**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO**

Nelson Barrelo Junior

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

**São Paulo
2010**

Nelson Barrelo Junior

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

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Educação.

Área de Concentração:
Ensino de Ciências e Matemática

Orientadora:
Profa. Dra. Anna Maria Pessoa de Carvalho

**São Paulo
2010**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo

- 375.21 Barrelo Junior, Nelson
B271a Argumentação no discurso oral e escrito de alunos do ensino médio em uma sequência didática de física moderna / Nelson Barrelo Junior; orientação Anna Maria Pessoa de Carvalho. São Paulo: s.n., 2010.
176 p. : il., tabs.
- Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Educação. Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática) - - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.
1. Física – Estudo e ensino 2. Física moderna 3. Argumentação 4. Sala de aula I. Carvalho, Anna Maria Pessoa de, orient.
-

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nelson Barrelo Junior

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

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Educação.

Área de Concentração:
Ensino de Ciências e Matemática

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Deise Miranda Viana (IF- UFRJ)

Prof. Dr. Cristiano Rodrigues de Mattos (IF – USP)

Profa. Dra. Anna Maria Pessoa de Carvalho

A Salete (*in memoriam*), mãe, amiga e incentivadora,
que, além da saudade, ensinou-me a superar desafios
e a crer nas infinitas possibilidades.

A minha avó, Inez, pelo amor incondicional e a
alegria de desfrutar sua companhia.

AGRADECIMENTOS

Parodiando Newton, este trabalho só foi possível porque me debrucei sobre ombros de gigantes. Durante todo o percurso deparei-me com pessoas que tornaram a tarefa mais simples, quando parecia improvável; alegres, quando havia dissabores; organizadas, quando em cérebro estavam todas desestruturadas. Faz-se mister agradecer a cada um por suas valiosas contribuições.

Em primeiro lugar, a minha orientadora e amiga Anna Maria por muito mais do que a orientação: o incentivo, o apoio, as críticas sempre certas, a liderança e a paciência.

A Beth, Juliana e Karina, tripé familiar, por sua paciência com minha quase ausência durante esta jornada e por sua compreensão e incentivo em momentos de desequilíbrio e desestruturação. Por tornarem a vida mais prazerosa.

À professora Lucia Sasseron, colega de grupo de pesquisa, pelos diversos artigos e orientações de leitura.

Às professoras Luciana Sedano, Maria Fernanda e Silvia Regina, colegas de trabalho, pelas leituras, críticas e incentivos.

Aos professores Mauricio Pietrocola e Mikiya Muramatsu e à doutora Beatriz Fagundes pelas contribuições em discussões, material de suporte e equipamentos que possibilitaram o desenvolvimento da proposta.

A todos os colegas do grupo de pesquisa do Lapef pelas observações, riqueza de discussões e críticas que auxiliaram de fato na construção deste trabalho.

Aos amigos João, Josias e Vanderlei pelas companhias nos Simpósios e Congressos que, muito além das apresentações de trabalhos e das trocas intelectuais, possibilitaram momentos de descontração e estreitamento da amizade.

A toda a equipe, gestores e funcionários da Escola de Aplicação da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo pelo suporte às aulas.

Ao Léo, técnico de laboratório da EAFEUSP, pela gravação da sequência e colaboração nas atividades.

A Juliana Barrelo e Mariana Basile pelo apoio técnico nas transcrições e digitalização dos trabalhos.

A Grazielle Tagliamento e sua equipe pela prestimosa revisão e finalização gráfica deste trabalho.

RESUMO

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

Nesta pesquisa, estudamos como se desenvolve o processo argumentativo dos alunos 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 alunos 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, analisamos as aulas que sistematizavam as discussões e os registros escritos finais dos alunos. A partir dos dados, foi possível verificar a ocorrência de indicadores de alfabetização científica, a estrutura do discurso oral dos alunos 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

BARRELO JUNIOR, N. *Debate in oral and written speech of high school students in a modern physics didactic sequence*. 2010. 176 p. Dissertation (Masters), Faculty of Education – University of São Paulo, 2010.

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 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.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – a) Interferômetro real clássico; e b) Representação do MZ, composto por uma fonte, dois semiespelhos e dois espelhos.....	35
FIGURA 2 – Padrão de argumento completo.	44
FIGURA 3 – Estrutura completa de um argumento segundo o modelo de Toulmin ampliado com as categorias Dado Fornecido (DF), Dado Obtido (DO) e as subcategorias Dado Empírico (DE) e Dado Hipotético (DH).	45
FIGURA 4 – Padrão proposto por Lawson (2004).	46
FIGURA 5 – Comparação entre os padrões propostos por Lawson e Toulmin.	46
FIGURA 6 – Padrão de argumento.....	69
FIGURA 7 – Estrutura da fala – Bruna.....	76
FIGURA 8 – Estrutura da fala – Bruna.....	85
FIGURA 9 – Estrutura da fala – Lucas.....	87
FIGURA 10 – Padrão de fala – Bruna.....	88
FIGURA 11 – Estrutura da fala - Bruna.....	101

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Interpretações da Mecânica Quântica na experiência com interferômetro de Mach-Zehnder.	40
QUADRO 2 – Operações epistemológicas.	53
QUADRO 3 – Categorias para análise.	55
QUADRO 4 – Indicadores propostos por Sasseron (2008).	59
QUADRO 5 – Blocos de conteúdos do curso de física moderna e contemporânea.	61
QUADRO 5 – Operações epistemológicas.	68
QUADRO 6 – Indicadores propostos por Sasseron (2008).	69
QUADRO 7 – Interpretações da Mecânica Quântica na experiência com interferômetro de Mach-Zehnder.	70
QUADRO 8 – Episódio 1 – aula 10.	72
QUADRO 9 – Questionário de sistematização – aula 11.	91

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Análise do registro escrito – 3º ano do ensino médio – Turma I.....	93
TABELA 2 – Síntese das respostas dos alunos.	94
TABELA 3 – Síntese das respostas para as quatro interpretações da MQ sobre a natureza da luz.....	95
TABELA 4 – Respostas para as quatro interpretações da MQ sobre a natureza da luz.	95
TABELA 5 – Síntese das respostas sobre a explicação da experiência do interferômetro.	96
TABELA 6 – Respostas para as quatro interpretações da MQ sobre a experiência do interferômetro	96
TABELA 7 – Síntese das respostas dos alunos sobre o conceito de fóton.....	98
TABELA 8 – Respostas dos alunos sobre o conceito de fóton.	98
TABELA 9 – Respostas dos alunos sobre as interpretações da Mecânica Quântica.	99

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO	17
1.1 AS PESQUISAS SOBRE FMC NO ENSINO MÉDIO	22
2 A NATUREZA DA LUZ E O INTERFERÔMETRO DE MACH-ZEHNDER	29
2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MODELO CORPUSCULAR E O ONDULATÓRIO	29
2.2 ESPECTRO DE RADIAÇÃO	32
2.3 EVIDÊNCIAS EXPERIMENTAIS E ALGUMAS PERTURBAÇÕES NO MODELO ONDULATÓRIO	32
2.4 O INTERFERÔMETRO DE MACH-ZEHNDER	34
2.5 AS INTERPRETAÇÕES DA MECÂNICA QUÂNTICA SOBRE A NATUREZA DA LUZ	37
3 O DISCURSO DOS ESTUDANTES COMO UM FATOR DE VERIFICAÇÃO DA SUA APROPRIAÇÃO DE CONCEITOS	41
3.1 ARGUMENTAÇÃO EM SALA DE AULA	51
4 PROPOSTAS DE ENSINO	61
4.1 A SEQUÊNCIA DE ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA DESENVOLVIDA POR BROCKINGTON	62
4.2 A NOSSA PROPOSTA DE TRABALHO PARA O BLOCO DE DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA COM ALTERAÇÕES EFETUADAS	63
5 METODOLOGIA DA PESQUISA	65
5.1 AS QUESTÕES DE PESQUISA	65
5.2 O PROFESSOR, OS ALUNOS E A ESCOLA	65
5.3 A SELEÇÃO DAS AULAS PARA ANÁLISE	67
5.4 CRITÉRIOS PARA APRESENTAÇÃO DOS EPISÓDIOS DE ENSINO	68
6 ANÁLISE	71
6.1 ANÁLISE DAS DISCUSSÕES ORAIS	71
6.1.1.1 PRIMEIRO EPISÓDIO DA AULA 10	72
6.1.1.2 SEGUNDO EPISÓDIO DA AULA 10 – SUBSTITUIÇÃO DE ONDAS POR FÓTONS	76
6.1.1.3 TERCEIRO EPISÓDIO DA AULA 10 – COMPARANDO AS IMAGENS	79
6.1.1.4 QUARTO EPISÓDIO DA AULA 10 – O INTERFERÔMETRO IDEAL	80
6.1.1.5 A DISCUSSÃO SOBRE AS INTERPRETAÇÕES DA MECÂNICA QUÂNTICA	82
6.1.1.6 DISCUSSÃO SOBRE A NATUREZA DA LUZ	84
6.1.1.7 O INTERFERÔMETRO DE MACH-ZEHNDER	87

6.1.1.8 SISTEMATIZAÇÃO DOS CONCEITOS.....	89
6.2 ANÁLISE DOS REGISTROS ESCRITOS.....	90
6.3 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE AS FALAS E OS REGISTROS ESCRITOS.....	100
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
REFERÊNCIAS.....	106
ANEXOS.....	113

INTRODUÇÃO

No Estado de São Paulo, a escola pública de ensino médio passa por uma transformação curricular. Desde 2008, cada um de seus componentes vem se remodelando, buscam-se novas práticas educativas e o tema Física Moderna foi contemplado em sua série final.

Este projeto começou a delinear-se a partir da aproximação deste pesquisador com 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, dentro do projeto “Introdução de Teorias Modernas e Contemporâneas na Física do Ensino Médio”, coordenado pelo Prof. Dr. Maurício Pietrocola e desenvolvido 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.

A partir de 2003, o grupo, denominado NUPIC – Núcleo de Pesquisas em Inovações Curriculares – passa a desenvolver um novo projeto, visando a introdução de conteúdos mais atuais no ensino médio, como a Física Moderna e Contemporânea (FMC) (Processo FAPESP nº 03/00146-3). Compõe-se de professores da rede pública estadual de São Paulo alunos de iniciação científica e pós-graduandos sob orientação do Prof. Dr. Maurício Pietrocola.

O grupo é dinâmico, mas mantém a proposta de inovação curricular, com a construção de sequências didáticas sobre o conteúdo de FMC, ciente de que este é um problema que se situa na interface entre o conhecimento científico e o escolar. O sucesso da sequência didática é determinado pelo envolvimento do professor e as relações que se estabelecem na sala de aula. Para que haja êxito, as atividades a serem propostas demandam suposição de condições reais de sala de aula.

Visando superar essas dificuldades, a equipe do NUPIC elabora dois cursos que propõem a atualização de conteúdos, com a inserção de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio, utilizando-se de abordagens e metodologias não tradicionais.

Como afirma Azevedo (2008):

[Estes cursos] estão estruturados na forma de temas para os quais foram construídas seqüências de atividades, ou seqüências didáticas, em que o assunto é proposto, discutido e avaliado. Estas seqüências foram chamadas de blocos e pensadas como 'tijolos', na medida em que são coerentes internamente, e se prestam à construção de diferentes cursos. Isso permite certa flexibilidade no seu encadeamento, tornando possível suprimir ou inserir temas de acordo com a disponibilidade de tempo e o interesse do professor e dos alunos. (p. 23).

Siqueira (2006) e Brockington (2005), participantes do projeto desenvolvido no Lapef/FEUSP, elaboram, em suas dissertações de mestrado, seqüências didáticas cujas temáticas são a introdução à física das partículas elementares e discussão da natureza dual da luz, respectivamente.

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.

A seqüência completa de temas sugeridos é:

1. Modelos.
2. Propriedades elétricas e magnéticas da matéria.
3. Campos.
4. Interações entre o campo elétrico e o magnético.
5. Ondas eletromagnéticas e fenômenos ondulatórios.
6. Luz, cor e visão.

7. Espectroscopia.
8. Modelo de Bohr.
9. Efeito fotoelétrico.
10. Dualidade onda-partícula.
11. Realidade e realismo.

Vimos aplicando esta sequência de ensino, desde 2006, em um curso regular de ensino médio, para alunos 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.

Nosso problema de pesquisa objetiva identificar como (e se) ocorre a mudança na argumentação dos alunos 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 alunos se apropriam das interpretações da Mecânica Quântica sobre a natureza e o comportamento da luz.

Para estudar esse problema, iremos, no primeiro capítulo, discutir sobre a importância do ensino de Física Moderna e Contemporânea na escola média. Dedicar-nos-emos ao estudo de algumas iniciativas já tomadas no sentido de atualizar o currículo de Física na escola.

O segundo capítulo é dedicado às interpretações da Mecânica Quântica sobre a natureza e o comportamento da luz.

O terceiro capítulo aborda o discurso dos estudantes como um fator de verificação de sua apropriação de conceitos. São apresentadas as bases teóricas para análise da argumentação em sala de aula.

No capítulo quarto, abordaremos as propostas de ensino, como as apresentadas por Brockington (2005), e as alterações promovidas no bloco relativo à dualidade onda-partícula.

Descrevemos em seguida, no capítulo cinco, a metodologia da pesquisa. Discutimos o problema, contextualizamos, delineamos o ambiente e as personagens

deste trabalho. Ainda neste capítulo são descritas as aulas a serem analisadas e a forma como se deu a coleta dos dados.

O sexto capítulo contempla a análise dos dados e, finalmente, concluímos com algumas considerações sobre a adequação da proposta.

1 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO

Como dissemos na Introdução, tópicos de Física Moderna foram inseridos na grade curricular da rede escolar pública de ensino médio de São Paulo. Tópicos sobre a natureza da luz e sua interação com a matéria foram inseridos no segundo ano e o tema Física de Partículas foi incluído em sua série final.

Vamos fazer uma revisão bibliográfica sobre como os pesquisadores brasileiros enfocam este tema.

Para o NUPIC/LaPEF – Núcleo de Pesquisas em Inovações Curriculares do Laboratório de Pesquisas em Ensino de Física,

a Física é uma ciência experimental, e como tal se encontra sempre em desenvolvimento. No entanto, neste último século, a quantidade de inovações e rupturas teóricas tem alcançado um número muito grande se comparado ao de outros períodos de sua história. O espectro do conhecimento físico, tanto no sentido do micro quanto no macro, foi ampliado em decorrência de rupturas com conceitos e significados clássicos. Teorias como a Relatividade Geral e Restrita e a Mecânica Quântica têm servido de suporte para a produção de conhecimentos em um novo panorama científico. Essas mudanças, no entanto, não se restringem ao universo científico, pois refletem-se na sociedade em geral. Elas se manifestam, por exemplo, nas novas tecnologias, presentes no cotidiano. Hoje, ouvimos música digitalizada, manuseamos computadores que se fundamentam nos semicondutores, a iluminação pública conta com fotosensores, a medicina dispõe de aparelhos de ressonância magnética, as usinas nucleares são cada vez mais utilizadas na produção de energia em muitos países, fósseis e objetos cerâmicos antigos são datados através de contadores radioativos e o laser tem revolucionado as técnicas cirúrgicas. Mesmo fenômenos espontâneos, como a luz emitida pelo Sol e estrelas, podem ser melhor compreendidos se utilizarmos a Física Moderna e Contemporânea (FMC). (NUPIC, 2007).

No entanto, para Terrazzan (1992)

os currículos das escolas brasileiras têm permanecido tradicionais e inalterados em sua estrutura básica. Na grande maioria das vezes, não passam de meras listas de conteúdos e os planejamentos correspondentes se constituem em uma cópia de índice dos livros didáticos mais adotados. Estes currículos costumam vir prontos para o consumo dos professores, aos quais resta apenas a função de executá-los ‘acriticamente’ em sala de aula. (p. 212).

Na mesma direção apontam os Parâmetros Curriculares Nacionais:

Para o Ensino Médio meramente propedêutico atual, disciplinas científicas, como a Física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e tratam de maneira enciclopédica e excessivamente dedutiva os conteúdos tradicionais. (BRASIL, 1999, p. 209).

Mas esses mesmos *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).

Esses documentos indicam, portanto, a necessidade de uma atualização curricular do ensino de Física na escola média, que garanta acesso às modernas teorias desenvolvidas ao longo do século XX.

Menezes e Hosoume (1997) afirmam que

a escolha por esta nova visão do aprendizado escolar da física não é uma opção pela superficialidade, pela “cultura de almanaque”. Pelo contrário, é uma tentativa de dar aos estudantes uma idéia de ciência e da tecnologia, como parte da cultura, como visão de mundo, e também da cultura da produção e dos serviços da atualidade. Não se trata de ancorar o desenvolvimento abstrato em exemplos concretos, vividos, do cotidiano do aluno. Trata-se de desenvolver uma sistemática de reflexão e aprendizado, que transcenda as paredes da escola, que instrua o olhar e o pensar na rua, em casa e no trabalho. (p. 284).

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).

Borges et al. (1997) apontam que “neste sentido é importante que o currículo busque incorporar os desenvolvimentos da Física que ocorreram neste século, trazendo a Física do segundo grau para mais próximo da Física que os físicos fazem atualmente”. (BORGES et al., 1997, p. 215 apud CARVALHO; SASSERON, 2010).

É relevante salientar que os alunos se aproximam do mundo científico e tecnológico por meio de filmes, sites na Internet, histórias em quadrinhos, séries de televisão sem que lhes sejam fornecidos princípios e bases conceituais para seu entendimento. Como afirma Brockington (2005), “nesse processo, é comum que se criem concepções espontâneas sobre fenômenos e o fazer científico que, muitas vezes, os estudantes levarão por toda a vida”.

Para Ostermann e Moreira (2000),

[...] pode-se constatar que há muitas justificativas na literatura que nos permite lançar uma hipótese: há uma tendência nacional e internacional de atualização dos currículos de Física e muitas justificativas para tal. No entanto [...] ainda é reduzido o número de trabalhos publicados que encaram a problemática sob a ótica do ensino e, mais ainda, os que buscam colocar, em sala de aula, propostas de atualização. (p. 27).

Para esses autores, a inserção da FMC no ensino médio pode contribuir tanto para que o aluno tenha uma mudança em sua visão do mundo quanto para fornecer-lhe uma imagem mais correta desta ciência e da própria natureza do trabalho científico. As diversas consequências tecnológicas da FMC, que fazem parte do cotidiano do aluno, podem estimular seu interesse pelo estudo e atrair jovens para a carreira científica. Efeitos positivos para o ensino também seriam obtidos, pois o professor se sentiria mais estimulado por ensinar tópicos novos, aumentando seu entusiasmo (OSTERMANN; MOREIRA, 2000).

Em 1996, Carvalho e Vannucchi, analisando o distanciamento entre os ensinamentos da escola média e as descobertas científicas e tecnológicas, afirmavam:

Vivemos hoje num mundo altamente tecnológico – fibra ótica, códigos de barra, micro-computadores etc, etc, etc. – e o nosso ensino ainda está em Galileu, Newton, Ohm, não chegou ainda no século vinte. Estamos no último quinquênio do século XX, mas em termos de ensino estamos muito longe do seu início. Em 1905 Einstein propunha o Princípio de Relatividade Geral, em 1995 não temos nenhuma condição de ensinar a relatividade para os alunos do curso médio. (CARVALHO; VANNUCHI, 1996, p. 7).

Terrazzan (1992) afirma que:

a influência crescente dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como a inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão neste mesmo mundo, define, por si só, a necessidade de debatermos e estabelecermos as formas de abordar tais conteúdos na escola de 2º grau. (p. 209).

Para o autor, a necessidade de formação de um cidadão que possa compreender a realidade em que vive e intervir nesta realidade justifica a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no currículo do ensino médio.

Valadares e Moreira (1998) justificam a inserção de FMC na escola média, apresentando a Física como fundamento da tecnologia presente no cotidiano do aluno. Para esses autores,

é imprescindível que o estudante do segundo grau conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e certamente definirá o seu futuro profissional. Daí a importância de se introduzir conceitos básicos de Física Moderna e, em especial, de se fazer uma ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano. (p. 121).

Por outro lado, para Barojas (1983), a FMC pode:

- despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles;
- mudar a situação dos estudantes que não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em física, pois não veem nenhuma física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual idéias revolucionárias mudaram a ciência totalmente;
- atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física;
- contribuir no sentido de que é mais divertido para o professor ensinar tópicos que são novos. O entusiasmo pelo ensino deriva do entusiasmo que se tem em relação ao material didático utilizado e de mudanças estimulantes no conteúdo do curso. É importante não desprezar os efeitos que o entusiasmo tem sobre o bom ensino. (BAROJAS, 1983 apud OSTERMANN; MOREIRA, 2000).

