas envolvidas para a apresentação dos argumentos, como proposto por Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodrigues e Duschl (2000), e a ocorrência dos indicadores de alfabetização científica sugeridos por Sasseron (2008) e Sasseron e Carvalho (2008c).

O professor inicia a aula retomando a anterior e lembrando, aos estudantes, as discussões ocorridas. Dá orientações sobre o desenvolvimento da aula e sistematiza a composição do arranjo experimental, o interferômetro. Em seguida, projeta na parede as imagens de interferência obtidas pelo interferômetro real e na simulação.

O trecho começa com a apresentação do professor acerca das imagens obtidas nos interferômetros e a indagação aos estudantes quanto às suas observações. Dessa forma, encontramos, entre os turnos 04 e 18, apenas respostas simples, de afirmação ou negação, sem justificativa, classificando-as como argumentações de nível 0, conforme Driver e Newton (1997).

A opinião de Bruna no turno 17 apresenta-se como uma afirmação isolada e sem justificativa – nível 0 de argumentação de Driver e Newton –, e ela ainda demonstra a **classificação de informações**.

Tabela 1 – Falas transcritas de 017 a 019.

Turno	Falas transcritas	Gestos	Indicadores AC / Breve Análise
017	Bruna: (05:38) Complementar		Classificação
018	Professor: Como assim?		
019	Bruna: (05:41) Por exemplo, seria assim, numa o centro seria claro e teria as listras e na outra é ao contrário, o centro preto e as listras ao contrário.	mostra com as mãos os círculos se abrindo	Explicação

Fonte: dos autores.

Logo em seguida, no turno 19, Bruna explica justificando que as figuras vistas nos dois anteparos seriam complementares, pois ambas seriam listradas, mas com as listras invertidas: o branco de uma corresponderia ao preto da outra e vice-versa. Tal afirmação evidencia um argumento de nível 2 e, concomitantemente, levanta suposições sobre o tema. A fala da aluna é uma **explicação** para as figuras serem complementares.

Bruna faz colocações nos turnos 33, 35 e 37:

Tabela 2 – Falas transcritas de 033 a 037.

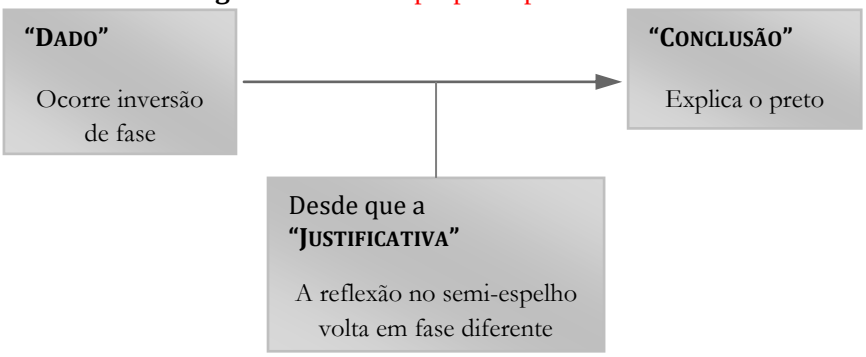
Turno	Falas transcritas	Indicadores AC / Breve Análise
033	Bruna: (09:00) O que você ta falando é a explicação do preto, é isso?	
034	Professor: Ahn?	
035	Bruna: Tem inversão de fase, porque a parte que reflete no semiespelho tá ...	
036	Professor: Tá numa fase...	
037	Bruna: numa fase diferente da que parte que passou direto	Explicação O.E.: plausibilidade

Fonte: dos autores.

Percebe-se, que a aluna consegue dar uma **explicação** para o que deve ocorrer – tem inversão porque as fases são diferentes. Sua argumentação é de nível 4, com uso do operador epistemológico **plausibilidade**, porque integra a fala anterior do professor à observação e acrescenta uma justificativa para o fenômeno.

Pelo padrão proposto por Toulmin, sua fala pode ser assim estruturada (Figura 2):

Figura 2 – Padrão proposto por Toulmin.



Fonte: dos autores.

A análise dos registros escritos visa responder à segunda questão de nossa pesquisa – se os estudantes se apropriaram dos conceitos.

Segundo Pessoa Junior (2003), "o que caracteriza a Teoria Quântica de maneira essencial é que ela é a teoria que atribui, para qualquer partícula individual, aspectos ondulatórios, e para qualquer forma de radiação, aspectos corpusculares. Esta é uma versão 'geral' da dualidade onda-partícula."

Em nossa análise dos registros escritos dos estudantes procuramos evidenciar se concebem essa percepção da dualidade.