O estudo de Brockington (2005) mostra que a introdução de FMC no currículo do ensino médio aparece também, timidamente, nos livros didáticos e em alguns exames de seleção para cursos superiores. Nos livros, os conceitos da Física Moderna têm sido introduzidos pontualmente, depois de esgotados os temas da Física Clássica. Nos livros examinados por Brockington, a abordagem desse conteúdo é superficial, e o pequeno número de páginas dedicadas aos temas mais atuais indica que os autores, com raras exceções, dão-lhes pouca importância. Para o pesquisador,

os tópicos abordados demasiadamente curtos, com um tratamento conceitual raso, tornando difícil entender os objetivos de ensino pretendidos. A quantidade de páginas dispensadas a esses temas indica a importância atribuída a eles por estes autores. Estamos convencidos de que a inserção da FMC nestes livros é fruto apenas de uma imposição editorial, talvez um reflexo das prescrições contidas nos PCNs. (BROCKINGTON, 2005, p. 14).

Em sua pesquisa, Brockington aponta ainda as dificuldades de se promover experiências de FMC em laboratórios escolares, mas ressalta o uso de simulações em computador como alternativa viável.

Também discorre sobre diversas pesquisas que apresentam recursos relativamente simples e de baixo custo, acessíveis às escolas: “Em uma atitude pioneira, professores de departamento de Física da UFRGS desenvolveram um projeto de construção de softwares educacionais em Física Moderna, focalizando o efeito fotoelétrico.” (VEIT et al., 1987).

Brockington (2005), em seu trabalho, também afirma que:

Ainda usando uma abordagem computacional, destacamos o trabalho do GoPEF/ PUC/SP – Grupo de Pesquisa em Ensino de Física da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo –, que faz uso de softwares desenvolvidos pelo grupo e de Applets disponíveis em sites da Internet para a construção de material didático utilizado em suas oficinas de capacitação docente (CAVALCANTE, 1999). Na perspectiva de aplicação em sala de aula, pode-se também encontrar uma série de trabalhos de produção de material de baixo custo para a criação de experimentos em Física Moderna. Estes trabalhos vão desde a construção de redes de difração com CDs (KALINOWSKI e GARCIA, 1990) ou cílios postiços (CAVALCANTE, 1998) até a produção de holograma com equipamentos ‘caseiros’ (GALLI, 1993) passando pela análise quantitativa de espectros (CAVALCANTE, 1999) e pela introdução da tecnologia avançada que faz uso dos cristais líquidos em mostradores de calculadoras, relógios digitais e joguinhos de bolso quebrados. (LABURÚ; SIMÕES; URBANO, 1998, p. 195). (BROCKINGTON, 2005, p.13)

Tendo como base a metodologia utilizada em diversos cursos e oficinas, Cavalcante e Tavoraro (2001) elaboraram um livro que oferece algumas opções para a inserção da Física Moderna nas escolas. Neste livro, trabalha-se a Física Moderna como uma complementação à Física Clássica. O estudo dos temas sempre é iniciado com a análise de um experimento, seguido de um problema relacionado ao conteúdo. Tem-se aqui um bom manancial de recursos para professores e alunos de licenciatura. Mas, ainda que esta proposta seja voltada para um público amplo, a dificuldade da elaboração de muitos experimentos limita sua execução por alunos da escola média (BROCKINGTON, 2005).

1.1 AS PESQUISAS SOBRE FMC NO ENSINO MÉDIO

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. Este artigo contempla as últimas duas décadas do século XX. Os autores classificam os trabalhos em seis grandes grupos e constataam que as publicações se concentram ou na forma de divulgação de temas de FMC ou como bibliografia de referência para professores da escola média.

Atestam, no entanto, serem escassos os trabalhos sobre concepções alternativas dos estudantes acerca de tópicos de FMC e quanto a relatos de atividades propostas – e testadas – em sala de aula com apresentação de resultados.

Concluem os autores, em sua revisão, 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).

Borges (2005), em sua dissertação de mestrado, dedica um capítulo à análise das coleções completas, até 2004, dos periódicos *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *Enseñza de las Ciências* e *Revista Brasileira de Ensino de Física* e de quatorze livros didáticos para verificação de abordagem e inserção de FMC no ensino de nível médio, com ênfase à Teoria da Relatividade Restrita.

O autor afirma que “existe um movimento bastante intenso a favor da mudança curricular do ensino médio, embora ainda não exista esta inserção de maneira significativa nas salas de aulas das escolas brasileiras.” (BORGES, 2005, p. 10).

O pesquisador assevera que

após a revisão da literatura utilizada no ensino médio observamos que normalmente os tópicos de Física Moderna e Contemporânea são abordados apenas nos últimos capítulos dos livros didáticos, dificultando o trabalho em salas de aula. (BORGES, 2005, p. 15).

Em suas considerações finais, Borges (2005) reitera ser frequente a discussão sobre a inserção de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, da mesma forma que sua implementação não ocorre de maneira tão habitual, embora, em sua pesquisa, os alunos se mostraram estimulados e desafiados a compreender questões atuais.

Chiarelli (2006) faz ampla revisão da literatura no que tange à inserção de FMC no ensino médio, “examinando as principais revistas de ensino de Física e de Ciências, por serem essas publicações as referenciais mais dinâmicas do desenvolvimento de ensino dessas disciplinas”. Foram consultadas as coleções completas até 2005 dos periódicos *Revista Brasileira de Ensino de Física*, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *Enseñanza de La Ciências*, *Enseñanza de La Física*, *Investigações em Ensino em Ciências* e *Ciências e Educação* e dez anos anteriores – até 2005 – das publicações *International Journal of Science Education*, *Science Education*, *Journal of Research of Science Teaching*, *Physics Education* e *Physics Education Research* (suplementos).

Em seu trabalho, o autor cita Unal e Zollman (2005 apud CHIARELLI, 2006), que fizeram um estudo sobre a ideia dos estudantes em relação ao átomo. Elaboraram questionários individuais em que os alunos deveriam fornecer informações sobre seu entendimento da estrutura dos átomos, seus constituintes e suas localizações, sobre as dimensões atômicas e a energia liberada. Os autores concluem que a maioria dos alunos não inclui um modelo na descrição dos átomos e, dentre os que o fazem, utiliza modelo mecânico para sua explicação. Apenas 3% dos estudantes fazem menção a conceitos de Mecânica Quântica.

O autor também analisou os diversos livros didáticos disponíveis no Brasil e concluiu que

há vários manuais de Física do Ensino Médio e extensa literatura que abordam os conceitos de Física Moderna e Contemporânea de um modo bastante acessível tanto para os professores como para seus alunos. Naquele capítulo [II de sua dissertação, dedicado à revisão bibliográfica] observamos que diversos países estão trabalhando com esse material, principalmente em Mecânica Quântica, com alunos que são equivalentes ao do nosso ensino médio. (CHIARELLI, 2006, p. 145).

O pesquisador constata ainda a existência de diversas experiências-piloto no Brasil, com alunos do ensino médio, particularmente promovidas pelas Universidades de São Paulo, Bahia, Rio Grande do Sul, Goiás e Minas Gerais.

Chiarelli (2006) ratifica a posição adotada por Borges (2005) e por diversos autores da necessidade de reforma do currículo do ensino médio para inserção de conhecimento de novas tecnologias.

Apesar da afirmação de Chiarelli, percebe-se, no entanto, que ainda são escassos os artigos sobre Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. A maioria das publicações encontradas pelo pesquisador data do final do século XX.

Com relação aos livros didáticos, o pesquisador afirma ainda serem poucos os que tratam de maneira mais aprofundada temas de FMC e concentra, por isso, sua análise nas obras de Beatriz Alvarenga e Antonio Máximo, GREF (Grupo de Reelaboração de Ensino de Física), Ugo Amaldi, Alberto Gaspar e Paul G. Hewitt. Destaca que tratam de forma adequada os temas propostos e que a abordagem de FMC está cada vez mais presente, o que deve influir na reformulação de obras tradicionais, facilitando a inclusão desses tópicos no ensino médio.

Apresentamos a seguir uma revisão bibliográfica em revistas nacionais sobre as pesquisas já realizadas tendo por base a introdução de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, a partir de 2001. Efetuamos levantamento bibliográfico nas seguintes publicações: Ensaio; Investigações em Ensino de Ciências; Caderno Brasileiro de Ensino de Física; Revista Brasileira de Ensino de Física e Física na Escola.

Os trabalhos promovidos por Cavalcante e Tavolaro (2001) sobre interferência e difração, utilizando cílios postiços, lanternas e CDs, e por Cavalcante, Tavolaro e Haag (2005) sobre o quantum de energia e a constante de Planck usando LEDs e CDs têm, entre outros, o objetivo de mostrar que a Mecânica Quântica é importante para a compreensão do mundo moderno e a postura do homem moderno diante da Mecânica Quântica. Esses autores afirmam que a introdução de Física Moderna no ensino médio “é um consenso entre os professores de Física, já que seu entendimento é visto como uma necessidade para a compreensão de fenômenos ligados a situações vividas pelos estudantes, sejam de origem natural ou tecnológica” (CAVALCANTE; TAVOLARO; HAAG, 2005, p. 75).

Montenegro e Pessoa Jr. (2002) investigaram as interpretações particulares que os alunos desenvolvem a respeito da Mecânica Quântica em curso de Física. Sua pesquisa envolveu estudantes de curso superior e utilizou-se de questionários e gravação de entrevistas para coleta de dados. Apesar de essa pesquisa ocorrer com alunos de graduação, suas análises e conclusões são particularmente apropriadas, no que tange às discussões sobre inserção de FMC no ensino médio. Os autores sistematizam as quatro grandes interpretações da MQ, como as apresentadas por Pessoa Jr. (2003), e analisam as respostas dos alunos acerca de suas concepções sobre o experimento de dupla fenda, o princípio da incerteza, o estado quântico, retrodição e o postulado da projeção. A partir da transposição de um esquema de classificação das “interpretações oficiais” da teoria quântica para as classificações particulares dos alunos, elaboram onze considerações, em que se destacam:

- 1) Contradições. O conhecimento que um aluno tem de uma área de Física não é perfeitamente integrado em sua mente. Às vezes, para um mesmo problema, isso o leva a enunciar uma frase e logo em seguida se contradizer.
- 2) Troca de interpretações privadas. Ligado ao ponto anterior, um aluno pode utilizar representações internas (scripts) distintas ou interpretações privadas distintas e até contraditórias, para analisar problemas diferentes.

- 4) Defesa da interpretação oficial versus uso de interpretações privadas. Há uma diferença grande entre defender explicitamente ou oficialmente uma interpretação, por um lado, e utilizá-la implicitamente ou privadamente para compreender um problema de Física Quântica, por outro [...]
- 5) Correlação entre interpretações para diferentes problemas. Ao investigarmos se as interpretações privadas utilizadas em diferentes problemas são as mesmas ou não, encontramos uma razoável correlação positiva (seção 6), ou seja, em muitos casos o aluno utilizou a mesma interpretação privada em dois problemas diferentes, apesar de haver muitas exceções que corroboram também o item 2.
- 6) Conceitos hegemônicos. Algumas palavras como 'dualidade' ou 'probabilidade' invocam um conceito muito forte na mente do aluno, fazendo-o desprezar os scripts interpretativos que utilizaria para responder uma pergunta de múltipla escolha.
- 7) Erros conceituais em cursos excessivamente matemáticos. [...]
- 10) Questões discursivas versus questões imagéticas. A maneira como uma pergunta é feita influencia bastante a escolha interpretativa do aluno. Isso inclui também se a pergunta ressalta aspectos imagéticos ou discursivos. [...]
- 11) Interpretação oficial versus imagens. Especialmente nas entrevistas, constatamos que os alunos sentem a necessidade de 'imaginar' o mundo físico no nível quântico. Os elétrons são vistos como 'bolinhas', embora possam ecom [erro de digitação] visões realistas, mas afrontam a interpretação oficial ortodoxa, notoriamente positivista, que em geral também é aceita pelos alunos. (MONTENEGRO; PESSOA JR, 2002, p. 126).

Brockington e Pietrocola (2005) propõem-se a analisar os requisitos necessários para a inserção de MQ em aulas do ensino médio. Os autores afirmam que:

Diversas pesquisas em Ensino de Física apontam para a necessidade da inserção de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio. Os trabalhos decorrentes de quase duas décadas de pesquisas educacionais são suficientes para assegurar a necessidade de atualização dos programas de Física na Educação Média. Entretanto, são poucas as pesquisas relacionadas à implementação de tópicos de teorias modernas e contemporâneas. (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005, p. 387).

Transpor a Teoria Quântica para a sala de aula do Ensino Médio deve ser vista como uma tarefa das mais complexas, pois de um lado têm-se as exigências epistemológicas inerentes ao campo de conhecimento produzido pela Física Moderna, muito distantes dos padrões de entendimento forjados no mundo cotidiano. Por outro lado, as exigências do domínio escolar não são menores, pois ideologia, necessidades de natureza didática e tradição se entrelaçam na constituição de um domínio particular. Tem-se de fato um problema complexo e com solução não óbvia: como satisfazer a ambos domínios? Será possível manter o rigor conceitual e ao mesmo tempo satisfazer as exigências do sistema didático? (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005, p. 400-401).

No entanto, Brockington e Pietrocola (2005) concluem ser

possível introduzir conteúdos modernos através de uma transposição didática centrada em atividades que tenham uma maior ênfase na argumentação de cunho filosófico, privilegiando o debate e as características mais qualitativas do conhecimento. (p. 401-402).

Ostermann e Ricci (2002, 2004) analisam em dois artigos as abordagens, feitas em livros didáticos de ensino médio, a respeito de conceitos da Relatividade Restrita. Os pesquisadores ressaltam que a maioria dos livros ainda não dedica tratamento adequado ao tema e, quando o faz, apresenta conceitos como massa relativística, equivalência massa-energia e contração de Lorentz de forma errônea ou que induzem o estudante a compreensão incorreta dos conceitos.

Afirmam que sua pesquisa

revelou que a Relatividade Restrita simplesmente não é abordada na maioria das obras. Quando o tema é tratado, muitas vezes a abordagem utilizada deixa a desejar, pela superficialidade com que este é introduzido. Uma vez que esses textos não promovem a necessária ruptura com o senso comum que o entendimento da Relatividade Restrita exige, acabam por comprometer a correta aprendizagem dos conceitos envolvidos. (OSTERMAN; RICCI, 2002, p. 190).

Ainda sobre o tema relatividade, Guerra, Braga e Reis (2007) apresentam uma proposta de inserção curricular na grade dos alunos do primeiro ano do ensino médio, na qual sugerem uma abordagem histórico-filosófica da ciência. Apontam que “a integração da teoria da relatividade geral e restrita com o currículo [...] é um caminho para trazer esses temas ao ensino médio”.

Karam, Cruz e Coimbra (2007) analisam uma sequência didática que visa a inserção de tópicos da teoria da relatividade para estudantes de primeiro ano do ensino médio. Sustentam que “a abordagem da teoria da relatividade de Galileu pode contribuir para uma ênfase nos aspectos conceituais da física e servir também como uma porta de entrada para o tratamento de tópicos da relatividade”.

Valadares e Moreira (1998) trazem sugestões de como promover a inserção de tópicos de Física Moderna que se relacionem com o cotidiano dos alunos. Priorizam experimentos de baixo custo e ensinam 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.

Finalmente, Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007) elaboram uma proposta para o ensino de Raios-X com ênfase em CTSA, apoiados nos resultados de uma pesquisa promovida junto a professores de Física sobre a introdução de Física Moderna no ensino médio. Esses autores reiteram as posições, adotadas por diversos autores, da necessidade de inserção de tópicos de FMC no ensino médio e asseveram que:

A discussão sobre a necessidade de atualização curricular, com base nas pesquisas analisadas, parece constituir um assunto esgotado. Os principais problemas que surgem dessa análise referem-se ao 'como fazer', a fim de que os tópicos de FMC não se tornem apenas mais um 'tópico problemático' num currículo que necessita de uma reforma urgente. (OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007, p. 448).

Fundamentam a escolha do tema 'raios-X' apoiados na lista elaborada por Osterman e Moreira (2000) e na possibilidade de abordagem de FMC por meio de assuntos já tradicionalmente tratados em Física e Química, como os modelos atômicos e o espectro eletromagnético.

Em suas considerações, os autores constatarem que:

O resultado da análise de dados mostra um quadro favorável para a introdução de uma proposta metodológica com tópicos de física moderna e contemporânea, particularmente os raios-X, no atual currículo de física do ensino médio do Estado do Rio de Janeiro. (OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007, p. 453).

Cabe salientar que, nessa pesquisa, apesar de julgar o tema relevante e adequado para implantação, os professores entrevistados ainda evocam a dificuldade de inserção de tópicos que sejam diversos àqueles habitualmente explorados em vestibulares.

A revisão da literatura, promovida nesta pesquisa, sugere-nos que, a despeito do consenso da necessidade de atualização curricular, com a consequente inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea, da aproximação do ensino de Física com as recentes tecnologias, ainda são poucos os autores e grupos que se debruçam sobre a questão.

2 A NATUREZA DA LUZ E O INTERFERÔMETRO DE MACH-ZEHNDER

Este capítulo objetiva apresentar, resumidamente, algumas das principais questões envolvidas nos debates filosóficos e epistemológicos sobre as concepções da natureza da luz.

Para tanto, iniciaremos com uma breve história sobre o desenvolvimento das teorias relativas a essa natureza da luz, baseadas nos trabalhos de Barthem (2005), Salvetti (2006) e Zeilinger (2005).

Na sequência, abordaremos o interferômetro de Mach-Zehnder e, apropriando-nos dos trabalhos de Pessoa Jr. (2003), abordaremos as interpretações dessa teoria acerca do caráter e do comportamento da luz.

2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MODELO CORPUSCULAR E O ONDULATÓRIO

Com a teoria corpuscular da luz, encontraram-se dificuldades na explicação de experimentos de refração, por necessitar de uma força na superfície de separação dos meios. Também necessitava de corpúsculos de cores diferentes para explicar essas cores. Não foi possível dar explicações sobre os experimentos de interferência. Por outro lado, não houve necessidade de completar o espaço vazio para o transporte da luz. Era até bom que continuasse vazio, pois os corpúsculos de luz teriam velocidade maior, justamente nesse espaço.

Por sua vez, com a teoria ondulatória, explicaram-se perfeitamente os fenômenos da reflexão, da refração e da interferência. Também o mecanismo das cores não necessitava de corpúsculos específicos para cada cor, apenas de ondas de diferentes comprimentos. Já na propagação da luz, esta teoria necessitava de soluções bastante insólitas. A concepção do éter, se por um lado resolvia a necessidade de um meio para propagação das ondas, por outro trouxe a necessidade

de se aceitar um meio ao mesmo tempo capaz de interagir com as ondas e não influenciar o movimento dos corpos, não lhes opor quaisquer resistências mecânicas.

Aceitar a teoria ondulatória da luz exigia aceitar a existência do éter. Este fora aceito pela maioria dos físicos, em torno de 1830. Mesmo os que hesitavam aceitá-lo, admitiam sua hipótese, visto que os resultados obtidos pela teoria ondulatória permitiam explicar a maioria dos fenômenos luminosos.

Como explica Barthem (2005), mesmo aceito pela comunidade científica, era necessário provar a existência do éter. Numerosos cientistas tentaram, e seus experimentos sempre resultaram em fracasso. Cabe destacar as tentativas de Michelson, em 1881, e de Morley, 1887, de medir a velocidade da Terra em relação ao éter, chegando à conclusão de que *“é impossível, através de uma experiência de física qualquer que seja, detectar o movimento da Terra em relação ao éter”*.

George Francis Fritz Gerald (1851 a 1901), em artigo de 1895, explicou os resultados obtidos por Michelson e Morley (BARTHEM, 2005).

De acordo com Barthem (2005), Hendrik Antoon Lorentz (1853 a 1928) demonstrou que a constância da velocidade da luz no vácuo podia ser deduzida da teoria de Maxwell;

Em sua *Teoria da Relatividade Restrita*, publicada em 1905, Einstein simplifica este problema com a introdução de dois postulados (BARTHEM, 2005):

1. *Não se pode perceber o movimento absoluto.*
2. *A velocidade da luz é independente do movimento da fonte.*

Barthem (2005, p. 38-39) escreve ainda que “no que concerne a natureza mecânica do éter de Lorentz, pode-se dizer com todo prazer que a imobilidade é a única propriedade mecânica que Lorentz ainda lhe deixou.” Em outras palavras, o éter foi simplesmente abandonado.

Ainda no século XIX surgem novas descobertas sobre a natureza da luz. E estas vêm de um campo até então totalmente independente, desconexo, da óptica: o eletromagnetismo.

Em resumo, nas palavras de Salvetti (2006),

quando observamos a luz pelas propriedades que ela apresenta ao atingir a superfície de separação entre dois meios, vemos parte da luz refletir com as mesmas características da luz incidente. A parte refratada passa de um meio a outro alterando, entre outras coisas, a sua direção e a velocidade de propagação. Quando examinamos a luz utilizando fendas muito estreitas, observamos efeitos de interferência típicos de ondas, o que nos faz concluir que a luz tem natureza ondulatória. Quando a luz atravessa polarizadores, se comporta como se fosse composta por onda transversais. (SALVETTI, 2006, p. 143).

Mais ainda, segundo Salvetti (2006),

a interação da luz com a matéria, nos fenômenos da reflexão, refração, interferência e polarização, revela um comportamento que pode ser compreendido considerando a luz como formada por ondas transversais. Esse conjunto de propriedades ondulatórias se relaciona à presença de cargas elétricas e seus movimentos, através de campos elétricos e magnéticos, e podem ser sintetizadas por um grupo de quatro equações, as chamadas equações de Maxwell, que lhes garantem apoio teórico. (idem, p. 143-144).