Foram coletados diversos registros escritos dos estudantes ao longo do curso. No entanto, nossa análise se restringirá ao questionário abaixo (Quadro 3) que fora aplicado às turmas na última aula da sequência de ensino e que objetivava verificar a compreensão dos estudantes sobre o arranjo experimental do interferômetro de Mach-Zehnder e seu entendimento das quatro interpretações da Mecânica Quântica para a natureza da luz.

Quadro 3 – Questionário de sistematização – aula 11.

1- Preencha o quadro, sistematizando as quatro interpretações para a natureza da luz:

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...				
Explicação da experiência do interferômetro				
Explicação para um fóton				

2- Por que você acha que existem tantas interpretações diferentes para a natureza da luz?

3- A partir do que foi discutido em aula, explique qual das quatro interpretações mais lhe agrada.

4- De acordo com a interpretação da complementaridade, pode-se pensar o seguinte: "Se um átomo existe somente quando olhamos para ele, o meu corpo é feito de átomo, será que meu pé existe quando não estou olhando para

Fonte: dos autores.

A tabela 3 sintetiza as respostas dos estudantes para o quadro 3:

Tabela 3 – Análise das respostas dos estudantes e legenda. Onde: A – Resposta correta / completa; B – Resposta parcialmente correta; C - Resposta incorreta; D - Em branco / Não fez.

NOME	ALINE	ANNA CAROLINA	ANGELICA	BARBARA	ANDRE	BRUNO	DANIEL	CAMILA	FABIANE	FELIPE	GABRIEL	BEATRIZ	GUILHERMEL	HUGO	IEIS	JESSICA	BRUNA	JOAO	JOYCE	KARINA	LAIS	LEONARDO	LUCAS	LUIZA	MARCOS	PEDRO	OLIVIA	RODOLFO	THAIS	VICTOR
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1 - A LUZ É...																														
Interpretação Ondulatória	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C
Interpretação Corpuscular	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B
Interpretação Complementaridade	B	B	C	A	A	B	A	A	A	B	A	B	A	A	B	B	A	A	B	B	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Dualista - Realista	A	C	C	A	B	B	B	A	A	A	B	A	A	A	B	B	A	A	B	B	A	B	A	A	A	B	B	B	B	B
Explicação da experiência do interferômetro																														
Interpretação Ondulatória	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	B	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B
Interpretação Corpuscular	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	C	A	A	B	A	A	A	A	B	B	B	A	A	A	A	B	A	A
Interpretação Complementaridade	B	C	C	B	A	B	A	A	A	B	C	C	B	B	A	B	A	B	B	A	A	A	B	A	C	A	A	B	B	B
Dualista - Realista	C	B	A	A	A	A	A	A	A	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	B	A	C
Explicação para um fóton																														
Interpretação Ondulatória	A	B	B	A	A	B	D	A	A	B	A	A	C	B	C	A	A	A	A	C	A	A	C	C	B	C	C	B	A	A
Interpretação Corpuscular	A	A	A	A	A	A	D	A	B	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	B	A	A	A
Interpretação Complementaridade	A	B	A	B	C	B	D	A	A	C	C	C	B	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	A	C	A	C
Dualista - Realista	A	B	A	A	A	A	D	A	A	B	A	B	A	A	C	B	A	A	A	A	A	B	A	C	C	A	C	C	B	C
2- Por que você acha que existem tantas interpretações diferentes para a natureza da luz?																														
	A	B	B	A	B	B	A	A	A	B	B	A	B	A	B	A	B	A	A	B	A	C	B	B	B	B	B	B	A	B
3- A partir do que foi discutido em aula, explique qual das quatro interpretações mais lhe agrada.																														
	B	B	C	A	B	B	B	A	B	B	B	A	A	B	B	B	A	A	B	B	A	C	B	A	B	A	A	B	B	B
4- De acordo com a interpretação da complementaridade, pode-se pensar o seguinte: "Se um átomo existe somente quando olhamos para ele, o meu corpo é feito de átomo, será que meu pé existe quando não estou olhando para ele?"																														
	B	C	B	A	B	C	A	B	A	B	A	B	C	B	A	B	B	B	A	D	B	B	C	A	A	B	B	B	B	B

Fonte: dos autores.

Onde:

A – Resposta correta / completa
B – Resposta parcialmente correta
C – Resposta incorreta
D - Em branco / Não fez

Foram feitas análise de cada uma das questões. Posteriormente, comparamos os registros escritos com as falas dos estudantes que participaram ativamente das discussões orais.

As respostas dos estudantes quanto à natureza da luz – questão 1.a "a luz é..." –, como se pode observar na Tabela 3, a seguir, demonstram que 24 estudantes de 30 da turma ou apresentaram todas as respostas corretas (A) – com 09 casos - ou somente respostas corretas (A) ou parcialmente corretas (B) – 15 incidências. Esses dados indicam que sua maioria (80%) consegue compreender cada uma das interpretações da MQ para este tema.

A Tabela 4 sintetiza as respostas promovidas pelos estudantes:

Tabela 4 – Síntese das respostas para as quatro interpretações da MQ sobre a natureza da luz.

1.A – " A LUZ É..."	N. DE ESTUDANTES	PORCENTAGEM DA TURMA
Todas as respostas corretas (A)	09	30
Todas as respostas parcialmente corretas (B)	0	0
Todas as respostas incorretas (C)	0	0
Somente respostas corretas (A) ou parcialmente corretas (B)	15	50
Somente respostas corretas (A) ou incorretas (C)	03	10
Somente respostas parcialmente correta (B) ou incorreta (C)	0	0
Respostas corretas (A), parcialmente corretas (B) e incorretas (C)	03	10
Total de estudantes	30	100

Fonte: dos autores.

Analisando cada uma das interpretações da MQ separadamente temos que a interpretação "Ondulatória" e a "Corpuscular" são as que melhor foram entendidas pelos estudantes.

As interpretações da "Complementaridade" e "Dualista-realista", se observarmos as respostas corretas ou parcialmente corretas, também apresentam um alto grau de entendimento.

Porém, percebemos que estas duas explicações são mais difíceis de compreensão pelos estudantes por não trazerem uma correlação mais direta com as concepções que estes possuem.

É relevante notar que apenas 06 estudantes – 20% da turma – responderam de forma incorreta a pelos uma das interpretações e nenhum aluno deixou de escrever corretamente a pelo menos uma das possibilidades

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE AS FALAS E OS REGISTROS ESCRITOS

Ao analisamos as falas dos estudantes na aula 10, verificamos a participação efetiva de oito estudantes da turma nas discussões orais. Em ordem alfabética, são eles: Aline, André, Beatriz, Bruna, Felipe, Lucas, Pedro e Victor.

A aluna Aline, conforme a Tabela 1, responde adequadamente às questões relativas à natureza da luz (1.a). Também consegue explicar a experiência do interferômetro de Mach-Zehnder (1.b), com exceção da interpretação Dualista-realista. Confunde-se, porém, nas explicações sobre o fóton. Sua participação na aula de discussão é pontual, embora, como mostra o turno 160 da transcrição, consiga dar uma explicação para a natureza da luz:

André, também responde de forma satisfatória às questões e suas falas se concentraram no início da aula (turnos 10 a 15), onde tenta classificar as informações sobre as imagens obtidas no experimento.

É interessante notar que sua fala foi complementada pela aluna Bruna (a partir do turno 17) e as melhores respostas escritas de André referem-se às questões que remetem a esse episódio da aula.

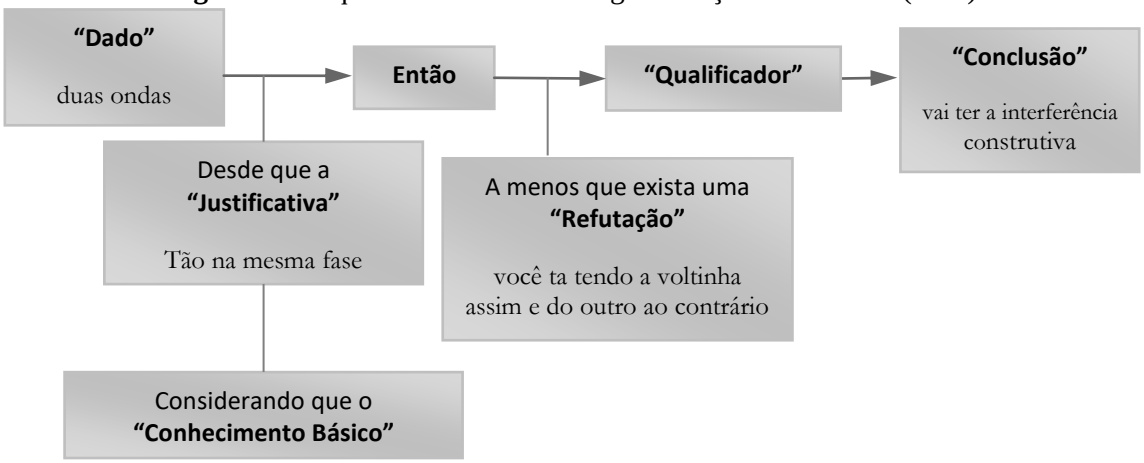
A aluna Beatriz, com participação efetiva nas discussões de sala, demonstra bom entendimento dos conceitos em seus registros escritos.