O estudo dos campos elétricos e magnéticos e suas relações possibilitaram a consideração de que a luz é formada por ondas eletromagnéticas.

Nas palavras de Salvetti (2006),

a principal diferença na representação por campos é podermos considerar que eles levam as informações das cargas e o fazem com uma determinada velocidade, em vez de termos a interação à distância entre duas cargas, teremos a interação local entre uma carga e o campo criado pela outra carga. Assim, uma carga não responde a outra carga distante dela como parece estar representado na interação de Coulomb, uma carga reage ao campo elétrico como ele se apresenta na posição onde ela se encontra. (p. 90).

Pela linguagem de campos, a velocidade com que a informação proveniente de uma carga elétrica se propaga é a mesma com que o campo ou sua alteração se propaga, isto é, a velocidade de propagação é a mesma da velocidade da luz.

Ondas eletromagnéticas são produzidas por cargas elétricas em movimento, que alteram os campos elétricos ao seu redor e essa alteração se propaga a velocidade da luz.

O entendimento da interação entre ímãs, de maneira análoga, leva as mesmas conclusões referentes a interações entre cargas elétricas, levando-se em consideração a representação por campos.

Assim, a velocidade com que a informação proveniente de um ímã viaja é a mesma que a da luz e, se o campo magnético é o responsável por essa informação, este também viaja à velocidade da luz.

Há, então, uma conexão entre luz, campo elétrico, campo magnético e suas alterações.

2.2 ESPECTRO DE RADIAÇÃO

Os fenômenos eletromagnéticos explicaram a luz. Luz, de ondas eletromagnéticas, reflete, refrata, interfere, polariza e colore. Variando apenas o comprimento de onda, identificamos raios gama, raios-X, ultravioletas, luz visível, infravermelhos, micro-ondas, ondas de rádio e de TV.

O conjunto de ondas eletromagnéticas formadas por todos seus comprimentos de onda é denominado espectro de radiação eletromagnética. A luz visível refere-se à faixa do espectro capaz de provocar sensação visual em um observador; situa-se entre 0,0007 mm e 0,0004 mm de comprimento de onda, indo do vermelho ao violeta.

2.3 EVIDÊNCIAS EXPERIMENTAIS E ALGUMAS PERTURBAÇÕES NO MODELO ONDULATÓRIO

O final do século XIX, no bojo do desenvolvimento da termodinâmica, protagonista da Revolução Industrial na Europa, com motores a vapor e de combustão interna, representa para muitos o esplendor do conhecimento humano e a certeza de que todos os segredos do Universo estão desvelados.

Apenas detalhes deveriam ser esclarecidos. Um destes foi a previsão de a luz ter uma velocidade fixa, gerando a citada Teoria da Relatividade Restrita, em 1905, e a Teoria da Relatividade Geral, entre 1915 e 1916.

2.3.1 O EFEITO FOTOELÉTRICO¹

Em 1896, Guglielmo Marconi (1874 a 1937) patenteou o uso das ondas hertzianas na comunicação sem fio, ou seja, da radiotelegrafia.

Heinrich Hertz, ao observar ondas eletromagnéticas previstas por Maxwell, trabalhando com faíscas geradas pelos eletrodos, notou que, quando a luz ultravioleta iluminava o terminal negativo, as faíscas surgiam com maior facilidade. Não deu prosseguimento a essa pesquisa, que fora a primeira observação do efeito fotoelétrico, fenômeno mais tarde explicado por Albert Einstein (1879 a 1955).

Em sua montagem experimental Hertz utilizou uma bobina de indução de alta voltagem para causar centelhas elétricas entre duas esferas de latão. Ocorrendo uma descarga entre as duas esferas, um caminho condutor fecharia o circuito e a carga poderia oscilar, emitindo radiação eletromagnética. Para provar sua existência, essa radiação deveria ser detectada. A experiência de Hertz foi bem-sucedida, sendo detectada radiação a até 5 m de distância, além de constatar que a radiação era refletida, refratada e polarizada. Mas também se observava uma pequena descarga elétrica, no receptor, que ficava mais intensa se exposta à radiação ultravioleta.

O fenômeno observado poderia ser explicado da seguinte forma: o campo elétrico oscilante da radiação incidente devia excitar os elétrons dos átomos do cátodo e, eventualmente, alguns deles seriam de tal forma perturbados, sendo ejetados do cátodo.

2.3.2 O EFEITO FOTOELÉTRICO E AS PREVISÕES DO MODELO ONDULATÓRIO DA LUZ²

Segundo o modelo ondulatório, se a intensidade da radiação aumentasse, os elétrons seriam mais fortemente agitados e um maior número deles seria emitido, além de serem com maior energia cinética. Aumentando a frequência da radiação, os

¹ Este tópico foi elaborado com base em Barthem (2005) e Salvetti (2006).

² Idem.

elétrons seriam agitados mais rapidamente, o que faria com que também obtivessem maior velocidade. Finalmente, para uma luz muito tênue, esperava-se que os elétrons necessitassem de certo intervalo de tempo até alcançarem uma amplitude de vibração suficiente para que fossem ejetados.

Tais previsões não se confirmaram. Ou seja, uma intensidade de radiação maior provoca uma maior quantidade de elétrons emitidos, mas com a mesma energia. O efeito fotoelétrico não ocorre para qualquer frequência de radiação, sendo mais facilmente observado para radiação violeta ou ultravioleta. E mesmo para baixíssimas intensidades, a emissão, quando ocorre, é imediata.

A explicação para este fenômeno foi apresentada em 1905 por Einstein, recorrendo às ideias de Planck, segundo o qual a energia na matéria deveria estar na forma de pacotes, mas fora dela, onde apareceria na forma de radiação, continuava submetida às leis contínuas estabelecidas por Maxwell. Einstein mostrou que as duas ideias não eram compatíveis e que a radiação era formada por pacotes de energia, denominados, posteriormente, de fótons. Estabeleceu a expressão:

$$\Delta E = h\nu - W$$

A teoria apresentada por Einstein estabeleceu a existência de uma frequência mínima da luz incidente, para um dado metal, cuja energia quântica equivale à função trabalho W . Para uma luz com frequência menor que o valor mínimo, independentemente da intensidade, não haverá fotoemissão.

Antes de nos atermos às interpretações da Mecânica Quântica quanto à natureza da luz, precisamos nos familiarizar com um arranjo experimental bastante simples: o interferômetro de Mach-Zehnder.

2.4 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. Recorramos a Zeilinger (2005) para elucidá-lo (Figura 1):

FIGURA 1 – a) Interferômetro real clássico; e b) Representação do MZ, composto por uma fonte, dois semiespelhos e dois espelhos.

Um raio de luz incidindo da direita é em parte refletido por um primeiro espelho semi-refletor, e em parte o atravessa – precisamente de modo que a exata metade da luz toma o caminho superior e a outra metade o caminho inferior. Cada um desses dois raios de luz atinge então um espelho totalmente refletor e é refletido ali. Os dois raios se encontram finalmente no segundo espelho semi-refletor, e aqui sucede a verdadeira superposição das duas ondas. Cada um dos dois raios é dividido agora em duas ondas, do raio que tomou o caminho superior a metade é refletida para a esquerda e a outra metade atravessa para baixo. Do raio que tomou o caminho inferior, a metade atravessa para a esquerda e a outra metade é refletida para baixo. Cada um dos dois raios, que abandonam o interferômetro atrás do segundo espelho semi-refletor, é assim uma superposição de parcelas iguais de ondas, das quais uma veio pelo caminho superior e outra pelo caminho inferior. Dessa maneira, os dois raios trarão cada qual a metade da luz que veio da direita? Até aqui não levamos em conta a interferência. Cada um desses raios consiste, depois do último espelho, em duas semi-ondas que tomaram caminhos diferentes, e interessa agora saber se essas semi-ondas se reforçam ou se extinguem mutuamente. Para responder a essa questão, precisaríamos saber com exatidão o que acontece com as ondas nos espelhos. A propagação das ondas no espaço livre entre os espelhos é, ao contrário, um processo muito simples, e, caso o interferômetro esteja 'bem ajustado', como se diz – a expressão se refere ao fato de todos os caminhos de raio terem comprimento igual –, as duas ondas, a superior e a inferior, percorrerem a mesma distância no interior do interferômetro. Portanto, na propagação pelo espaço livre, elas estão submetidas a uma mesma influência. Também podemos esquecer a influência dos dois espelhos que refletem totalmente, pois se trata também de uma influência que as duas ondas sofrem de maneira igual. Porém, no caso dos espelhos semi-refletores, acontece algo mais sutil. Vamos discutir isso de maneira mais meticulosa, pois é de grande importância para a compreensão do interferômetro. Consideremos assim como os raios que saem do último espelho se desenvolvem. O ponto essencial é que a semi-onda que toma o caminho superior dentro do interferômetro atravessa o primeiro espelho semi-refletor, e no segundo, é refletido (o efeito do terceiro espelho totalmente refletor pode ser deixado de lado, como já falamos), e que a semi-onda que toma o caminho inferior é refletida no primeiro espelho e atravessa o segundo espelho semi-refletor. As duas ondas experimentam assim o mesmo destino, só que em seqüência inversa. Ao longo de cada um dos dois caminhos, o raio é refletido em uma vez em um espelho semi-refletor, na outra ele atravessa. Porém, como a seqüência em que isso acontece é indiferente, as duas semi-ondas que saem atrás e que constituem o raio saindo à esquerda, têm de ser exatamente iguais. Ali, onde uma onda encontra uma crista, a outra também tem que encontrar uma crista; ali onde uma onda encontra um vale, a outra também tem de encontrar um vale. As duas ondas se reforçam mutuamente devido à interferência construtiva. [...] Consideremos agora as semi-ondas que concorrem para formar o raio que sai para baixo. Aqui nós vemos que as situações são fundamentalmente distintas. A semi-onda que tomou o caminho superior dentro do interferômetro atravessa duas vezes o espelho semi-refletor. A semi-onda que tomou o caminho inferior é refletida duas vezes. Não há, portanto, razão alguma para as duas semi-ondas serem iguais. De fato, um cálculo exato mostra que as duas semi-ondas estão deslocadas entre si, de sorte que ali onde uma onda encontra uma crista, a outra encontra um vale; e ali onde uma encontra um vale, a outra, por sua vez, encontra uma crista. Se somarmos essas duas ondas, elas se extinguem mutuamente. Ou seja, nenhuma luz sai para baixo. Essa é a interferência destrutiva. Também poderíamos ter derivado esse resultado diretamente do anterior, simplesmente do fato de que obtivemos ali o resultado de toda luz que entra no interferômetro pela direita sair pela esquerda. Uma vez que luz não pode surgir em parte alguma por um passe de mágica, nenhuma luz

pode sair para baixo. Todavia, isso só vale se as duas semi-ondas se extinguem mutuamente. (ZEILINGER, 2005, p. 213-217).

É possível ajustar esse arranjo para se conseguir que apenas um fóton esteja no interior do interferômetro e colocar detectores em sua saída para que possamos investigar a presença do fóton. O ponto que importa é o comportamento de partículas individuais. Para raios de luz, podemos argumentar que a presença ou não de ondas deve-se à interferência construtiva ou à destrutiva das duas semiondas que vieram por caminhos distintos. Isto implica que, para fótons únicos, temos que explicar como interferência destrutiva o fato de nenhum fóton se apresentar na saída inferior. Mas de que tipo de onda se trata? Os fótons são partículas ou são ondas que se podem propagar ao longo de diversos caminhos?

2.5 AS INTERPRETAÇÕES DA MECÂNICA QUÂNTICA SOBRE A NATUREZA DA LUZ

Dizer que uma coisa é ao mesmo tempo partícula e onda é uma contradição lógica. Isto implicaria que esta coisa seria indivisível e divisível, possua e não possua uma trajetória.

Explicando, nas palavras de Pessoa Junior (2003):

Para a Física Clássica, uma partícula pode ser imaginada como uma bolinha bem pequena que se locomove pelo espaço, e que, em condições normais, não se divide. Além dessa indivisibilidade, uma partícula clássica também se caracteriza por estar sempre em uma posição bem definida, e com velocidade precisa. Com o passar do tempo, a partícula descreve uma trajetória bem definida, que pode ser concebida como uma curva no espaço. Uma onda, por outro lado, é concebida pela Física Clássica como uma excitação que se propaga em um meio, como a superfície da água, e que tem a característica de se espalhar no espaço. O que se propaga com a onda é a energia, que se identifica com o movimento oscilatório das partículas do meio. Como esse movimento das partículas pode ser tão tênue quanto se queira, podemos dizer que as ondas não possuem a característica de serem indivisíveis, mas que são contínuas, pelo menos em teoria. Elas são espalhadas pelo espaço, sem se localizarem em um espaço bem definido. Além de contínuas e espalhadas, as ondas exibem uma série de fenômenos típicos, como a interferência. (p. 2).

A Teoria Quântica se propõe a conciliar de alguma maneira “partícula” e “onda” sem cair nessa contradição. Essa teoria essencialmente se caracteriza por atribuir características ondulatórias a qualquer partícula individual e aspectos corpusculares para toda forma de radiação.

Uma característica da Teoria Quântica é que pode ser interpretada de diversas maneiras de forma consistente e bem estruturada. Existem dezenas de interpretações diferentes da Mecânica Quântica que podem ser agrupadas em quatro grandes grupos, segundo Montenegro e Pessoa Jr. (2002).

Apresentamos abaixo, desse modo, as quatro principais interpretações da Mecânica Quântica selecionadas por Pessoa Jr. (2003):

1 – Interpretação Ondulatória: essa interpretação considera que os objetos quânticos possuem uma ontologia ondulatória. Um objeto quântico, antes de ser detectado, é espalhado, propagando-se como uma onda. Contudo, no momento da detecção, esta onda ficaria localizada tornando-se um estreito pacote de onda, como se fosse uma partícula. Surge, assim, a necessidade de inserção da ideia de “colapso da função de onda” ou “redução do vetor de estado”. Isso decorre do fato de um estado poder ser escrito como a superposição de dois autoestados. Após a medição, o estado é reduzido ou para 1 ou para 2. O “colapso” aparece, pois ao se detectar, por exemplo, 1, a probabilidade de detecção de 2 se anula instantaneamente. Com isso, surge a não localidade, com a propagação de informação com velocidade infinita, dado que a onda é considerada como real.

2 – Interpretação Corpuscular: essa interpretação atribui uma ontologia corpuscular aos objetos quânticos, sem a necessidade de estar a eles associada qualquer propriedade ondulatória. Com isso, esta abordagem possui extrema dificuldade em dar conta dos fenômenos ondulatórios como, por exemplo, os padrões de interferência e difração do experimento da dupla fenda. Uma saída proposta para explicar esses padrões argumenta que o objeto quântico sofreria impulsos discretos ao interagir com o anteparo gerando o padrão de interferência. Outra solução proposta é a utilização de uma Lógica Quântica, ou não-clássica. A abordagem corpuscular apresenta, ainda, uma outra visão, chamada de “interpretação dos coletivos estatísticos”, na qual um

vetor de estado representa a média sobre todas as posições possíveis para a partícula. Assim, como o vetor de estado não pode descrever um objeto quântico individual, esta visão considera a Mecânica Quântica como essencialmente estatística, não fornecendo uma descrição completa da natureza.

3 – Interpretação Dualista Realista: essa interpretação atribui uma ontologia dual para o objeto quântico, ou seja, o concebe constituído de duas partes; uma partícula e uma onda a ela associada. A detecção da partícula depende da amplitude de sua onda associada. Assim, na região onde houver uma superposição destrutiva, a probabilidade de se encontrar ali uma partícula é pequena, chegando a ser nula quando houver um cancelamento total. Um sério problema surge com a “parte não detectada”, ou seja, ainda que a partícula seja detectada, uma parte de sua onda piloto, com menos amplitude, nunca é detectada. Com isso, foi proposta a existência de um tipo de onda que não carrega energia, denominada “onda vazia”. Essa interpretação considera a existência de “variáveis ocultas”, que seriam partículas, com velocidades e posições bem definidas, mas guiadas pelas “ondas-piloto”.

4 – Interpretação da Complementaridade: essa interpretação destaca uma limitação da capacidade de se poder representar a realidade quântica por meio de conceitos da Física Clássica, ainda que estes tenham que ser usados para interpretar os resultados experimentais. Os objetos quânticos podem ser corpusculares ou ondulatórios, mas nunca os dois ao mesmo tempo. Essa interpretação não atribui qualquer ontologia a estes objetos até que eles sejam observados. Assim, só se pode atribuir a eles uma realidade após o ato da medição. O estado também é destituído de qualquer *status* ontológico sendo considerado apenas como um instrumento matemático de predição e cálculo. Como o objetivo quântico pode ser ondulatório surge, inicialmente, a questão do colapso da onda, visto que esta é detectada pontualmente. Contudo, esse problema é solucionado ao se adotar o “postulado quântico”, proposto por Planck, e considerado por Bohr como princípio fundamental da teoria quântica. Esse postulado afirma que toda detecção é necessariamente pontual, isto é, há uma descontinuidade intrínseca a qualquer processo atômico.

Embora destinadas ao Ensino Superior, Brockington (2005) acata

a sugestão de que seria proveitoso utilizar em sala de aula as quatro interpretações apresentadas por esses autores. Com isso, baseamo-nos em trabalhos de Pessoa Jr (2003) para discutir com os alunos do Ensino Médio estas possíveis interpretações da Mecânica Quântica no curso que elaboramos e que será analisado posteriormente nesta dissertação. (p. 55).

Em nossa pesquisa, utilizaremos essas interpretações para as observações no interferômetro de Mach-Zehnder, 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.
Complementaridade	O fóton se manifesta ora como onda, ora como partícula, mas nunca como onda <u>e</u> 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.

3 O DISCURSO DOS ESTUDANTES COMO UM FATOR DE VERIFICAÇÃO DA SUA APROPRIAÇÃO DE CONCEITOS

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) apregoam que a escola é um dos poucos lugares em que os alunos 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 alunos 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 alunos 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).

Em oposição a *enculturação*, há o conceito de *aculturação*, em que os conhecimentos apresentados pelo professor e obtidos no ambiente de aula deveriam suprimir a cultura do aluno, ou seja, toda a bagagem de conhecimentos e cultura obtida anteriormente seria substituída pelas novas informações e conhecimentos.

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.

Os PCNs consideram a linguagem como

a capacidade humana de articular significados coletivos e compartilhá-los, em sistemas arbitrários de representação, que variam de acordo com as necessidades e experiências da vida em sociedade. A principal razão de qualquer ato de linguagem é a produção de sentido. (BRASIL, 1999, p. 125).

De acordo com Lemke (1998, p. 2),

estudando textos científicos, Jay Lemke (1998), no artigo 'Multiplying Meaning: Visual and Verbal Semiotics in Scientific Text', observa que diversas formas de linguagem se combinam com o objetivo de que haja uma comunicação mais eficaz. O autor afirma que a linguagem é uma prática social e, por isso, ao construir significado, recorremos sempre a gestos, ações e elementos próprios de nossa cultura. Neste contexto, Lemke argumenta haver diversas formas de se combinar informações e relacioná-las, e, portanto, diversas formas possíveis de se construir conhecimento. Ele lembra ainda que mesmo existindo diferentes maneiras de se conceber noções para um mesmo conhecimento a '*cultura é livre para produzir novas restrições a estas combinações*'. (apud SASSERON; CARVALHO, 2008a).

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.

Para o outro, os fatos (**dados – D**) apoiam uma alegação e fundamentam o suporte à **conclusão (C)** a ser apresentada. Segundo o autor, percebemos que a “asserção original apóia-se em fatos apresentados que se relacionem a ela.” (TOULMIN, 2006, p. 140).

Para Toulmin (2006), as **garantias (W)** são informações necessárias e adicionais, que relacionam **D** e **C**, e nos permitem entender como um argumento passa dos dados às conclusões. As garantias são informações gerais e hipotéticas, podendo ser regras ou princípios, sem, no entanto, serem informações novas.

O outro ainda apresenta o **qualificador modal (Q)**, para as situações em que dado, garantia e conclusão são insuficientes para a aceitação de um argumento. O qualificador modal é “a força que a garantia empresta à conclusão” (TOULMIN, 2006, p. 153), geralmente um advérbio. Em oposição, **as condições de exceção ou refutação (R)** contestam as suposições elaboradas e fazem com que a garantia perca força. De acordo com Sasseron e Carvalho (2008b), “os qualificadores e as refutações dão os limites de atuação de uma determinada justificativa, completando a ‘ponte’ entre dado e conclusão.”

Como último elemento componente dessa estrutura, Toulmin apresenta o **conhecimento básico (B)** que sustenta a garantia do argumento, avalizando e dando autoridade a esta.

O padrão proposto por Toulmin, a partir desses elementos, é o que está apresentado na Figura 2.

FIGURA 2 – Padrão de argumento completo.

FONTE: Toulmin (2006).