A aluna Aline, conforme a Tabela 1, responde adequadamente às questões relativas à natureza da luz (1.a). Também consegue explicar a experiência do interferômetro de Mach-Zehnder (1.b), com exceção da interpretação Dualista-realista. Confunde-se, porém, nas explicações sobre o fóton. Sua participação na aula de discussão é pontual, embora, como mostra o turno 160 da transcrição, consiga dar uma explicação para a natureza da luz:

Bruna é a estudante com maior articulação na aula 10. Participou de maneira eficaz dos debates, auxilia e contesta nas falas dos colegas e demonstra bom entendimento

das questões suscitadas. Sua escrita é condizente com suas locuções e consegue produzir registros corretos e bem elaborados, como mostra a Tabela 3.

Figura 3 – Esquema do Padrão de Argumentação de Toulmin (TAP)



Fonte: dos autores.

A comparação entre as falas dos estudantes, promovidas na aula 10, e a análise de seus registros escritos leva-nos a proclamar que os estudantes que participam efetivamente das interações discursivas em sala de aula apresentam bom desempenho em seus registros escritos e conseguem compreender os conceitos promovidos em aula.

Não podemos concluir que os educandos que não falam não aprendem ou têm desempenho inferior ao dos falantes.

Nossos dados apontam que mesmo os estudantes que não participaram do debate em sala demonstraram compreensão dos temas discutidos na aula e produziram registros compatíveis com o dos estudantes que interagiram falando. Como demonstra a Tabela 1, os estudantes Daniel, Fabiane, Hugo, Isis e Jéssica, dentre outros, são bons exemplos disso.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa, procuramos identificar como ocorre a argumentação dos estudantes sobre o conceito de fóton durante a aplicação de um conjunto de atividades experimentais investigativas, envolvendo a montagem e exploração de um interferômetro, e o uso de uma simulação de computador. Este trabalho objetivou também verificar se os estudantes se apropriaram das interpretações da Mecânica Quântica sobre a natureza e o comportamento da luz.

A substituição de uma analogia pela montagem e manipulação do experimento de Mach-Zehnder e a posterior utilização de uma simulação de computador possibilitaram aos estudantes a compreensão das dificuldades em se enquadrar a luz segundo os modelos clássicos de onda e partícula.

A sequência das aulas, com laboratório de investigação, análise e discussão das observações, criou condições para enculturação científica, como apontam as análises dos discursos dos estudantes.

A análise demonstra que as interações discursivas entre os estudantes, e sua mediação pelo professor, possibilitam que os mesmos tornem-se mais críticos, participativos e aproximem-se das discussões da ciência moderna.

Os indicadores de alfabetização científica e a estrutura de argumento presentes nas falas dos estudantes corroboram para essa afirmação. Cerca de 30% dos estudantes participou ativamente das discussões em sala. Na análise de suas alocuções percebe-se a incidência desses indicadores.

Constatamos que o discurso dos estudantes é alimentado pelas intervenções dos colegas e do professor e, assim, eles reelaboram seus argumentos, acatando ou refutando as contribuições das falas de seus interlocutores.

A análise da aula 10 mostrou que as falas dos estudantes, inicialmente monossilábicas, foram se aprimorando e transformando em estruturas melhor elaboradas à medida que o debate se instalou em sala. Também os indicadores de alfabetização científica fizeram-se mais presentes nessas condições.

Apesar de os tópicos apresentados serem habitualmente pensados para estudantes de graduação em Física, por mostrarem-se particularmente difíceis em um primeiro contato, pois são interpretações que rompem com conceitos postos, nossa pesquisa revela um alto índice de compreensão dos estudantes. Para as questões relativas às interpretações da Mecânica Quântica sobre a natureza da luz, cerca de 80% da classe apresenta respostas corretas ou parcialmente corretas.

A explicação para a experiência do interferômetro é dada de forma satisfatória por 70% dos estudantes. Nossos dados indicam que, a despeito deste entendimento, para muitos estudantes o fenômeno da interferência é corpuscular.

O conceito de fóton foi o que obteve maior oscilação nos resultados, embora nenhum aluno tenha respondido de forma incorreta a todas as interpretações da Mecânica Quântica a esse respeito.

Talvez, a maior contribuição deste trabalho tenha sido a busca da correlação entre o que falam os estudantes durante as aulas e sua posterior exposição de como compreendem – ou modificaram a compreensão de – alguns conceitos.