Em sua obra, o autor diferencia alguns elementos da argumentação, a partir da análise de diferentes campos, como lei, política, ciência etc. Afirma que alguns argumentos são de características invariáveis, quando são os mesmos em todos os campos, enquanto outros são de características dependentes, quando variam com os campos.

Para Jimenez-Aleixandre, Bugallo Rodríguez e Duschl (2000), a flexibilidade desse modelo, para funcionar no contexto campo-dependente e no de campo-variável, é uma vantagem para entendimento dos argumentos apresentados pelos alunos em sala de aula.

Jiménez-Aleixandre, Reigosa Castro e Álvarez-Pérez (1998) ampliaram ainda mais o modelo de Toulmin com a criação de subcategorias para o elemento dado (D). Os autores afirmam que o dado (D) se caracteriza como dado fornecido (DF), quando disposto pelo professor, pelo livro, por um protocolo de experimento etc., ou como dado obtido (DO), quando os alunos o obtêm por meio de uma atividade experimental, classificado como dado empírico (DE), ou por hipóteses elaboradas, quando são chamados de dado hipotético (DH) (Figura 3).

FIGURA 3 – Estrutura completa de um argumento segundo o modelo de Toulmin ampliado com as categorias Dado Fornecido (DF), Dado Obtido (DO) e as subcategorias Dado Empírico (DE) e Dado Hipotético (DH).

FONTE: Jiménez-Aleixandre, Reigosa Castro e Álvarez-Pérez (1998).

Lawson (2000, 2002, 2003, 2004), estudando a argumentação dos cientistas, afirma que Jiménez-Aleixandre, Reigosa Castro e Álvarez-Pérez (1998) e os filósofos contemporâneos creem cada vez mais que são as estruturas de pensamento que norteiam as descobertas científicas, podendo estas serem consideradas basicamente como uma produção hipotético-dedutiva. Questiona o autor: “poderia o raciocínio hipotético-dedutivo estar presente em todas as descobertas científicas?” (LAWSON, 2002, p. 20).

O autor debruça-se sobre trabalhos de diversos cientistas, como os relatórios de Galileu Galilei, a pesquisa de Walter Alvarez ou a de Alcock, para estudar os aspectos fundamentais do pensamento científico utilizado.

Locatelli (2006) sistematiza a estrutura do raciocínio hipotético-dedutivo desenvolvida por Lawson a partir desses estudos:

A estrutura tem seu início com o termo ‘**Se...**’, diretamente ligado às hipóteses (uma proposição); o termo ‘**E...**’ diz respeito ao acréscimo de condições de base (um teste); o termo ‘**Então...**’ é relativo aos resultados esperados (às consequências esperadas); o termo ‘**E...**’ ou ‘**Mas...**’ aos resultados e consequências reais e verdadeiras. O termo ‘**E...**’ deve ser utilizado caso os resultados utilizados combinem com os esperados e o termo ‘**Mas...**’, caso haja um desequilíbrio nos resultados, desta forma, o ciclo reinicia-se com outras hipóteses e, finalmente, o termo ‘**Portanto...**’ introduz a conclusão a que se chega. (p. 25).

O diagrama a seguir representa essa estrutura (Figura 4):

FIGURA 4 – Padrão proposto por Lawson (2004).

Lawson (2002) afirma que as ideias envolvidas nos processos mentais das descobertas científicas seguem esse padrão de representação na aquisição de conhecimento, e que esses padrões têm sido utilizados na resposta de uma elevada gama de questões científicas, bem como nas descobertas científicas.

Em sua pesquisa, Locatelli (2006) estabeleceu uma comparação entre os padrões propostos por Toulmin (2006), para análise de argumentos completos, e de Lawson, (2002, 2004) para representação de raciocínio hipotético-dedutivo. O diagrama da Figura 5 sintetiza essa comparação.

FIGURA 5 – Comparação entre os padrões propostos por Lawson e Toulmin.
 FONTE: Locatelli (2006, p. 119).

Por esse diagrama, pode-se inferir que tanto os dados podem ser obtidos a partir de uma pergunta, como os dados possibilitam a formulação de perguntas, podendo estas necessitarem, ou não, de outros dados.

A pergunta inicial evoca uma primeira hipótese “Se...”, baseada nos dados obtidos e no “conhecimento prévio disponível”.

Sob condições específicas, pode haver implemento de “condições de base “E...”, levando à construção da “justificativa”, que ligará a hipótese “Se...” aos resultados esperados “Então...”.

Se os resultados referendarem a hipótese o “qualificador E...” dá plausibilidade ao argumento, do contrário, haverá “refutação, Mas...” da hipótese e uma nova será formulada.

A obtenção da “conclusão, Portanto...” dar-se-á após o teste e a confirmação da hipótese.

Segundo Carvalho e Sasseron (2010),

podemos inferir algumas relações sobre a linguagem na Ciência, mas, principalmente, sobre o seu papel e sua estrutura. A primeira é que a Linguagem da Ciência é uma linguagem argumentativa, isto é, não se faz Ciências sem se argumentar sobre os fenômenos, sobre os ‘fatos científicos’, pois é necessário apresentar uma argumentação com justificações para transformar fatos em evidências. A segunda é que a argumentação científica obedece a uma estrutura muito particular de pensamento e que podem ser vistas como produção basicamente hipotético-dedutiva. A terceira é que as justificativas e/ou as explicações estão relacionadas aos campos de conteúdos que estão sendo pesquisados, isto é, depende do contexto.

De acordo com Lemke (1998a),

além do processo argumentativo na linguagem verbal, quer oral quer escrita, existem outras características da linguagem científica cujo entendimento é importante para a compreensão do processo de construção das ciências... Para fazer ciência, para falar ciência, para ler e escrever ciência, é necessário lidar e combinar em formas regradas discurso verbal, expressões matemáticas, representações gráfico-visuais e operações motoras no mundo ‘natural’ (incluindo humano como natural). (p. 3).

Na afirmação de Lemke, o que se depreende é que tabelas, gráficos, figuras e outros elementos matemáticos, além da linguagem verbal, são necessários nas ciências durante o processo de argumentação.

Latour e Woolgar (1997, p. 44) propõem a noção de “inscritor” como sendo “todo o elemento de uma montagem ou toda uma combinação de aparelhos capazes de transformar uma substância material em uma figura ou diagrama diretamente utilizáveis por uma pessoa”. Que importante relevância na construção da linguagem científica, pois estabelece uma relação direta entre o fenômeno estudado e sua representação, seja na forma de figura, gráfico, dados ou diagrama. Para os autores, os cientistas utilizam-se dessas inscrições desde a construção de um gráfico até a elaboração de artigo para discussão, como nos mostram em “o diagrama final torna-se ponto de partida do processo sempre renovado de escrita dos artigos [...] são produzidos os artigos que comparam e opõem esses diagramas a outros que com eles se parecem” (p. 45).

Roth (2002), também analisando o trabalho de cientistas em laboratório, observou que estes não fazem distinção entre os objetos sobre a lâmina de um microscópio, a imagem virtual na ocular ou no monitor e os gráficos correspondentes, quando vão explicar seu objeto de estudo. Ao olhar para o gráfico, o cientista “enxerga” o objeto de estudo.

O autor afirma que um cientista, ao olhar para uma tabela, gráfico ou figura, enxerga seu significado, ou seja, o fenômeno que está estudando. Ele denominou de “transparência” esse fenômeno, fazendo a seguinte analogia:

Da mesma forma que os óculos auxiliam um míope a enxergar o mundo de forma diferente, levando-o até mesmo a esquecer-se de que está usando este artefato, os gráficos e outras ferramentas científicas possibilitam uma relação direta entre o investigador e seu objeto de estudo. (ROTH, 2002).

Cabe ressaltar que, como mostra o autor, o uso competente dos gráficos requer uma familiarização com os processos que levam à sua construção. O sujeito deve dominar as ferramentas de que faz uso na transformação de seu objeto de pesquisa.

Lemke (1998b) enfatiza que a linguagem científica é um híbrido semiótico, contendo, ao mesmo tempo, um componente verbal – *tipológico* e outro matemático-gráfico-operacional-*topológico*. Para o autor, o primeiro componente é basicamente qualitativo enquanto o segundo é quantitativo.

Carmo (2006), de acordo com seus estudos baseados nas pesquisas de Lemke, apresenta as características dos aspectos tipológicos e topológicos:

Os recursos tipológicos estão associados a classificações relacionadas a categorias discretas (Lemke, 1998) que geralmente apresentam a idéia de oposição uma em relação à outra, como quente e frio, longe e perto, momento angular e momento linear, etc. Dizemos que são relativos à comunicação/representação de diferenças: classificação, predominando, portanto, na linguagem verbal. (CARMO, 2006, p. 79).

Já os recursos topológicos estão associados a variações contínuas ou quase contínuas sobre alguma propriedade de objetos materiais, são os significados contidos nas proporções entre os entes que construímos. Nesse tipo de recurso é que são descritas variações contínuas (ou quase) do objeto de estudo ou análise e que de alguma forma são proporcionais ou possuem algum tipo de dependência funcional, como: tamanho, forma, distância, proporção, densidade, velocidade, densidade etc. Destacam-se aqui também desenhos, gráficos, gestos, e outros tipos de representações visuais. Os aspectos topológicos são relativos à comunicação/representação de interações: relação, representados em processos visuais e motores. Mostram a relação entre duas ou mais grandezas, por exemplo.

Lemke (1998b) afirma que o professor, no ensino de Ciências, deve levar os alunos a compreender os caminhos que ele (professor) faz para combinar e integrar as diferentes linguagens. E não apenas fazer com que os aprendizes sejam capazes de construir um sentido para cada linguagem separadamente. Essas linguagens podem cooperar ou especializar-se.

De acordo com Carmo (2006), as diferentes linguagens e seus recursos podem *cooperar* quando duas ou mais linguagens atribuem o mesmo significado ao mesmo fenômeno, representando funções semelhantes; ou *especializar* quando duas ou mais linguagens atribuem um significado para um conceito ou fenômeno, realizando funções distintas (MÁRQUEZ et. al., 2003 apud CARMO, 2006). Especialização e cooperação podem ocorrer de acordo com o contexto.

Segundo Pietrocola (2002), a linguagem matemática estrutura os conceitos físicos, tendo como objetivo apreender interpretações do mundo real. Dessa maneira,

[...] a Matemática, enquanto linguagem, empresta sua própria estruturação ao pensamento científico para compor os modelos físicos sobre o mundo. Essas são, em última instância, estruturas conceituais que se relacionam ao mundo, mediadas pela experimentação. (p. 106).

Considerando a matemática como linguagem no ensino de Ciências, o que tem como consequência o fato de ela deixar de ser uma tradução direta da natureza e passar a ser uma expressão de pensamentos humanos e também possuidora de características próprias como a precisão, a universalidade, e a lógica dedutiva (possibilidade de se fazer previsões), servindo como instrumento de raciocínio permitindo comparações, apresentando, dessa forma, uma função estruturante

Ressaltamos, então, a partir do estudo desses autores, que a argumentação científica não se restringe à linguagem oral e à escrita. Pelo contrário, outras linguagens a compõem. Portanto, o ensino de Ciências deve possibilitar essa utilização pelos alunos. Também o professor deve sistematicamente fazer uso da especialização e da cooperação entre as diversas linguagens, para que os alunos sejam capazes de utilizar ferramentas matemáticas, de forma “transparente”, na construção de sua argumentação.

Analisando em sua pesquisa o trabalho de Kress, Ogborn e Martins (1998), Sasseron (2008) afirma que os autores

concluem que, embora as linguagens oral e escrita sejam vistas como um *‘modo privilegiado de comunicação sustentado talvez por outros modos’* (p. 87), há outras formas por meio das quais um conhecimento pode ser discutido, construído e apresentado. Os autores citam, por exemplo, as ações, objetos, materiais, gestos e imagens e lembram que, nas ciências, muitas vezes, as imagens correspondem a formas canônicas de conhecimento. (SASSERON, 2008, p. 87).

Prossegue a autora afirmando que

estas conclusões tornam-se importantes para nosso trabalho na medida em que, na sala de aula, muitas das formas de expressão dos alunos podem ultrapassar o limite do oral e, portanto, considerar outras formas de comunicação torna-se uma necessidade ao analisarmos as aulas de Ciências e suas argumentações. (SASSERON, 2008, p. 88).

Outro trabalho estudado por Sasseron (2008) é o intitulado “The Effect of Talk and Writing on Learning Science: An Exploratory Study”, de Léonard Rivard e Stanley

Straw (2000), em que os autores preocupados com os efeitos que a fala, a escrita e o uso simultâneo destas duas formas de linguagem podem proporcionar na aprendizagem de Ciências, analisam o desenvolvimento de um grupo de alunos diante do estudo de conceitos de ecologia. Para a análise, separaram os sujeitos da pesquisa em quatro grupos: um grupo controle, que recebeu tarefas descritivas sobre o tema; um grupo da fala, que discutia os problemas em pequenos grupos; um grupo da escrita, que elaborava individualmente suas respostas às tarefas, sem discutir com os colegas; e um grupo da fala e da escrita, que inicialmente discutia os problemas para, depois, escrever individualmente suas respostas. Rivard e Straw partem para o estudo exploratório delineado tendo algumas pressuposições em mente:

Fala e escrita são modalidades complementares. O uso da escrita como um instrumento para a aprendizagem realça a construção pessoal do conhecimento, enquanto que o uso da fala para a aprendizagem é consistente com o pensamento sócio construtivista. Uma estratégia instrucional incluindo ambas deveria aumentar a aprendizagem mais do que usando uma das duas modalidades de linguagem sozinha. (RIVARD; STRAW, 2000, p. 569 apud SASSERON, 2008, p. 48-49).

Em sua pesquisa, Rivard e Straw (2000) obtêm conclusões ainda mais 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).

3.1 ARGUMENTAÇÃO EM SALA DE AULA

Jiménez-Aleixandre e Diaz de Bustamante (2003) afirmam que o discurso dos alunos 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:

Na aula de Ciências, e no ensino em geral, a expressão oral é decisiva, entre outras razões, porque a instrução procede, em grande medida, através da linguagem falada e porque a aprendizagem se demonstra, em grande medida, também através dela. (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; DÍAZ DE BUSTAMANTE, 2003, p. 360).

Assim como Lemke (1998b) e Sutton (1997), os autores destacam que diferentes pessoas podem atribuir significados diferentes a uma mesma palavra. Dessa forma, Jiménez-Aleixandre e Díaz de Bustamante (2003) focalizam sua pesquisa nos processos por meio dos quais os discursos são construídos.

Defendem, pois, um ensino de Ciências não somente voltado para a exploração de fenômenos, mas no qual haja possibilidade também de desencadear argumentações em aula. “Por **argumentação** entende-se a capacidade de relacionar dados e conclusões, de avaliar enunciados teóricos à luz dos dados empíricos ou procedentes de outras fontes.” (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; DÍAZ DE BUSTAMANTE, 2003, p. 360).

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 alunos, sua atenção recai sobre o modo como se apresentam as justificativas sob o ponto de vista defendido pelos alunos.

Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodríguez e Duschl (2000) procuram distinguir os momentos em que as ações dos alunos evidenciam diferenças entre a cultura científica e a cultura escolar, ou seja, momentos em que os estudantes “falam e fazem ciência” e momentos em que realizam tarefas de aula. Em sua pesquisa, analisando a capacidade dos alunos desenvolverem argumento em aula, os autores mostram a estrutura que desenvolveram para a análise das operações argumentativas.

Para Sasseron e Carvalho (2008c, p. 337), o instrumento de análise desenvolvido por estes autores “apresenta um conjunto de operações epistemológicas que mostram as relações entre diversas fontes e formas de ações para se fazer ciência” e pode ser sintetizado no Quadro 2.

QUADRO 2 – Operações epistemológicas.

Indução		Procura por padrões, regularidades
Dedução		Identificação de exemplos particulares de leis, regras
Causalidade		Relação causa-efeito, procura por mecanismo, predição
Definição		Manifestação de entendimento de um conceito
Classificação		Agrupamento de objetos, organismos de acordo com critérios
Apelo a	Analogia Exemplo Atributo Autoridade	Apelo a analogias, exemplos ou atributos como uma forma de explicação
Consistência	Com outro conhecimento Com experiência Compromisso com consistência Metafísica	Fatores de consistência, particular (com a experiência) ou geral (necessário para explicações similares)
Plausibilidade		Afirmação ou avaliação de seu próprio conhecimento ou do conhecimento dos outros

FONTE: Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodríguez e Duschl (2000, p. 768 apud SASSERON; CARVALHO, 2008c, p 337).

Para Villani e Nascimento (2003), temos

a argumentação, ampliando o conceito de Van Eemeren et al. (1987) para o contexto das interações discursivas em sala de aula de ciências, é uma atividade social, intelectual e de comunicação verbal e não verbal utilizada para justificar ou refutar uma opinião sobre um assunto de ciências. (p. 3).

Os autores destacam que o argumento é atividade social, por meio de interações discursivas, e é dependente do contexto no qual está inserido. Um enunciado ou comunicado, por meio linguagem, poderá ser considerado um argumento ou não de acordo com a situação na qual aparece.

Segundo os autores, um enunciado apresentado de forma isolada pode não representar um argumento a princípio. No entanto, quando estiver inserido em um discurso e submetido a um determinado contexto e for constituído por um ou mais posicionamentos, com a intenção de obter a aprovação de um ponto de vista particular, será considerado como argumento.

É relevante também destacar que o argumento existe quando a linguagem é utilizada para justificar ou refutar uma ideia, um conceito ou uma opinião numa aula de Ciências.

Candela (1998) também destaca a importância da contextualização, para construção de argumentos no ensino de Ciências. A autora enfatiza a forma como a interação discursiva em torno do conteúdo vai construindo dialeticamente um contexto argumentativo que propicia elaborações de outras aproximações ao significado.

Segundo a autora, à medida que práticas discursivas são incentivadas durante as aulas, os alunos vão se apropriando de novas formas de se expressar, com mais confiança, independência de ideias e atitudes científicas baseadas na postura do professor.

Para Candela (1998), situações de conflito representam uma forma de envolver os alunos na busca de recursos discursivos para validação de seus argumentos sobre os conteúdos de ciências. Afirma que a diversidade de argumentos sempre será mais rica que opiniões uniformes.

Capecchi, Carvalho e Silva (2002) enfatizam, em relação à contextualização, que uma mesma afirmação pode ter diferentes significados em diferentes contextos, o que deve ser levado em consideração em análises que buscam informações sobre discursos argumentativos em sala de aula.

Para Villani e Nascimento (2003), a opinião está em constante evolução, e dependente dos outros. Usando a definição de Philippe Breton (1996), de que a opinião é um conjunto de crenças, de valores, de representações de mundo e da confiança nos outros, que um indivíduo forma para ser ele mesmo, destacam a relação entre argumentação e opinião.

Os autores afirmam que a argumentação será considerada argumento quando aparecer como um ponto de vista possível ou como confrontação de vários pontos de vista, ou seja, quando é utilizada na linguagem para convencer um ou mais interlocutores.

Um argumento ocorre, então, quando uma opinião é utilizada na tentativa de persuadir um ou mais interlocutores sobre determinado ponto de vista a respeito de uma situação, ou seja, quando se tenta convencer outrem que determinado ponto de vista é correto (justificando) ou não (refutando).

Vilani e Nascimento (2003) afirmam que todo argumento contém pelo menos uma opinião e a opinião precede o argumento, podendo existir sem ser necessariamente um argumento. Para os autores, pode haver uma opinião sem que haja um argumento.

Os autores diferem ainda opinião de informação. A primeira possui um caráter mais subjetivo, enquanto a informação busca a objetividade.

Driver e Newton (1997) apontam algumas limitações do modelo, proposto por Toulmin, sugerindo a necessidade de sua adequação ou ampliação. Segundo os autores, o modelo não conduz a julgamentos sobre a verdade ou adequação do argumento sendo necessária incorporação de conhecimento específico a análise. Destacam ainda que a argumentação acaba aparecendo de forma descontextualizada e seus aspectos interacionais não são explicitados.

Os autores desenvolveram as seguintes categorias para análise da argumentação dos alunos, a partir do modelo proposto por Toulmin (Quadro 3).

QUADRO 3 – Categorias para análise.

Tipo de Argumento	Nível
Afirmção isolada sem justificativa	0
Afirmações competindo sem justificativas	0
Afirmção isolada com justificativa	1
Afirmações competindo com justificativas	2
Afirmações competindo com justificativas e qualificadores	3
Afirmações competindo com justificativas respondendo por refutação	3
Fazer julgamento integrando diferentes argumentos	4

FONTE: Driver e Newton (1997).

As categorias de Driver e Newton (1997), confrontadas com os conceitos de argumento e opinião de Villani e Nascimento (2003), permitem-nos concluir que o “nível 0”, afirmação isolada sem justificativa, corresponde à definição de opinião. Os demais níveis propostos por Driver e Newton equivalem a argumentos, com níveis de elaboração diferentes.

Capecchi, Carvalho e Silva (2002) fazem uso dessas categorias para identificação de componentes de argumentos dos alunos numa análise de duas cenas em um episódio de ensino extraído de uma sequência de aulas em que alunos do primeiro ano do ensino médio estudam o funcionamento do forno de micro-ondas. E concluem que, com as mesmas, os argumentos passam a ter níveis de qualidade baseados na sua complexidade e também na complexidade das interações entre diferentes ideias.

Essas categorias, criadas dentro de uma proposta de desenvolvimento de argumentos em sala de aula, visando uma enculturação em ciências e considerando o aspecto de construção coletiva do conhecimento científico, valorizam a presença de teorias conflitantes e as sínteses nas discussões em sala de aula.

Capecchi, Carvalho e Silva (2002) afirmam que a utilização isolada das categorias de Driver e Newton (1997) é insuficiente para análise, pois não permitem estabelecimento de diferenças entre os tipos de justificativas utilizadas pelos alunos em suas falas, ou seja, todas elas receberiam a mesma classificação e não teríamos distinção entre uma justificativa baseada no senso comum e aquela baseada em conhecimentos adquiridos na escola. Utilizaram o padrão de Toulmin (1958) para identificação de elementos constituintes de argumentos individuais.

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 alunos 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.

Para Capecchi e Carvalho (2000),

o modelo de Toulmin é uma ferramenta poderosa para identificar a estrutura de argumentos científicos. Este modelo pode mostrar o papel das evidências na elaboração de afirmações, relacionando dados e conclusões através de

justificativas de caráter hipotético. Também pode realçar as limitações de uma dada teoria, bem como sua sustentação em outras teorias. O uso de qualificadores modais ou de refutações pode indicar uma compreensão clara do papel dos modelos na ciência e a capacidade de ponderar diante de diferentes teorias a partir das evidências apresentadas por cada uma delas. Se os alunos puderem entrar em contato com argumentos completos, prestando atenção nestas sutilezas, possivelmente estarão compreendendo uma importante faceta do conhecimento científico. (CAPECCHI; CARVALHO 2000, p. 175).

O modelo desenvolvido por Toulmin permite a identificação de elementos básicos que compõem a estrutura dos argumentos e as formas como esses elementos se relacionam. Apresenta o papel das evidências na elaboração de afirmações, relacionando dados e conclusões por meio de justificativas de caráter hipotético e realça as limitações de uma determinada teoria, assim como sua sustentação em outras.

Consequentemente, a necessidade de interpretação do texto e algumas considerações devem ser observadas com muita atenção: a mesma afirmação ou posicionamento podem apresentar significados diferentes de acordo com o contexto em que se apresentem; declarações implícitas e de relevância para a estrutura do argumento podem ser informadas por meio do contexto; para identificar componentes e/ou as características de um argumento são necessários exames de longas seções do texto, já que as conversas em sala de aula não se desenvolvem necessariamente de forma linear; outras formas de linguagem, além da oral, devem ser observadas atentamente, como a gestual, por exemplo, pois podem apresentar e constituir elementos essenciais de um argumento.

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*.

Segundo a autora,

o primeiro destes três eixos estruturantes refere-se à **compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais** e concerne na possibilidade de trabalhar com os alunos a construção de conhecimentos científicos necessários para que seja possível a eles aplicá-los em situações diversas e de modo apropriado em seu dia-a-dia. [...] O segundo eixo preocupa-se com a **compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática**. Reporta-se,

pois, à idéia de ciência como um corpo de conhecimentos em constantes transformações por meio de processo de aquisição e análise de dados, síntese e decodificação de resultados que originam os saberes. [...] O terceiro eixo da AC compreende o **entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente**. Trata-se da identificação do entrelaçamento entre estas esferas e, portanto, da consideração de que a solução imediata para um problema em uma destas áreas pode representar, mais tarde, o aparecimento de um outro problema associado. (SASSERON, 2008, p. 65, grifos do autor).

Para essa pesquisadora, a relevância do primeiro eixo reside na necessidade de se compreender conceitos-chave a fim de chegar ao entendimento até mesmo de pequenas informações e situações cotidianas. O segundo eixo subsidia a pauta do “caráter humano e social inerentes à investigação científica”, além de contribuir para o “comportamento assumido por alunos e professor sempre que defrontados com informações e conjunto de novas circunstâncias que exigem reflexões e análises considerando-se o contexto antes de tomar uma decisão.” (SASSERON, 2008, p. 65). Por fim, o terceiro eixo refere-se à compreensão das aplicações dos saberes constituídos pelas ciências, ponderando-se as possíveis ações advindas de sua utilização. Sasserón afirma que o trabalho com este último eixo deve ser garantido pela escola.

Em sua pesquisa, a autora defende:

[...] a existência de **indicadores da Alfabetização Científica** capazes de nos trazer evidências sobre como os estudantes trabalham durante a investigação de um problema e a discussão de temas das ciências fornecendo elementos para se dizer que a Alfabetização Científica está em processo de desenvolvimento para eles. (SASSERON, 2008, p. 66, grifo do autor).

Além de indicadores propostos, em sua pesquisa, afirma ser esperado

[...] encontrar entre os alunos do EF: o **raciocínio lógico** compreendendo o modo como as idéias são desenvolvidas e apresentadas. [...] E o **raciocínio proporcional** que, como o raciocínio lógico, dá conta de mostrar o modo que se estrutura o pensamento, além de se referir também à maneira como variáveis têm relações entre si, ilustrando a interdependência que pode existir entre elas. (SASSERON, 2008, p. 67-68, grifos do autor).

Para verificação desses indicadores, utiliza-se do padrão proposto por Toulmin. O Quadro 4, a seguir, apresenta os indicadores propostos em sua pesquisa.

QUADRO 4 – 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.

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

Utilizaremos, também, como instrumento o padrão proposto por Toulmin, considerando, conforme afirmam Nascimento e Vieira (2008), “[...] o uso do padrão propicia uma série de possibilidades analíticas, apesar de reconhecermos algumas de suas limitações importantes quando da sua aplicação em situações de sala de aula.” Ainda segundo os autores,

o padrão foi incapaz de servir a tal propósito [efetuar uma análise de procedimento e estratégias de validação de argumentos pelo formador] por se tratar de uma estrutura analítica que não leva em conta questões contextuais e de assimetria entre os locutores. (NASCIMENTO; VIEIRA, 2008).

No entanto, Nascimento e Vieira (2008) ressaltam que

Toulmin não se propôs a contemplar em seu padrão questões contextuais e de assimetria entre interlocutores; antes ele estava fundamentalmente preocupado com questões de validade da estrutura lógica interna dos argumentos, de forma que pudessem ser julgados segundo esse critério.

Finalmente, concluem que, apesar das ressalvas, o padrão proposto por Toulmin é um instrumento bastante complexo e útil para análise do ciclo argumentativo.

4 PROPOSTAS DE ENSINO

Este projeto começou a delinear-se a partir da aproximação deste pesquisador com 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, dentro do projeto “Introdução de Teorias Modernas e Contemporâneas na Física do Ensino Médio”, coordenado pelo Prof. Dr. Maurício Pietrocola e desenvolvido no Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física (LaPEF) da Faculdade de Educação (FEUSP). Com o 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.

Sobre esse último tema, foi elaborado um curso, composto de aproximadamente 52 aulas, ministradas 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, e está dividido em onze blocos temáticos (Quadro 5):

QUADRO 5 – Blocos de conteúdos do curso de física moderna e contemporânea.

Bloco	Quantidade de aulas
I. Os modelos no cotidiano e na Física	2
II. Ondas e partículas	2
III. Introdução às propriedades elétricas e magnéticas da matéria	4
IV. Breve discussão sobre campos: elétrico, magnético e gravitacional	5
V. O campo elétrico e a indução eletromagnética	8
VI. Ondas mecânicas e a luz como onda eletromagnética	10
VII. Luz: cor e visão	2
VIII. Espectroscopia	5
IX. O modelo atômico de Bohr	4
X. O efeito fotoelétrico	3
XI. Dualidade onda-partícula	3
Avaliações	4

Esta pesquisa analisará as interações discursivas dos alunos no bloco XI - Dualidade Onda-Partícula do curso proposto por Brockington (2005), a partir das modificações propostas nesse conjunto de aulas. Por isso, julgamos relevante tecer algumas considerações sobre essas propostas.

4.1 A SEQUÊNCIA DE ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA DESENVOLVIDA POR BROCKINGTON

O quadro sintético do bloco XI do curso, conforme a proposta desenvolvida na dissertação de Brockington (2005), encontra-se no Anexo A. O bloco de dualidade onda-partícula está organizado prevendo aulas de 50 minutos. O que no quadro sintético é chamado de **momento**, na realidade corresponde às situações didáticas a serem propostas. O tempo é estimado, constando, no quadro, mais como um parâmetro, já que na realidade é um fator de difícil controle, especialmente devido às interferências externas às situações de sala de aula.

Esta proposta é resultado das discussões do grupo de professores e procura especificar não só os objetivos de cada atividade, mas também propor questões, metodologia e alternativas para os diferentes conteúdos. O professor participou ativamente na reelaboração da proposta.

4.1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PROPOSTA

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 alunos 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 alunos. Espera-se que os alunos 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 alunos 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 alunos percebam que não existe uma resposta certa, mas que é necessária uma argumentação que justifique sua escolha.

4.2 A NOSSA PROPOSTA DE TRABALHO PARA O BLOCO DE DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA COM ALTERAÇÕES EFETUADAS

A sequência proposta com as alterações surgiu 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 alunos 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. Sua descrição encontra-se no Anexo B.

Tais modificações visam, basicamente:

- a) um maior aprofundamento das discussões sobre o comportamento e a natureza da luz;

- b) a permuta da analogia pessoa-fóton pela montagem e utilização do interferômetro de Mach-Zehnder real clássico. Em outras palavras, a substituição de uma analogia por uma atividade de experimentação;
- c) o uso de uma simulação de computador de domínio público desenvolvida pela Universidade de Munique para extrapolação do experimento para um único fóton.

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.

5 METODOLOGIA DA PESQUISA

5.1 AS QUESTÕES DE PESQUISA

Esta pesquisa estuda as interações discursivas dos alunos em sala de aula (CARVALHO, 2005) e envolve uma sequência de ensino de Física.

Pelo discurso oral e escrito dos estudantes, vamos verificar se eles se apropriam das interpretações da Mecânica Quântica sobre a natureza e o comportamento da luz. Pretendemos ainda observar se a montagem de um interferômetro de Mach-Zehnder e a exploração de uma simulação em computador auxiliam nessa compreensão.

5.2 O PROFESSOR, OS ALUNOS E A ESCOLA

Na opção por investigar duas turmas do terceiro ano do ensino médio, considerou-se o conteúdo conceitual a ser trabalhado, o formalismo matemático e as representações gráficas. Ainda sobre o conteúdo trabalhado em sala de aula, foram condições estabelecidas para a pesquisa que a sequência de ensino contasse com atividades de experimentação e propiciasse aos alunos espaço para discussão, tanto ao longo de seu desenvolvimento como nos momentos de síntese, ressaltando o papel da argumentação na enculturação científica.

O professor contava, na época da coleta de dados, com uma experiência de vinte e três anos de magistério e participava do grupo de pesquisa. O docente estava aplicando pela primeira vez o curso em suas aulas.

As turmas escolhidas eram constituídas de duas salas de terceiro ano do ensino médio, compostas por trinta alunos cada, com baixa média de ausências, característica da escola.

Os dados foram coletados em uma escola pública diferenciada, de educação básica, vinculada a uma Universidade. A instituição conta com cerca de 720 alunos distribuídos em 24 turmas de 30 alunos cada, sendo duas para cada série do ensino fundamental e do médio, com aulas nos períodos matutino e vespertino. O ingresso dos alunos se dá por meio de sorteio público para a primeira série do ensino fundamental e, quando ocorrem desligamentos por transferência ou trancamento, para complementação do número de alunos para as classes.

Com relação à infraestrutura, a escola apresenta três blocos com diversas e amplas salas de aula, contando com quatro laboratórios, auditório, horta, locais apropriados para prática de aulas de educação física e ateliê de artes. Dispõe, ainda, de um laboratório de informática dividido em dois ambientes: um para realização de aulas, com quinze microcomputadores ligados em rede e com acesso a internet, e outro para utilização, pelos alunos, como apoio a trabalhos e estudos. Equipamentos de áudio e vídeo são agendados e instalados nas salas de aula. Para as turmas do ensino fundamental, é adotado o sistema de salas fixas, com troca de sala pelos professores. Já para o ensino médio, a prática se dá pelo sistema de salas ambiente. As aulas têm duração de uma hora, com intervalo de cinco minutos entre elas.

As aulas de física são realizadas em um amplo laboratório com dois ambientes separados por uma bancada de alvenaria. No primeiro, estão distribuídas 30 carteiras universitárias, inicialmente enfileiradas em 5 colunas, com a mesa do professor disposta no canto da sala, próxima ao quadro negro. Essa disposição muitas vezes é substituída para formação de pares/grupos ou em círculo para discussões e/ou debates. No segundo ambiente, encontram-se seis grandes mesas retangulares que são utilizadas como bancadas para realizações de experimentos.

O espaço físico contém ainda duas bancadas laterais em alvenaria, com instalações de água, gás e rede elétrica. Conta com uma estante de ferro, onde estão localizados diversos livros didáticos de Física para consulta pelos alunos; uma prateleira de alvenaria para guarda de material para experimentação e um arquivo em aço com porta, onde são armazenados materiais de consumo, entre outros.

5.3 A SELEÇÃO DAS AULAS PARA ANÁLISE

A opção por investigar duas turmas do terceiro ano do ensino médio considerou o conteúdo conceitual a ser trabalhado, o formalismo matemático e as representações gráficas. Ainda sobre o conteúdo trabalhado em sala de aula, foram condições estabelecidas para a pesquisa que a sequência de ensino contasse com atividades de experimentação e propiciasse aos alunos espaço para discussão, tanto ao longo de seu desenvolvimento como nos momentos de síntese, ressaltando o papel da argumentação na enculturação científica.

O principal instrumento de registro de informações foi a gravação da sequência de ensino em vídeo e áudio, considerando-se que o objeto de estudo desta pesquisa é a argumentação dos alunos. Também foram coletados registros escritos, principalmente textos dissertativos.

Em algumas aulas foram utilizadas duas câmeras de vídeo: uma fixa, com obtenção de imagens de toda a sala, e outra operada por um técnico de apoio, focalizando os trabalhos dos grupos.

Escolhemos para análise uma das turmas, pois os resultados, sob o ponto de vista do professor, foram semelhantes.

Embora tenhamos gravado a sequência didática completa nas duas turmas, totalizando 22 aulas, centralizaremos nossa análise nas aulas 10 e 11. Essa escolha deve-se à existência, nessas aulas, de uma maior discussão professor-alunos, pela própria dinâmica da aula. Com relação à opção pela aula 11, relaciona-se à análise dos registros escritos, em que cada aluno deve responder a um questionário de sistematização, após a discussão.

5.4 CRITÉRIOS PARA APRESENTAÇÃO DOS EPISÓDIOS DE ENSINO

Os episódios de ensino foram recortados da seguinte maneira: inicia-se quando o professor aborda um novo conceito, fenômeno, ou apresenta uma nova questão, e termina quando os alunos apresentam suas explicações ou justificações para aquele conceito, fenômeno ou questão. Por esse motivo, denominá-los-emos de **episódios de ensino conceituais**.

Dentro desses episódios de ensino conceituais, extrairemos momentos em que os alunos apresentam suas argumentações para uma análise mais detalhada em conformidade com nossos referenciais teóricos.

5.4.1 RESGATANDO OS INSTRUMENTOS DE ANÁLISE

Como exposto anteriormente, nossa análise das discussões orais dos alunos apoiar-se-á nos indicadores de alfabetização científica proposto por Sasseron (2008), nas operações epistemológicas sugeridas por Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodríguez e Duschl (2000), e no padrão de estrutura proposto por Toulmin (2006), cujas sínteses reproduzimos na sequência (Quadro 5 e 6, e Figura 6).

QUADRO 5 – Operações epistemológicas.

Indução		Procura por padrões, regularidades
Dedução		Identificação de exemplos particulares de leis, regras.
Causalidade		Relação causa-efeito, procura por mecanismo, predição.
Definição		Manifestação de entendimento de um conceito.
Classificação		Agrupamento de objetos, organismos de acordo com critérios.
Apelo a	Analogia Exemplo Atributo Autoridade	Apelo a analogias, exemplos ou atributos como uma forma de explicação.

Indução		Procura por padrões, regularidades
Consistência	Com outro conhecimento Com experiência Compromisso com consistência Metafísica	Fatores de consistência, particular (com a experiência) ou geral (necessário para explicações similares).
Plausibilidade		Afirmação ou avaliação de seu próprio conhecimento ou do conhecimento dos outros.

FONTE: Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodríguez e Duschl (2000, p. 768 apud SASSERON; CARVALHO, 2008c, p. 337).

QUADRO 6 – 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 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

FIGURA 6 – Padrão de argumento.

FONTE: Toulmin (2006).

Nossa análise dos registros escritos visará a observação da apropriação, pelos alunos, das interpretações da Mecânica Quântica para a natureza da luz, sistematizadas por Pessoa Junior (2003), que podem ser sintetizadas pelo Quadro 7.

QUADRO 7 – 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 recombinaem 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.
Complementaridade	O fóton se manifesta ora como onda, ora como partícula, porém nunca como onda <u>e</u> 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.

6 ANÁLISE

Como explicitado nos capítulos 4 e 5, este estudo analisará as interações discursivas dos alunos em um conjunto de aulas sobre dualidade onda-partícula.

Foram feitas as transcrições de todas as aulas gravadas das duas turmas. Os registros escritos dos alunos estão catalogados. Ambos comporão os Anexos C e D desta pesquisa.

Em nossa análise, procuraremos mostrar como os alunos 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).

6.1 ANÁLISE DAS DISCUSSÕES ORAIS

Começaremos nossa análise pela observação dos dados obtidos após a transcrição das aulas gravadas. A transcrição completa das aulas encontra-se nos anexos desta pesquisa. Apresentaremos neste capítulo trechos acompanhados de nossas observações.

Incluímos em alguns trechos da transcrição uma coluna denominada *gestos*, onde descreveremos os gestos executados pelos alunos durante suas intervenções orais. Quando a linguagem gestual for de cooperação ou especialização da fala, a cor da fonte empregada na transcrição será idêntica à utilizada na descrição do gesto.

6.1.1 ANÁLISE DA AULA 10

Esta aula refere-se à discussão em sala das observações feitas pelos alunos no experimento de Mach-Zehnder e da simulação em computador do interferômetro. Para sistematização, o professor projeta a figura de interferência obtida no anteparo do arranjo experimental e da simulação.

Na sequência da aula, apresenta-se aos alunos as quatro principais interpretações da Mecânica Quântica para a natureza da luz e do fóton e coordena-se a discussão sobre as explicações para a experiência do interferômetro dadas por aquelas interpretações.

6.1.1.1 PRIMEIRO EPISÓDIO DA AULA 10

O professor inicia a aula retomando a anterior e lembrando, aos alunos, 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.

QUADRO 8 – Episódio 1 – aula 10.

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
004	Professor: Alguém enxergou uma figura parecida com essa do real?		Pergunta retórica
005	Priscila: Não.		
006	Professor: Ninguém?		
007	Alunos: Não.		
008	Professor: Nem naquela outra experiência que a gente usou só um laser e um tecido como rede de difração?		Idem
009	Aline: Sim... Eu.		
010	Professor: Que a gente projetou lá na parede ou no quadro? (03:55)		

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
011	André: Era assim, desse jeito	mostra a mão, indicando forma / tamanho com os dedos indicador e polegar direitos	Seriação
012	Professor: Era assim que tava? Ah, tirei. Não, é que eu ia apresentar pra vocês tinha uma outra imagem. Fala, André.		
013	André: Era tipo... Um monte. Um monte não, não sei...		Organização
014	Professor: Uma do lado da outra, não é isso?		
015	André: É.		
016	Professor: É que eu tirei a foto daqui agora, ta no outro computador. A outra possibilidade, tinha uma outra foto, ao invés da gente enxergar dessa forma, a gente enxergava mais ou menos isso aqui, como disse o Pedro (04:31) Também a gente tinha essa observação...(?) Bom, aí lá na nossa experiência, pedi pra que vocês identificassem. Era essa identificação que a gente tinha. E foi pedido pra vocês desenharem aí como é que era o caminho que tava sendo percorrido pela luz. E aí a simulação mostrava pra vocês como duas frentes de onda, certo? Aí a pergunta feita, não ta no textinho, não ta no roteiro, a gente colocou um anteparo aqui, certo? Se a gente colocasse o anteparo aqui, deste outro lado, o que a gente deveria ver? Qual a relação com essas duas figuras?		
017	Bruna: (05:38) Complementar		Classificação
018	Professor: Como assim?		

O trecho começa com a apresentação do professor acerca das imagens obtidas nos interferômetros e a indagação aos alunos 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 primeira resposta não monossilábica que se obtém ocorre no turno 11, quando André diz:

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
011	André: Era assim, desse jeito	mostra a mão, indicando forma / tamanho com os dedos indicador e polegar direitos	Seriação

Sua fala demonstra que está apenas tentando elencar o ocorrido, o que caracterizamos como **seriação de informações**.