Fazendo esta verificação entre os registros escritos e as falas daqueles que mais discorrem em sala de aula, podemos afirmar que a participação nas discussões é fator contribuinte para o aprendizado e o entendimento dos conceitos. Todos os estudantes que participaram efetivamente dos debates em sala apresentaram registros escritos com percentual elevado de acertos das questões.

Não se pode afirmar que a não participação efetiva nas discussões impossibilite ou dificulte tal juízo. Mesmos os estudantes que pouco, ou nada, disseram nas aulas analisadas, em sua maioria, obtiveram resultados bastante satisfatórios.

A partir da análise das aulas e dos registros escritos e da observação do desenvolvimento da sequência podemos afirmar que a proposta de ensino foi validada e contribui sobremaneira para a inserção de tópicos de FMC no ensino médio, o que torna a Física mais atraente para os jovens estudantes e os aproxima do conhecimento científico por trás das inovações tecnológicas.

Ressaltamos que a sequência de ensino embute uma visão de que não existe apenas uma verdade científica. A discussão das quatro interpretações sobre a natureza e o comportamento da luz e a indagação aos estudantes sobre o porquê de tantas teorias (questão 2 do registro escrito) visam levar o aluno a compreender que são possíveis várias interpretações para um mesmo fenômeno.

REFERÊNCIAS

BARRELO JUNIOR, N. Argumentação no discurso oral e escrito de estudantes do ensino médio em uma sequência didática de Física Moderna. 2010. 176 p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Educação – Universidade de São Paulo, 2010.

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

_____. Ministério da Educação e Cultura. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais + ensino médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais. linguagens códigos e sua tecnologias. Brasília: MEC, 2002.

Brockington, G. A realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio. 2005. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

Capecchi, M. C. V. M.; Carvalho, A. M. P. Argumentação em uma aula de conhecimento físico com crianças na faixa de oito a dez anos. Investigações em Ensino de Ciências, v. 5, n. 2, p. 171-189, 2000.

CARVALHO, A. M. P.; SASSERON, L. H. As diversas linguagens do ensino de ciências. São Paulo: no prelo, 2010.

Carvalho, A. M. P.; VanNucchi, A. O currículo de física: inovações e tendências nos anos noventa. Investigações em ensino de ciências, Instituto de Física, UFRGS, v. 1, n. 1, p. 3-19, 1996. Disponível em: < http://www.cienciamao.if.usp.br/tudo/exibir.php?midia=ienci&cod=_ocurriculodefisicainovac>. Acesso em: 05 fev. 2009.

Driver, R.; Newton, P. Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. In: ESERA Conference, Roma, 1997. Anais… Roma: ESERA, 1997.

Driver, R.; NEWTON, P.; Osborne, J. The place of argumentation in the pedagogy of school science. International Journal of Science Education, v. 21, n. 5, p. 556-576, 1999.

Jiménez-Aleixandre, M. P.; Díaz de Bustamante, J. Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas. Enseñanza de las Ciencias, v. 21, n. 3, p. 359-370, 2003.

Jiménez-Aleixandre, M. P.; Bugallo Rodríguez, A.; Duschl, R. A. Doing the lesson or doing science: argument in high school genetics. Science Education, v. 84, p. 757-792, 2000.

Jiménez-Aleixandre, M. P.; Reigosa Castro, C.; Álvarez-Pérez, V. Argumentación en el laboratorio de física. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 6., 1998, Florianópolis. Anais... Florianópolis: EPEF, 1998.

MONTENEGRO, R. L.; PESSOA JR, O. Interpretações da teoria quântica e as concepções dos estudantes do curso de física. Investigações em ensino de ciências, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 107-126, 2002.

NASCIMENTO, S. S.; VIEIRA, R. D. Contribuições e limites do padrão de argumento de Toulmin aplicado em situações argumentativas de sala de aula de ciências. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Porto Alegre, v. 8, n. 2, 2008 [On-line].

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007 [On-line].

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa física moderna e contemporânea no ensino médio. Investigações em ensino de

ciências, Porto Alegre, v. 5, n. 1, 2000. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5_n1_a2.htm>. Acesso em: 20 jun. 2008.

Pessoa Jr., O. Conceitos de física quântica. São Paulo: Livraria da Física, 2003.

Sasseron, L. H. Alfabetização científica no ensino fundamental: estrutura e indicadores deste processo em sala de aula. 2008. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

Toulmin, S. E. Os usos do argumento. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

Recebido em: 15/07/2022

Aprovado em: 23/08/2022

Publicado em: 25/08/2022