Mais adiante, no turno 13, o mesmo aluno afirma:

TURNOS	FALA TRANSCRITA	GESTOS	INDICADOR AC / BREVE ANÁLISE
013	André: Era tipo... Um monte. Um monte não, não sei...		Organização

O aluno tenta apresentar características dos dados – “um monte...” – demonstrando **classificação das informações**.

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**.

TURNOS	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

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.

No turno 21, o aluno Vitor faz um **levantamento de hipóteses**, mas sua argumentação é de nível 0 por estar isolada e sem justificativa. Aparenta apoiar-se no argumento de Bruna:

TURNO	FALA TRANSCRITA	GESTOS	INDICADOR AC / BREVE ANÁLISE
021	Vitor: Se a gente colocasse o anteparo aqui e não aqui , seria o inverso do que a gente viu.	mostra as posições na carteira	Levantamento de hipóteses

Nos turnos 25 e 27, Pedro afirma:

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
025	Pedro: Um círculo	Levantamento de hipóteses
026	Professor: É isso. Ao invés de ver várias figuras, veria um círculo. Aí, agora a pergunta... Ronaldo! Alguém consegue me explicar porque isso? [inaudível] Mas por quê? Dá pra explicar por quê?	
027	Pedro: [inaudível] Eu consigo explicar o que é, mas porquê eu não sei.	

Essa sua manifestação demonstra entendimento do que deve ocorrer, apresentando uma das operações epistemológicas destacadas por Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodríguez e Duschl (2000), a **definição**. No entanto, ele não consegue explicar o motivo. Quanto aos indicadores apresentados por Sasseron (2008) e Sasseron e Carvalho (2008c), Pedro faz um **levantamento de hipótese**.

Lucas, no entanto, no turno 29, demonstra melhor entendimento:

Turno	Falas transcritas	Indicadores AC / Breve Análise
029	Lucas: [quase inaudível, tentando explicar o que está acontecendo] é igual aquela experiência que a gente batia o dedo na água e fazia umas ondas, elas se aumentavam, aumentava não, elas ficavam juntas [entrelaça os dedos das mãos] só que eu esqueci o nome do fenômeno	Justificativa O.E.: Apelo a exemplo

Em sua fala percebemos o uso dos operadores epistemológicos **apelo a exemplo e consistência com outro conhecimento**, pois recorre a uma experiência anterior para dar sua explicação e demonstra entender o conceito que há por trás, apenas não recordando seu nome. Sua argumentação é de nível 2, apresentando justificativa. Lucas utiliza-se do indicador **justificativa**.

Bruna faz colocações nos turnos 33, 35 e 37:

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

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 7):

FIGURA 7 – Estrutura da fala – Bruna.

6.1.1.2 SEGUNDO EPISÓDIO DA AULA 10 – SUBSTITUIÇÃO DE ONDAS POR FÓTONS

Este segundo episódio reflete as discussões ocorridas quando o professor solicita aos alunos explicações sobre o que acontece ao se substituir ondas por fótons no experimento. Inicia-se no turno 038 e estende-se até o turno 054.

No turno 038 o professor reforça a ideia de que há interferência de ondas e que ela pode explicar o padrão da figura observada pelos alunos. Em seguida, solicita aos

estudantes que expliquem com a figura se, ao invés de ondas, o experimento utilizar fótons.

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
038	Professor: Isso. E aí o que vai ta acontecendo? Vamos supor que a fase 1 ta vindo pra cá e a 2 pra cá, certo? [mostra no quadro] Nesse caso aqui, eu vou pegar a 1 deste, né? E vai interferir com a outra que ta aqui, não é isso? Então o que ta acontecendo é que ela ta pegando os lados simétricos, tudo bem? Bom, aí a gente mudou pra fóton, como vocês bem responderam na última aula, o que acontece com o padrão da figura? O resultado.	
039	Lucas:(10:00) Igual, mas pontinhos	Classificação O.E.: classificação

Lucas P., no turno 039 afirma: “*Igual, mas pontinhos*”.

Sua fala pode ser compreendida como: “[as figuras são] *iguais*, [mas formadas de maneira diferente, esta última é formada] *por pontinhos*.”

O aluno busca características para as figuras, indicando **classificação**. Apesar da frase sucinta, sua argumentação é de nível 2 porque justifica que, apesar de semelhantes, são formadas de maneira distinta.

É interessante notar como o aluno Daniel vai construindo sua argumentação nos turnos 46, 48 e 50:

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
046	Daniel: Ta. O 2 é de fóton e o de cá onda	
047	Professor: O que eles têm de semelhante?	
048	Daniel: O desenho...	
049	Professor: A imagem? Ta... E o que vai ter de diferente?	
050	Daniel: É como se forma.	

Daniel inicialmente faz um **levantamento de hipótese**: “O [desenho] 2 é fóton e o outro é onda”.

Ao ser indagado, afirma que as imagens são semelhantes e conclui que são formadas de maneiras diferentes. Reescrita, sua fala ficaria assim: “*a imagem 2 refere-se ao padrão apresentado por fóton, a outra imagem corresponde à figura produzida por ondas. Ambas apresentam o mesmo desenho, mas são produzidas de*

forma diferente". O operador epistemológico passa da **indução** para a **causalidade** à medida que vai organizando e classificando as informações.

Com relação aos indicadores de alfabetização científica propostos por Sasseron (2008), o aluno inicia, no turno 046, fazendo um **levantamento de hipótese**, passando, nos turnos seguintes, à **classificação**.

Sua fala é complementada pelo aluno Lucas P., no turno 52:

TURNOS	FALA TRANSCRITA	INDICADOR AC / BREVE ANÁLISE
052	Lucas: Gradativamente, professor, conforme os fótons vão chegando. (11:25)	Teste de hipótese O.E.: Causalidade

Lucas argumenta que "[as imagens são semelhantes, mas aquela relativa aos fótons vai-se formando] gradativamente, conforme os fótons vão chegando [no anteparo]".

Percebe-se em sua alocução entendimento do conceito – imagem produzida por onda é instantânea e formada por partícula ocorre de maneira gradativa, caracterizando, conforme proposto por Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodríguez e Duschl (2000), operação epistemológica **definição**. O indicador **teste de hipótese** surge ao comparar os mecanismos de obtenção das figuras.

O episódio se encerra com um aluno não identificado na gravação afirmando no turno 054:

TURNOS	FALA TRANSCRITA	INDICADOR AC / BREVE ANÁLISE
054	Aluno : No laser os fótons estão todos juntinhos.	Levantamento de hipótese O.E.: Causalidade

Sua afirmação é de **causalidade** porque tenta atribuir que: "[as imagens são semelhantes, pois] *no laser* [onda] *os fótons* [partículas] *estão todos juntinhos*".

Cumprе esclarecer que na simulação utilizada o termo *laser* refere-se a feixe de onda e o termo *fóton* é utilizado para designar partícula.

O aluno faz um **levantamento de hipótese**: “os fótons juntinhos formam uma onda”.

É interessante perceber que nesta fala há o indicador **explicação** – *lasers são formados por fótons* – que é pouco explorado neste episódio.

6.1.1.3 TERCEIRO EPISÓDIO DA AULA 10 – COMPARANDO AS IMAGENS

Entre os turnos 055 e 066 os alunos são inquiridos a comparar duas imagens distintas. Na primeira, forma-se a figura padrão de interferência, e, na segunda, tem-se uma mancha circular formada por pontinhos.

O professor solicita a uma aluna que faça a comparação entre as duas imagens apresentadas e se há relação entre elas.

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
055	Professor: Não, laser a gente tem que pensar na luz sendo onda. Na verdade, ora como onda, ora como partícula. Bom, e aqui? Beatriz, compare essas duas figuras.	
056	Beatriz: Na primeira, são circunferências concêntricas e na segunda são conjuntos de pontinhos...	
057	Professor: E? Por quê?	
058	Beatriz: Por que...	
059	Professor: Qual a relação? Por que forma essa figura aqui e não aqui?	
060	Beatriz: Porque na primeira tem interferência.	Explicação O.E.: definição

As declarações de Beatriz nos turnos 056, 058 e 060 demonstram um entendimento do conceito – quando há interferência, formam-se circunferências concêntricas; quando não há, forma-se um círculo. Sua fala pode ser assim descrita: “Na primeira [figura] são circunferências concêntricas porque tem interferência, enquanto na segunda [figura] são conjuntos de pontinhos [porque não há interferência].”

O indicador **explicação** se faz presente e a aluna utiliza-se de operação epistemológica de **plausibilidade**, apropriando-se dos conhecimentos anteriormente produzidos.

Lucas P. contribui com as seguintes afirmações nos turnos 064 e 066:

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
064	Lucas: Então, nos primeiros círculos as duas se encontram, os dois raios estão juntos (12:37)	Explicação O.E.: plausibilidade
065	Professor: Pessoal!	
066	Lucas: Enquanto que na outra figura como tem um detector ele impede a passagem de um dos caminhos de chegar no anteparo, então só tem um caminho que o fóton pode passar. Por isso, ele não forma a figura. (12:52)	Explicação O.E. plausibilidade

Suas afirmações também indicam uma **explicação** – na primeira imagem, os dois raios (de luz) se encontram e formam a figura padrão de interferência, enquanto na segunda não se forma porque o fóton tem apenas um caminho para passar.

Sua argumentação é de nível 3, pois afirmações são apoiadas por justificativas:

“[Se] *tem dois caminhos*, [então] *os raios se encontram e*, [portanto], *formam a figura padrão*.”

“[Se] *um detector impede a passagem do fóton*, [então] *apenas um caminho é fornecido*, [portanto] *não forma a figura*.”

6.1.1.4 QUARTO EPISÓDIO DA AULA 10 – O INTERFERÔMETRO IDEAL

A partir do turno 067, o professor solicita aos alunos explicações para a ocorrência do padrão de interferência em um interferômetro ideal. Nos turnos 069 e 071, pede aos alunos explicações sobre a existência da figura padrão quando um único fóton interage com ele mesmo.

Nos turnos 072, 074, 076, 078 e 080, temos as falas da aluna Beatriz:

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
072	Beatriz: Ele se dividiu ao meio.	Levantamento de hipótese O.E.: consistência (com outro conhecimento)
074	Beatriz: É...	
076	Beatriz: Acho que as duas partes partícula.	Levantamento de hipótese O.E.: consistência (com outro conhecimento)
078	Beatriz: Aí depois eles se juntam.	Levantamento de hipótese O.E.: consistência
080	Beatriz: É, os dois lados.	Previsão

Suas falas podem ser reconstruídas da seguinte forma: “[Se] O *fóton* (partícula) *se divide ao meio* [no interferômetro] e [então] *depois as metades se juntam* [no final do interferômetro]” [portanto] Isto explicaria a interferência.

A aluna faz **levantamento de hipótese** para concluir com a **previsão** da ocorrência de um fenômeno: Se o fóton se divide e se recombina, pode haver interferência. Suas asserções apresentam fatores de **consistência com outros conhecimentos**.

Nos turnos 082, 084 e 086, outra aluna, Bruna, complementa o raciocínio:

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
082	Bruna: (16:15) Eu estava pensando que ali no meio eles se dividem de novo...	
084	Bruna: Vai passar uma parte ali e a outra vai por ali, ó [aponta a figura]	
086	Bruna: Não sei, mas foi o que pensei.	Previsão O.E.: consistência (com outro conhecimento)

Nota-se que a aluna faz um **levantamento de hipótese** a partir de outra hipótese inicialmente proposta – o fóton se divide no primeiro semiespelho. Em seguida, **testa a hipótese**, percorrendo os caminhos possíveis no interferômetro. Valida suas inferências, mas, ao ser indagada não se sente segura para concluir com sua explicação.

Por fim, o aluno Pedro faz um **apelo à analogia** ao comparar, no turno 095, o fóton a “um espermatozoide”. Percebe-se um indicador de **explicação** para a divisão do fóton e não apenas a cisão de uma partícula.

TURNOS	FALA TRANSCRITA	INDICADOR AC / BREVE ANÁLISE
095	Pedro: um espermatozoide.	Explicação O.E.: apelo a analogia

6.1.1.5 A DISCUSSÃO SOBRE AS INTERPRETAÇÕES DA MECÂNICA QUÂNTICA

No turno 99, o professor solicita aos alunos que reparem em suas fichas de anotação, nas quatro possíveis interpretações quanto à natureza da luz. E aula, até o seu final, transcorre com a discussão sobre estas.

Entre os turnos 100 e 135, o professor vai apresentando aos alunos o nome das interpretações e solicita aos mesmos que associem a esse nome a característica da luz.

Percebe-se nas falas dos alunos, nos turnos 106, 108, 110 e 111, que estão fazendo **levantamento de hipótese**, tentando associar a nomenclatura apresentada pelo professor às propriedades ou características que a luz deva possuir.

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
106	Alunos: Onda.	O.E.: definição
107	Professor: A gente tem uma interpretação que é a corpuscular.	
108	Lucas: Partícula? Os fótons?	Levantamento de hipótese.
109	Professor: São fótons? Fóton é uma partícula de luz? Existe uma interpretação... Vou pular pra ultima... Dualista.	
110	Bruna: Ora como onda e como partícula.	O.E.: levantamento de hipótese.
111	Beatriz: Onda e Partícula.	

A hipótese levantada pela aluna Beatriz no turno 111 remete os alunos a confrontação com conhecimentos anteriores:

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
111	Beatriz: Onda e Partícula.	Levantamento de hipótese
112	Lucas: É onda e partícula?	
113	Professor: Que ela pode ser as duas coisas ao mesmo tempo? É uma partícula que é associada com uma onda ou uma onda com uma partícula...	
114	Alunos: Inaudível.	
115	Pedro: 19:29 Você falou que não tem como, que não pode ser onda e partícula ao mesmo tempo	O.E.: consistência com outro conhecimento
116	Professor: Então, aí cai nessa situação que o Pedro tá falando, né?	
117	Beatriz: ela é uma coisa e outra.	Levantamento de hipótese
118	Professor: É... Pra mecânica clássica isso não é possível.	
119	Beatriz: Mas e em Quântica...	
120	Pedro: Acho que é	
121	Professor: Mas em física moderna a gente vai ter que arrumar uma nova explicação e essa nova explicação então pode ser que ela seja as duas coisas ao mesmo tempo?	
122	Beatriz: Acho que sim	

No turno 112, Lucas P. questiona a hipótese sugerida por Beatriz, no que é acompanhado pela afirmação de Pedro, no turno 115, demonstrando **consistência com outro conhecimento**.

Beatriz, nos turnos 117, 119 e 122, reafirma sua hipótese para a Mecânica Quântica.

Nos turnos 124 e 125 repete-se a ocorrência do **levantamento de hipóteses** de forma similar à dos turnos anteriores.

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
124	Pedro: As duas se complementam	Levantamento de hipótese
125	Bruna: uma completa a outra	Idem

A fala do aluno Lucas P., iniciada no turno 131, busca uma explicação:

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
131	Lucas: Professor, e se eu disser que a luz é partícula...	
132	Professor: Silêncio, eu não estou ouvindo o Lucas que tá quase do meu lado. Fala, Lucas.	
133	Lucas: E se eu falar que a luz é partícula com fatores ondulatórios ou é onda com fator de partícula?	Previsão
134	Professor: Aí nesse caso, você acha que vai tá dentro de qual dessas interpretações?	
135	Lucas: Então, mas assim, no meu raciocínio ela segue um caminho, mas só que o que complementa ela é o outro.	Explicação

No turno 133, Lucas P. faz uma **previsão** para a definição da luz: “*a luz é partícula com fatores ondulatórios ou [a luz] é onda com fator de partícula.*”

O aluno, no turno 135, busca **explicação** para sua afirmação – “*ela [a luz] segue um caminho, mas só que o que complementa ela é o outro [caminho].*”

6.1.1.6 DISCUSSÃO SOBRE A NATUREZA DA LUZ

Com a afirmação de Vitor, de que “[a luz] *microscopicamente é uma partícula, macroscopicamente ela é uma onda*”, inicia-se entre os alunos um novo debate acerca da natureza da luz, que se estende do turno 140 até o 173:

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
140	Vitor: Tipo... (21:06) microscopicamente é uma partícula, macroscopicamente ela é uma onda	Explicação
141	Professor: Ta. Segundo o Vitor, se a gente olhar lá no microscópio... Microscópio não, se olhar no mundo dos micro, né? Se for pensar nela lá, enquanto natureza mesmo, na sua formação ela é?	
142	Vitor: Partícula.	
143	Professor: Partícula. Mas se a gente observar de fora, no macroscópico, é isso? Aí ela é onda. Pode ser isso?	
144	Beatriz: 21:48 depende de como se olha.	
145	Professor: Pra você isso é complementaridade?	
146	Beatriz: É?	
147	Vitor: Sim.	

Para os alunos Vitor e Beatriz, conforme os turnos 140, 142, 144, 146 e 147, a **explicação** para a interpretação da Complementaridade sobre a natureza da luz “*depende de como se olha para ela*” (turno 144).

A aluna Bruna discorda e afirma no turno 150:

TURNOS	FALA TRANSCRITA	INDICADOR AC / BREVE ANÁLISE
150	Bruna: Porque aí ela tá sendo duas coisas ao mesmo tempo. Complementaridade é quando ela tá sendo ora uma coisa ora outra.	Explicação

Ela mostra entendimento dos conceitos até então estudados e apresenta uma **explicação** para não concordar com os colegas.

Segundo o padrão proposto por Toulmin, podemos estruturar assim sua fala (Figura 8):

FIGURA 8 – Estrutura da fala – Bruna.

Bruna reforça sua **explicação** no turno 152:

TURNOS	FALA TRANSCRITA	INDICADOR AC / BREVE ANÁLISE
152	Bruna: Não. Porque o que eu to falando... No micro... Olha, no mesmo momento quando você analisa no micro ela é partícula e no macro ela é onda. Você ta pensando no mesmo momento, então na mesma coisa ela ta sendo duas coisas ao mesmo tempo, no mesmo momento ela ta sendo duas coisas ao mesmo tempo. Mas pra ser complementar no momento “x” ela ta sendo uma coisa e no momento “y” ela ta sendo outra, entendeu?	Explicação

Sua fala demonstra completo entendimento do conceito Complementaridade e faz uso dos indicadores **justificativa** e **previsão** para mostrar a divergência entre sua opinião e a dos demais alunos – “*vocês estão pensando **no mesmo momento** [...]. Mas para ser complementar no momento x ela ta sendo uma coisa e no momento y ela ta sendo outra.*”

O aluno A, no turno 153, denota ainda pensar como os demais colegas – “*depende da perspectiva*”.

No turno 157, Lucas **levanta a hipótese** questionando se não seria apenas a energia que estaria passando de uma partícula para outra.

Aline, no turno 160, tenta uma **explicação** – “*ora ela se comporta como onda e outra hora como partícula*”:

TURNO	FALA TRANSCRITA	INDICADOR AC / BREVE ANÁLISE
160	Aline: Eu não sei... Eu acho que é que nem ele falou. Uma hora ela se comporta de uma forma, como onda e outra hora como partícula	Explicação

Indagada sobre a natureza da luz, informa no turno 164 que ainda não sabe. Lucas, então, no turno 165, apresenta uma **explicação**:

TURNO	FALA TRANSCRITA	INDICADOR AC / BREVE ANÁLISE
165	Lucas: Ah... Depois de tantos experimentos pra ver se é onda, onda mesmo ou se é partícula, partícula mesmo... Mas o que aconteceu, acabou ocorrendo fatores que defendiam 100% que é onda enquanto que outro defendia 100% que era partícula. Então, aí eu pensei, através disso, a onda pensando num só ele recebe complemento de ambas as partes. Ela não pode ser definida só como onda, nem só como partícula.	Explicação

O aluno recorre aos experimentos, feitos anteriormente para verificação da natureza da luz – onda ou partícula –, e aos resultados que apontavam em algumas situações para uma ou outra resposta de forma excludente. Conclui, finalmente, que, dessa forma, a luz não pode ser definida exclusivamente nem como onda nem como partícula.

A estrutura de sua fala pode ser alocada no padrão proposto por Toulmin, como a seguir (Figura 9):

FIGURA 9 – Estrutura da fala – Lucas.

6.1.1.7 O INTERFERÔMETRO DE MACH-ZEHNDER

A partir do turno 174, até o turno 217, os alunos são levados a debater sobre explicações possíveis para o experimento do interferômetro de Mach-Zehnder. No turno 175, o professor solicita aos alunos que tentem explicar a figura formada no anteparo do experimento, segundo as interpretações da Mecânica Quântica.

No turno 185, Bruna apresenta uma **explicação** para o fenômeno:

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
185	<p>Bruna: É... Pra ter interferência tem que ter duas ondas. Quando elas tão na mesma fase, você vai ter a interferência construtiva que vai aumentar. Agora quando ta tendo... De um lado você ta tendo a voltinha assim e do outro ao contrário vai ser destrutiva, então vai diminuir. Se forem iguais os valores vai acabar com a onda. Isso, se forem ondas, agora se for complementar, aí eu não sei explicar.</p>	<p>Faz movimento com o dedo indicador, descrevendo arcos voltados para cima e para baixo</p>	<p>Explicação</p>

Pelo padrão de Toulmin, temos (Figura 10):

FIGURA 10 – Padrão de fala – Bruna.

A **explicação** dada pela aluna para a figura é que a mesma ocorre em função das interferências construtivas e destrutivas das ondas.

O indicador proposto por Sasseron (2008) e Sasseron e Carvalho (2008c), apresentado por Felipe, no turno 187, é **levantamento de hipótese**:

TURNOS	FALA TRANSCRITA	INDICADOR AC / BREVE ANÁLISE
187	Felipe: parte é onda e parte é partícula...	Levantamento de hipótese

Nota-se que sua ideia difere da dos colegas, mas estes supõem que Felipe refere-se à interpretação Ondulatória. O professor tenta nos turnos 191, 205 e 209 fazer com que os alunos atentem para outra interpretação.

A aluna Beatriz retoma o entendimento da divisão do fóton, como afirma nos turnos 210 e 212.

6.1.1.8 SISTEMATIZAÇÃO DOS CONCEITOS

A sequência da aula, do turno 218 em diante, é o momento de sistematização dos conceitos. O professor resume nos turnos 219 e 221 a experiência no interferômetro e solicita aos alunos explicações para a ocorrência com um único fóton no arranjo experimental.

Entre os turnos 222 e 238, há grande participação do aluno Lucas.

Inicialmente, no turno 222, o aluno **classifica** o fóton:

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
222	Lucas: Um único fóton é uma única partícula...	Classificação

Em seguida, faz uma **previsão** e uma **justificativa**:

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
226	Lucas: Pra um fóton é só um caminho, mas pra vários você pode ter mais de um.	Previsão
228	Lucas: Então, mas tem a possibilidade de ter mais de um caminho, porque tem mais de um...	Justificativa

Para ele não se vê o fenômeno da interferência para um único fóton, pois é partícula e segue um único caminho, como afirma nos turnos 230 e 232:

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
230	Lucas: Um caminho...	Previsão
231	Professor: Um caminho. Pra um único fóton o que acontece? Como é que eu enxergo? Como é que eu consigo ver a interferência?	
232	Lucas: Não vê, só segue um caminho.	Explicação

A parte final da aula, que se inicia no 247, acontece com o professor apresentando quatro frases aos alunos:

“Precisando de uma nova lógica.”

“Quando o fóton decide se é onda ou partícula? Só podemos falar na natureza da luz depois que a gente fizer a medição.”

“Nunca um meio fóton foi detectado.”

“A onda vazia sobre a qual a partícula ‘surfa’ não pode ser detectada, pois não transporta energia!”

E solicita-lhes que façam associação das mesmas com as interpretações da Mecânica Quântica para a natureza da luz.

6.2 ANÁLISE DOS REGISTROS ESCRITOS

A análise dos registros escritos visa responder à segunda questão de nossa pesquisa – se os alunos 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 alunos buscaremos evidenciar se concebem essa percepção da dualidade.

Foram coletados diversos registros escritos dos alunos ao longo do curso. No entanto, nossa análise se restringirá ao questionário abaixo (Quadro 9) que fora aplicado às turmas na última aula da sequência de ensino e que objetivava verificar a compreensão dos alunos sobre o arranjo experimental do interferômetro de Mach-Zehnder e seu entendimento das quatro interpretações da Mecânica Quântica para a natureza da luz.

QUADRO 9 – 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 ele?”				

A primeira questão solicita que os alunos preencham o quadro, respondendo, para cada uma das interpretações da MQ, qual a natureza da luz (primeira linha), qual a explicação do padrão observado – a figura obtida – no experimento com o interferômetro (segunda linha) e o que se observaria na experiência do interferômetro com apenas um fóton (terceira linha). Para análise, vamos dividi-la em três itens:

- a) “A luz é...” para aferir o entendimento do aluno sobre sua natureza; como cada uma das interpretações da MQ explica a natureza e o comportamento da luz;
- b) “explicação da experiência do interferômetro” visa saber como cada interpretação explica o fenômeno;
- c) “explicação para um fóton” objetivando que o aluno explique sobre a ocorrência, ou não, do fenômeno da interferência quando apenas um fóton percorresse o interferômetro de Mach-Zehnder.

A segunda questão requer que o estudante tenha compreendido que são possíveis diversas interpretações pelos resultados observados.

A questão de número três é de cunho subjetivo, admitindo, portanto, qualquer escolha. Seu objetivo é perceber se, ao optar por uma das interpretações, o aluno a utiliza para sustentar sua opção.

A quarta pergunta pretende que o estudante perceba a natureza *dual* da matéria, possui caráter corpuscular e ondulatório e que, por exemplo, os átomos existem independentemente de nossas observações.

Os resultados apresentados pelos alunos estão dispostos nas Tabelas 1 e 2, que possuem a seguinte legenda:

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

As respostas completas dos estudantes encontram-se no Anexo D desta pesquisa.

TABELA 1 – Análise do registro escrito – 3º ano do ensino médio – Turma I.

NOME	ALINE	ANNA CAROLINA	ANGELICA	BARBARA	ANDRE	BRUNO	DANIEL	CAMILA	FABIANE	FELIPE	GABRIEL	BEATRIZ	GUILHERMEL	HUGO	ISIS	JÉSSICA	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

TABELA 2 – Síntese das respostas dos alunos.

	A - RESPOSTA CORRETA		B - PARCIALMENTE CORRETA		C - RESPOSTA INCORRETA		D - NÃO FEZ	
	N.ALUNOS	%	N.ALUNOS	%	N.ALUNOS	%	N.ALUNOS	%
1 - A LUZ É...								
Interpretação Ondulatória	27	90,00	0	0,00	3	10,00	0	0,00
Interpretação Corpuscular	29	96,67	1	3,33	0	0,00	0	0,00
Interpretação Complementaridade	19	63,33	9	30,00	2	6,67	0	0,00
Dualista - Realista	14	46,67	14	46,67	2	6,67	0	0,00
Explicação da experiência do interferômetro								
Interpretação Ondulatória	25	83,33	4	13,33	1	3,33	0	0,00
Interpretação Corpuscular	23	76,67	5	16,67	2	6,67	0	0,00
Interpretação Complementaridade	12	40,00	13	43,33	5	16,67	0	0,00
Dualista - Realista	23	76,67	3	10,00	4	13,33	0	0,00
Explicação para um fóton								
Interpretação Ondulatória	15	50,00	7	23,33	7	23,33	1	3,33
Interpretação Corpuscular	25	83,33	4	13,33	0	0,00	1	3,33
Interpretação Complementaridade	16	53,33	5	16,67	8	26,67	1	3,33
Dualista - Realista	17	56,67	6	20,00	6	20,00	1	3,33
2- Por que você acha que existem tantas interpretações diferentes para a natureza da luz?								
	12	40,00	17	56,67	1	3,33	0	0,00
3- A partir do que foi discutido em aula, explique qual das quatro interpretações mais lhe agrada.								
	10	33,33	18	60,00	2	6,67	0	0,00
4- De acordo com a interpretação da complementaridade...								
	8	26,67	17	56,67	4	13,33	1	3,33

6.2.1 ANÁLISE DOS REGISTROS ESCRITOS DA TURMA I

Para nossa análise dos registros dos alunos, decomaremos a questão 1 sobre a luz e o experimento do interferômetro em blocos a saber: 1.a “A luz é...” sobre a natureza da luz; 1.b “explicação da experiência...” sobre o entendimento do arranjo experimental de Mach-Zehnder e 1.c “Explicação para um fóton”. As questões de 2 a 4 serão analisadas como se apresentam. Para facilitar a análise e sua exposição, a Tabela 2 será fragmentada e reapresentada sempre que se fizer necessário.

As respostas dos alunos quanto à natureza da luz – questão 1.a “a luz é...” –, como se pode observar na Tabela 3, a seguir, demonstram que 24 alunos 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 3 sintetiza as respostas promovidas pelos estudantes.

TABELA 3 – Síntese das respostas para as quatro interpretações da MQ sobre a natureza da luz.

1.A – “ A LUZ É...”	N. DE ALUNOS	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 alunos	30	100

Analizando 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 alunos – 20% da turma – responderam de forma incorreta a pelo uma das interpretações e nenhum alunos deixou de escrever corretamente a pelo menos uma das possibilidades, conforme mostra a Tabela 4:

TABELA 4 – Respostas para as quatro interpretações da MQ sobre a natureza da luz.

	A - RESPOSTA CORRETA		B - PARCIALMENTE CORRETA		C - RESPOSTA INCORRETA		D - NÃO FEZ	
	N.ALUNOS	%	N.ALUNOS	%	N.ALUNOS	%	N.ALUNOS	%
1 - A LUZ É...								
Interpretação Ondulatória	27	90,00	0	0,00	3	10,00	0	0,00
Interpretação Corpuscular	29	96,67	1	3,33	0	0,00	0	0,00
Interpretação Complementaridade	19	63,33	9	30,00	2	6,67	0	0,00
Dualista – Realista	14	46,67	14	46,67	2	6,67	0	0,00

Na questão 1.b (a experiência do interferômetro), 70% dos alunos apresentaram respostas corretas (A) ou parcialmente corretas (B) quando analisados sobre o conjunto das interpretações, enquanto apenas 11 estudantes – 36,7% da turma – errou em pelo menos uma das asserções. Não foram registrados alunos que erraram em todas as interpretações da MQ nem que acertaram parcialmente algumas e erraram outras (Tabela 5).

TABELA 5 – Síntese das respostas sobre a explicação da experiência do interferômetro.

1.B – EXPLICAÇÃO...	N. DE ALUNOS	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)	12	40
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)	06	20
Total de alunos	30	

Considerando cada interpretação isoladamente, a maior dificuldade de entendimento situa-se na interpretação da complementaridade, onde apenas 12 alunos fazem afirmações corretas, como aponta a Tabela 6:

TABELA 6 – Respostas para as quatro interpretações da MQ sobre a experiência do interferômetro

	A - RESPOSTA CORRETA		B - PARCIALMENTE CORRETA		C - RESPOSTA INCORRETA		D - NÃO FEZ	
	N.ALUNOS	%	N.ALUNOS	%	N.ALUNOS	%	N.ALUNOS	%
Explicação da experiência do interferômetro								
Interpretação Ondulatória	25	83,33	4	13,33	1	3,33	0	0,00
Interpretação Corpuscular	23	76,67	5	16,67	2	6,67	0	0,00
Interpretação Complementaridade	12	40,00	13	43,33	5	16,67	0	0,00
Dualista - Realista	23	76,67	3	10,00	4	13,33	0	0,00

É interessante notar que, apesar de todos os alunos conseguirem explicar o experimento, e as observações no interferômetro, para pelo menos uma das interpretações, para muitos não está claro que interferência é um fenômeno

essencialmente ondulatório, como dizem Anna Carolina e Angélica (anexo D), por exemplo.

Para Anna Carolina, na explicação sobre a Complementaridade: *“a mesma do corpuscular, sai de um caminho e chega no outro”* (grifo nosso).

Já Angélica afirma que *“a interação considera o fenômeno como corpuscular”*.

Como mostraram Montenegro e Pessoa Jr (2002), os tópicos apresentados foram inicialmente pensados para estudantes de graduação em Física e são particularmente difíceis em um primeiro contato, pois são interpretações que rompem com conceitos postos.

A despeito desse obstáculo, alguns alunos demonstram completo entendimento do experimento e do fenômeno. Fabiane assevera (Anexo D): *“Segundo esta teoria a luz pode ser onda ou partícula. No caso do interferômetro a luz se comporta como onda, porque não é possível observar o caminho percorrido por ela.”*

A aluna mostra compreender a interpretação da Complementaridade – luz pode ser onda ou partícula – porém, no experimento de Mach-Zehnder, seu comportamento é de onda.

Também Leonardo mostra conhecimento, no caso da Complementaridade: *“de acordo com essa teoria a luz pode ser tanto onda quanto partícula. Alguns experimentos que apenas ondas respondem, como esse, a luz responde, em outros que apenas partículas respondem, à luz também responde. Nesse caso a luz é uma onda.”* (Anexo D)

A questão 1.c – explicação para um fóton – ficou prejudicada. A forma como foi apresentada no quadro e a ausência de uma melhor explicação aos alunos fizeram com que muitos dos estudantes respondessem a essa pergunta com a explicação de cada uma das interpretações da MQ para o conceito de fóton e não para o experimento do interferômetro para um único fóton, como pretendia a proposta de ensino. Assim, analisaremos as soluções dadas pelos estudantes a partir de seu entendimento da questão. A Tabela 7 traz o resumo das asserções feitas pela turma.

TABELA 7 – Síntese das respostas dos alunos sobre o conceito de fóton.

1.C – EXPLICAÇÃO PARA UM FÓTON	N. DE ALUNOS	PORCENTAGEM DA TURMA
Todas as respostas corretas (A)	06	20
Todas as respostas parcialmente corretas (B)	0	0
Todas as respostas incorretas (C)	0	0
Somente respostas corretas (A) ou parcialmente corretas (B)	09	30
Somente respostas corretas (A) ou incorretas (C)	05	16,67
Somente respostas parcialmente correta (B) ou incorreta (C)	0	0
Respostas corretas (A), parcialmente corretas (B) e incorretas (C)	09	30
Não respondeu (D)	01	3,33
Total de alunos	30	

As explicações a respeito desse conceito não apresentam os mesmos índices das questões anteriores. Há uma oscilação muito maior nas respostas dos alunos. Não houve estudante que respondesse de forma incorreta a todas as interpretações. Apenas um aluno não respondeu e os demais apresentaram ao menos uma asserção correta sobre o entendimento do conceito.

A Tabela 8 mostra como se distribuíram as respostas para cada uma das explicações da MQ acerca de fóton.

TABELA 8 – Respostas dos alunos sobre o conceito de fóton.

	A - RESPOSTA CORRETA		B - PARCIALMENTE CORRETA		C - RESPOSTA INCORRETA		D - NÃO FEZ	
	N.ALUNOS	%	N.ALUNOS	%	N.ALUNOS	%	N.ALUNOS	%
1.c Fóton								
Interpretação Ondulatória	15	50,00	7	23,33	7	23,33	1	3,33
Interpretação Corpuscular	25	83,33	4	13,33	0	0,00	1	3,33
Interpretação Complementaridade	16	53,33	5	16,67	8	26,67	1	3,33
Dualista - Realista	17	56,67	6	20,00	6	20,00	1	3,33

Embora apresente um número elevado (25) de alunos que afirmaram corretamente que, segundo a interpretação Corpuscular, o fóton é uma partícula, não se pode inferir que os estudantes entenderam que seja uma partícula quântica, portanto, diferente da partícula clássica. Muitas das asserções são apenas “*partícula*” ou “*um tipo de partícula*” o que nos impede de avaliar conclusivamente a respeito. As

demais interpretações apresentam índices próximos de acerto (em torno de 50%) o que nos levar a concluir que metade da classe tem a noção exata do conceito.

A síntese das respostas dos estudantes sobre as questões 2, 3 e 4 é apresentada pela Tabela 9:

TABELA 9 – Respostas dos alunos sobre as interpretações da Mecânica Quântica.

	A - RESPOSTA CORRETA		B - PARCIALMENTE CORRETA		C - RESPOSTA INCORRETA		D - NÃO FEZ	
	N.ALUNOS	%	N.ALUNOS	%	N.ALUNOS	%	N.ALUNOS	%
2- Por que você acha que existem tantas interpretações diferentes para a natureza da luz?								
	12	40,00	17	56,67	1	3,33	0	0,00
3- A partir do que foi discutido em aula, explique qual das quatro interpretações mais lhe agrada.								
	10	33,33	18	60,00	2	6,67	0	0,00
4- De acordo com a interpretação da complementaridade...								
	8	26,67	17	56,67	4	13,33	1	3,33

A pergunta 2, sobre a existência de diversas interpretações sobre natureza da luz, foi respondida parcialmente (B) ou corretamente (A) por 29 alunos, representando que 96,7% da turma compreendeu o motivo tantas explicações possíveis. Apenas um aluno, ou 3,3% - respondeu de forma inadequada à questão.

A maioria dos alunos consegue conceber que todas as teorias possuem plausibilidade em alguns aspectos e inadequações em outros.

Como assevera Beatriz,

Eu acredito que haja tantas interpretações diferentes para a natureza da luz pois esta apresenta, em diversos momentos, diferentes características e comportamentos não podem ser explicados por uma única interpretação ou teoria. [...] Embora essa teoria [corpuscular] explicasse grande parte do comportamento da luz, não explicava alguns. [...] Esta segunda teoria [ondulatória] explicava algumas coisas que a primeira não explicava, porém também não era imbatível. (Anexo D).

Mesmo considerando-se o caráter pessoal da questão 3, 28 alunos – 93,3% da turma – respondeu de forma correta (A) ou parcialmente correta (B) à pergunta. Apenas dois alunos, ou 6,7% do total, não souberam responder (C) ou o fez de forma inadequada.

A questão 4, que solicitava ao estudante uma reflexão sobre a existência ou não de um átomo quando não o estamos observando, apresentou como resultado um número de 25 estudantes com resposta correta (A) ou parcialmente correta (B), demonstrando que a maioria dos estudantes concebe que a existência ou não de um fenômeno ou “coisa” independe de existência de uma teoria.

6.3 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE AS FALAS E OS REGISTROS ESCRITOS

No item 6.1. deste capítulo analisamos as falas dos alunos na aula 10 e verificamos a participação efetiva de oito alunos 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:

TURNO	FALA TRANSCRITA	INDICADOR AC / BREVE ANÁLISE
160	Aline: Eu não sei... Eu acho que é que nem ele falou. Uma hora ela se comporta de uma forma, como onda e outra hora como partícula	Explicação

Sua resposta no registro escrito (Anexo D) está parcialmente correta.

André, por sua vez, tem bom desempenho nas explicações sobre a experiência do interferômetro. Suas respostas sobre a natureza da oscilam, produzindo afirmações corretas para as interpretações Corpuscular e da Complementaridade. Suas falas concentraram-se 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. Consegue proferir respostas corretas para a natureza da luz e para a explicação da experiência no interferômetro, exceção feita às interpretações da Complementaridade, onde também tinha dúvidas nas discussões.

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 fala no turno 185 apresenta o indicador de alfabetização científica explicação, proposto por Sasseron (2008), e configura-se estruturada pelo padrão de Toulmin da seguinte forma (Figura 11):

FIGURA 11 – Estrutura da fala - Bruna.

Sua escrita é condizente com suas locuções e consegue produzir registros corretos e bem elaborados, como mostra a Tabela 1.

O aluno Felipe pouco falou em sala, mas sua assertiva no turno 187, ao fazer um levantamento de hipótese, é importante para apresentar as colunas uma outra

interpretação da Mecânica Quântica. Também apresenta um bom desempenho na elaboração dos registros escritos.

Lucas foi, junto com Bruna, um dos alunos que mais interagiram nas aulas de discussão. Suas falas ocorreram em vários episódios de ensino e o estudante apresentou diversos indicadores de alfabetização científica. Seu registro escrito também aponta bom entendimento das questões propostas.

Pedro, como se constata na Tabela 1, responde com bastante clareza e correção ao registro escrito, demonstrando bom conhecimento dos temas. Sua atividade é harmônica com sua participação na aula 10, onde, inclusive apresenta no turno 115, em sua fala, o operador epistemológico *consistência com outro conhecimento* sugerido por Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodríguez e Duschl (2000).

Finalmente, o aluno Victor, que nas aulas de discussão apresenta várias dúvidas e algumas afirmações, aponta, em seus registros escritos, dificuldades na explicação sobre o conceito de fóton e entendimento parcialmente correto quanto às interpretações da Mecânica Quântica para a natureza da luz e para a explicação da experiência do interferômetro.

A comparação entre as falas dos estudantes, promovidas na aula 10, e a análise de seus registros escritos leva-nos a proclamar que os alunos 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, como discutidos no item 6.2, 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 alunos que interagiram falando. Como demonstra a Tabela 1, os alunos Daniel, Fabiane, Hugo, Isis e Jéssica, dentre outros, são bons exemplos disso.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa, procuramos identificar como ocorre a argumentação dos alunos 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 para a idealização do experimento.

Este trabalho objetivou também verificar se os alunos se apropriaram das interpretações da Mecânica Quântica sobre a natureza e o comportamento da luz.

Analizamos como se desenvolveram os processos de argumentação em sala de aula promovidos pelos alunos a partir de sua estrutura, como formulado por Toulmin (2006), e pela presença dos indicadores de alfabetização científica propostos por Sasseron (2008) e Sasseron e Carvalho (2008c).

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 alunos 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.

Esta pesquisa apresentou uma sequência plausível e de baixo custo de implementação. A maior dificuldade encontrada deu-se por sua execução nas aulas finais do ano letivo. A aula de finalização ocorreu após o fechamento de conceitos e, mesmo assim, houve comparecimento maciço dos alunos.

No entanto, como os alunos foram estimulados à execução dos experimentos, discussão das observações, e não a espera passiva de respostas do professor, as aulas foram dinâmicas, interativas e contribuíram para o sucesso da proposta.

A análise, como apresentado no item 6.3 do capítulo anterior, demonstra que as interações discursivas entre os alunos, 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 alunos corroboram para essa afirmação. Cerca de 30% dos alunos participou ativamente das discussões em sala. Na análise de suas alocações percebe-se a incidência desses indicadores.

Constatamos que o discurso dos alunos 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 alunos. 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 alunos 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

alunos 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 alunos 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.

Nossa revisão bibliográfica mostra que pesquisas centradas na aprendizagem de temas de Física Moderna e Contemporânea ainda são raras. É imprescindível que se estabeleçam critérios e metodologias para que se possa avaliar a compreensão de temas modernos e tão abstratos quanto os de MQ.

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 alunos 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.

Mais do que conclusões, esta pesquisa sugere a abertura de novas questões relacionadas ao discurso dos alunos em aulas de FMC e em como aferir sua compreensão de conceitos a ela vinculados.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, M. C. P. S. *Situações de ensino - aprendizagem*: análise de uma seqüência didática de física a partir da teoria das situações de Brousseau. 2008. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- BAROJAS, J. (Ed.). *Cooperative networks in physics education*. New York: American Institute of Physics, 1988. (AIP Conference Proceedings, 173).
- BARTHEM, R. *A Luz*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.
- BORGES, M. D. *Física moderna e contemporânea no ensino médio*: uma experiência didática com a teoria da relatividade restrita. 2005. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- 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.
- BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna? *Investigações em ensino de ciências*, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.
- CANDELA, A. A construção discursiva de contextos argumentativos no ensino de ciências. In: Coll, C.; Edwards, D. (Orgs.). *Ensino, Aprendizagem e Discurso em Sala de Aula*. Porto Alegre: Artmed, 1998. p. 143-169.

CAPECCHI, M. C. V. M. *Aspectos da cultura científica em atividades de experimentação nas aulas de física*. 2004. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

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.

CAPECCHI, M. C. V. M.; CARVALHO, A. M. P.; SILVA, D. Relações entre o discurso do professor e a argumentação dos alunos em uma aula de física. *Ensaio*, v. 2, n. 2, 2002. Disponível em: <http://www.fae.ufmg.br/ensaio/v2_2/mariacandida.PDF>. Acesso em: 27 ago. 2007.

CARMO, A. B. *A linguagem matemática em uma aula experimental de física*. 2006. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

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.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 18, n. 3, p. 298-316, 2001.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; HAAG, R. Experiências em física moderna. *Física na Escola*, v. 6, n. 1, p. 75-82, 2005.

CHIARELLI, R. A. *Física moderna e contemporânea no ensino médio: é possível abordar conceitos de mecânica quântica?* 2006. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

CUPPARI, A. et al. Gradual introduction of some aspects of quantum mechanics in a high school curriculum. *Physics Education*, Bristol, v. 32, n. 5, p. 302-308, Sept. 1997.

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.

GIL-PÉREZ, D. et al. La resolución de problemas de lápiz y papel: como actividad de investigación. *Investigación en la Escuela*, n. 3, p. 3-19, 1988.

GIL-PÉREZ, D.; SENENT, F.; SOLBES, J. La introducción a la física moderna: un ejemplo paradigmático de cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, n. extra, p. 209-210, set. 1987.

GIL-PÉREZ, D.; SOLBES, J. The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, London, v. 15, n. 3, p. 255-260, 1993.

GUERRA, A.; BRAGA, M.; REIS, J. C. Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 4, p. 575-583, 2007.

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.

KARAM, R. A. S.; CRUZ, S. M. S. C.; COIMBRA, D. Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, p. 105-114, 2007.

LABURÚ, C. E.; SIMÕES, A. M.; URBANO, A. A. Mexendo com polaróides e mostradores de cristais líquidos (o ensino de física contemporânea tendo como pano de fundo a física do cotidiano). *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 15, n. 2, p. 192-202, 1998.

LATOUR, B. *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. São Paulo: Editora da UNESP, 2000.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S. *A vida de laboratório: a produção de fatos científicos*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

LAWSON, A. E. How do humans acquire knowledge? And what does that imply about the nature of the knowledge? *Science & Education*, v. 9, n. 6, p. 577-598, 2000.

_____. What does Galileo's Discovery of Jupiter's Moons Tell us about the Process of Scientific Discovery? *Science & Education*, v. 11, n. 1, p. 1-24, 2002.

_____. Allchin's shoehorn, or why science is hypothetico-deductive. *Science & Education*, v. 12, n. 3, p. 331-337, 2003.

_____. T. rex, the crater of doom, and the nature of the scientific discovery, *Science & Education*, v. 13, n. 3, p. 155-177, 2004.

LEMKE, J. L. Multiplying meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. In: MARTIN, J.; Veel, R. (Eds.). *Reading science*. Londres: Routledge, 1998a.

_____. *Aprender a hablar ciencia: lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós, 1998b.

LOCATELLI, R. J. *Uma análise do raciocínio utilizado pelos alunos ao desenvolverem os problemas propostos nas atividades de conhecimento físico*. 2006. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MENEZES, L. C.; HOSOUME, Y. Para lidar com o mundo real: a física escolar também precisa ser quântica. In: SNEF, 12., 1997, Belo Horizonte. *Atas...* Belo Horizonte: SNEF, 1997. p. 282-287.

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

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. A linguagem em uma aula de ciências. *Presença Pedagógica*, v. 2, n. 11, p. 49-57, 1996.

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].

NUPIC (Núcleo de Pesquisas em Inovações Curriculares do Laboratório de Pesquisas em Ensino de Física). *A transformação das teorias modernas e contemporâneas para a sala de aula: física de partículas elementares*. São Paulo: NUPIC/LaPEF, 9 ago. 2007. Disponível em: <<http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal/introducao-fisica-de-particulas-elementares>>. Acesso em: 15 jul. 2008.

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.

OSTERMANN, F.; RICCI, T. S. F. Relatividade restrita no ensino médio: contração de Lorentz-fitzgerald e a aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 19, n. 2, p. 176-190, 2002.

_____. Relatividade restrita no ensino médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 21, n. 1, p. 83-102, 2004.

PESSOA JR., O. *Conceitos de física quântica*. São Paulo: Livraria da Física, 2003.

PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. especial, p. 93-114, 2002.

ROTH, W. M. *Competent workplace mathematics*: how signs become transparent. In: Symposium Semiotic and Activity Theoretic Perspectives on Practice Workplace and School Mathematics: Synergies and Dissonances?, 2002, New Orleans. *Anais...* New Orleans: AERA, 2002 [On-line].

SALVETTI, A. R. *A história da luz*. Campo Grande: Ed. UFMS, 2006.

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.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. O ensino de ciências para a alfabetização científica: analisando o processo por meio das argumentações em sala de aula. In: Simpósio Internacional de Análise do Discurso, 3., 2008, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: NAD/UFGM, 2008a [On-line].

_____. Evidências da alfabetização científica nas séries iniciais do ensino fundamental: como podemos encontrá-las?. In: Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino, 2008, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: PUCRS/Unisinos, 2008b [On-line].

_____. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 13, n. 3, p. 333-352, 2008c.

SIQUEIRA, M. R. P. *Do visível ao indivisível*: uma proposta de física de partículas elementares para o ensino de física. 2006. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 9, n. 3. p. 209-214, 1992.

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

VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 121-135, ago. 1998.

_____. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 15, n. 2: p. 121-135, ago. 1998. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/6896/7584>>. Acesso em: 20 mar. 2009.

VEIT, E. A. et al. O efeito fotoelétrico ensino médio via microcomputador. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 4. n. 2. p. 68-88, 1987.

VILLANI, C. E. P.; NASCIMENTO, S. A argumentação e o ensino de ciências: uma atividade experimental no laboratório didático de física do ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 8, n. 3. 2003. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol8/n3/v8_n3_a1.html>. Acesso em: 05 set. 2008.

ZEILINGER, A. *A face oculta da natureza*. São Paulo: Globo, 2005.

ANEXOS

ANEXO A – QUADRO SINTÉTICO E PROPOSTA DE TRABALHO PARA O BLOCO DE DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA SUGERIDO POR BROCKINGTON (2005)

Quadro Sintético

ATIVIDADE	MOMENTOS	TEMPO
1 - Analogia com a pessoa fóton	Interpretação do texto do dialogo entre um crente da teoria corpuscular de Newton e um crente da teoria de Huygens do livro “Evolução da Física” de Eisntein e Infeld.	1 aula
	Apresentação da analogia que será feita como uma situação preparatória para a compreensão da experiência que feita para definir a natureza da luz.	1 aula
	Os alunos observam o comportamento da pessoa-foton e o professor fica atento para recolher as hipóteses que forem aparecendo.	
	O professor retoma as observações e sistematiza as hipóteses dos alunos, preparando para a analogia.	
2 - Interferômetro de Mach Zender	Retomada da analogia da aula anterior usando o power point. Apresentar o interferômetro de Mach-Zhender, e os resultados experimentais iniciais e para um só fóton, e as interpretações dos resultados visando determinar a natureza da luz.	1 aula
	Os alunos assistem à apresentação e participam do diálogo mantido com o professor	
3 - Exercícios	Apresentação das questões e entrega do texto de apoio, deixando claro o caráter das questões serem opinativas e que o certo ou errado está de acordo com a argumentação e não por existir uma resposta certa.	1 aula
	Os alunos respondem individualmente as questões, assistidos pela professora.	
TOTAL DE AULAS		4 aulas

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

Atividade 1 – Analogia com a pessoa fóton - Parte I

Objetivo: Retomar a discussão sobre a natureza da luz: é onda ou partícula?

Conteúdo: Conceitos clássicos de onda e partícula

Recursos de Ensino: *Teoria Corpuscular x Teoria Ondulatória (Recurso de Ensino 1)*

Dinâmica da Aula:

- A aula começa com dois alunos realizando uma leitura dramática do diálogo Huygens-Newton do livro “Evolução da Física”, um texto contando o debate histórico sobre a incompatibilidade dos conceitos clássicos de partícula e onda na Física.
- Em seguida questionar os alunos sobre como esse impasse pode ser resolvido. Espera-se que os alunos proponham que se faça uma experiência que comprove o que é a luz.

Atividade 1 – Analogia com a pessoa fóton - Parte II

Objetivo: Elaborar hipóteses sobre uma analogia que facilitará a compreensão das experiências usando o interferômetro de Mach-Zehnder.

Conteúdo: Elaboração de explicações e argumentação a partir de resultados experimentais

Recursos de Ensino: Roteiro da Atividade *Analogia com Pessoa-Fóton* e os materiais listados (**Recurso de Ensino 2**).

Dinâmica da Aula:

- O professor apresenta a analogia como uma situação preparatória para a compreensão de uma experiência feita para definir a natureza da luz. Ele deve deixar bem clara a situação e as condições de contorno para facilitar a comparação com o interferômetro e trabalhar a analogia com seriedade para que não ocorra perda de significado.
- Os alunos observam o comportamento da pessoa-fóton. O professor deve ficar atento para recolher as hipóteses que surgirem, quais observações eles estão fazendo e que conclusões estão tirando.
- O professor retoma as observações e sistematiza as hipóteses dos alunos, preparando para a analogia.

Atividade 2 - Interferômetro de Mach-Zender

Objetivo: Entender os resultados experimentais e as diferentes interpretações dos resultados que levaram à ideia da dualidade onda-partícula, quebra do modelo da Física como ciência pronta, em que tudo está bem determinado e resolvido.

Conteúdo: As quatro interpretações quânticas para a luz e seus limites na explicação dos resultados experimentais.

Recursos de Ensino: Sala de aula, lousa, giz e apresentação no PowerPoint *Atividade da Pessoa-Fóton (Anexo I)*.

Dinâmica da Aula:

- Retomar a analogia e as discussões da aula anterior usando o PowerPoint. Apresentar o interferômetro de Mach-Zehnder, os resultados experimentais iniciais e as interpretações dos resultados. Depois os resultados para um só fóton e interpretações dos resultados visando determinar a natureza da luz.

Atividade 3 - Exercícios

Objetivo: Verificar a compreensão do conceito de ciência, como o aluno se sente diante dessa situação e qual o modelo para a luz que eles consideram melhor e se sabem justificar sua resposta.

Conteúdo: interpretações quânticas para a luz e conceitos de onda e partícula

Recursos de Ensino: Texto *Dualidade Onda-Partícula* e *Questões* (Recurso de Ensino 3).

Dinâmica da Aula:

- Leitura e discussão do texto *Dualidade Onda-Partícula*
- Os alunos respondem as questões individualmente. O professor deve salientar o caráter opinativo das questões, pois não por existir uma resposta certa ou errada, o que é necessário nessa atividade é a argumentação dos alunos.

Recurso de Ensino 1**TEORIA CORPUSCULAR X TEORIA ONDULATÓRIA**

De acordo com Huygens, a luz é uma onda, uma transferência de energia e não de substância. Vimos que a teoria corpuscular explica muitos dos fatos observados. Será a teoria ondulatória também capaz de fazê-lo? Temos de fazer novamente as perguntas que já foram respondidas pela teoria corpuscular, para ver se a teoria ondulatória pode sair-se igualmente bem. Fá-lo-emos aqui sob a forma de [...] um diálogo entre N e H, sendo N um crente da teoria corpuscular de Newton e H um crente da teoria de Huygens. Nenhum dos dois tem permissão para usar argumentos criados depois de o trabalho dos dois grandes mestres ter sido concluído.

N: Na teoria corpuscular, a velocidade da luz tem um significado bem definido. É a velocidade com a qual os corpúsculos caminham no espaço vazio. Que significará ela na teoria ondulatória?

H: Significa a velocidade da onda de luz, está claro. Toda onda que se conhece se espalha com alguma velocidade definida, o mesmo devendo fazer a onda de luz.

N: Isso não é tão simples quanto parece. As ondas sonoras se espalham no ar, as ondas do oceano na água. Toda onda tem de ter um meio material no qual caminhe. Mas a luz atravessa o vácuo, o mesmo não se dando com o som. Supor-se uma onda no espaço vazio não é, na realidade, supor-se onda alguma.

H: Sim, trata-se de uma dificuldade, embora não seja nova para mim. O meu mestre pensou nisso cuidadosamente e decidiu que a única saída é admitir-se a existência de uma substância hipotética, o éter, um meio transparente que permeia todo o universo. O universo está, por assim dizer, imerso no éter. Uma vez tenhamos a coragem de introduzir esse conceito, tudo o mais se torna claro e convincente.

N: Mas faço objeção a tal suposição. Em primeiro lugar, ela introduz uma nova substância hipotética, e já temos substâncias em demasia em Física. Há ainda outra razão contra ela. Por certo você não duvida de que temos de explicar tudo em termos de mecânica. Que dizer do éter, nesse sentido? Estará você capacitado para responder à questão sobre como o éter é formado por suas partículas elementares e como ele se revela em outros fenômenos?

H: Sua primeira objeção é certamente justificada. Mas, introduzindo o éter destituído de peso e algo artificial, livramo-nos imediatamente dos corpúsculos de luz, muito mais artificiais. Temos apenas uma substância "misteriosa", em vez de um número infinito delas, correspondente ao grande número de cores do espectro. Não acha que isso seja de fato um progresso? Pelo menos todas as dificuldades são concentradas em um só ponto. Não mais necessitamos da suposição fictícia de que as partículas pertencentes a cores diferentes caminham com a mesma velocidade no espaço vazio. O seu segundo argumento também é verdadeiro. Não podemos dar uma explicação mecânica do éter. Mas não há dúvida alguma quanto a que o estudo futuro dos fenômenos óticos e talvez de outros revelará a sua estrutura. No momento, devemos aguardar outras experiências e conclusões, mas finalmente estaremos, confio, capacitados para esclarecer o problema da estrutura mecânica do éter.

N: Deixemos a questão de lado por enquanto, pois não pode ser solucionada. Eu gostaria de ver como a sua teoria explica, mesmo que desatendamos às dificuldades, os fenômenos que são tão claros e compreensíveis à luz da teoria corpuscular. Tome-se, por exemplo, o fato de os raios de luz caminharem em linha reta in vácuo ou no ar. Um pedaço de papel colocado diante de uma vela produz uma sombra distinta e precisamente esboçada na parede. As sombras nítidas não seriam possíveis se a teoria ondulatória da luz fosse correta, pois as ondas se curvariam ao redor das bordas do papel e, assim, borrariam a sombra. Uma pequena embarcação não é um obstáculo para as ondas do mar, como você sabe; elas simplesmente se curvam ao redor da mesma, não projetando uma sombra.

H: Esse argumento não é convincente. Considere ondas curtas em um rio chocando-se com o lado de uma embarcação grande. As ondas que se originam em um dos lados da embarcação não serão vistas do outro lado. Se as ondas forem suficientemente pequenas e a embarcação suficientemente grande aparece uma sombra muito distinta. É bem provável que a luz parece caminhar em linha reta somente pelo fato de o seu comprimento de onda ser muito pequeno em comparação com o tamanho dos obstáculos comuns e das aberturas usadas nas experiências. Possivelmente não ocorreria sombra alguma se pudéssemos criar uma obstrução suficientemente pequena. Encontraríamos grandes dificuldades experimentais na construção de aparato que mostraria e a luz é capaz de se curvar. Não obstante, se tal experiência pudesse ser realizada, seria crucial na decisão entre a teoria ondulatória e a teoria corpuscular da luz.

N: A teoria ondulatória poderá conduzir a novos fatos no futuro, mas não sei de quaisquer dados experimentais que a confirmem convincentemente. Não vejo razão alguma para não acreditar na teoria enquanto não fôr definitivamente provado pela experiência que a luz pode ser curvada, pois aquela teoria me parece mais simples e, portanto, melhor do que a teoria ondulatória.

(Trecho extraído de: *A Evolução da Física*, Albert Einstein e Leopold Infeld, p. 91-94. Zahar Ed., 1962)

Recursos de Ensino 2

ROTEIRO DA ATIVIDADE “ANALOGIA COM PESSOA-FÓTON”

Materiais

- Uma pessoa desconhecida dos alunos enrolada num lençol, da cabeça aos pés de modo que não possa ser identificada, nem pelo sapato.
- Carteiras dispostas em forma de Y. Cada braço do Y representará um banheiro.
- “Placas” de banheiro feminino e masculino
- Giz e lousa

Procedimento

- 1 - Professor propõe o problema: determinar o sexo da pessoa não identificada através do seu comportamento, explicando que essa situação é uma metáfora para ajudar na compreensão da natureza da luz. As explicações do comportamento da pessoa dadas pelos alunos durante a experiência devem ser anotadas na lousa.
- 2 - A pessoa começa o movimento caminhando para um dos banheiros. Volta e vai para o outro banheiro, repetindo o movimento de maneira aleatória sem que haja um padrão em suas escolhas, não sendo possível determinar seu sexo.
- 3 - Afinal é homem ou mulher? O professor fecha uma das entradas por exemplo o banheiro feminino e pede para os alunos observarem o comportamento da pessoa-fóton.
- 4 - A pessoa se dirige para o banheiro que está livre três ou quatro vezes.
- 5 - O professor inverte a situação dos banheiros, isto é fecha agora o banheiro masculino, e compara as explicações desse arranjo com as do anterior.
- 6 - A pessoa-fóton repete o comportamento do item 4.
- 7 - O professor propõe que se coloque uma “câmera escondida” na frente de um dos banheiros deixando as duas passagens livres.
- 8 - A pessoa se dirige para o banheiro que está com a câmera três ou quatro vezes.
- 9 - O professor coloca a “câmera” no outro banheiro.
- 10 - A pessoa-fóton repete o comportamento do item 8.
- 11 - O professor coloca uma “câmera” em cada banheiro.
- 13 - A pessoa-fóton repete o comportamento do item 2.

Recurso de Ensino 3**DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA**

Ao estudarmos o efeito fotoelétrico, ficou uma dúvida quanto à natureza da luz: afinal, a luz é uma onda, como vimos nas explicações sobre a cor dos corpos, os espectros e a interferência, ou a luz é uma partícula, chamada fóton, como vimos na explicação do efeito fotoelétrico?

Antes de conhecermos as experiências que se fez em Física para tentar resolver esse problema, pensemos primeiro numa metáfora, que visa facilitar nosso raciocínio, para entendermos o que foi feito e pensado pelos cientistas.

O Que Estava em Baixo do Lençol?

Consideremos a seguinte “situação/experimento”, em que, a partir do comportamento de uma pessoa, tentaríamos descobrir qual é o seu sexo.

Para isso, observaríamos o comportamento da pessoa ao ir ao banheiro, supondo que um homem usa o banheiro masculino e uma mulher o banheiro feminino. Para isso, escolhemos um lugar onde o caminho para chegar a cada banheiro corresponde a um braço de uma bifurcação. Podemos imaginar que não podemos ver a pessoa quando escolhe e percorre o caminho, apenas uma luz indica qual o banheiro que está sendo usado:

1º passo: Deixamos a pessoa escolher livremente o caminho até o banheiro:

O que observamos: A pessoa vai às vezes ao banheiro masculino, às vezes ao feminino, ou seja, se mostra ora como homem, ora como mulher, sem que haja algum privilégio de uma ou outra escolha.

2º passo: Fazemos com que a pessoa só tenha um caminho a seguir, o do banheiro feminino, fechando a possibilidade de ir ao banheiro masculino:

O que observamos: A pessoa se mostra apenas como mulher, isto é, usa apenas o banheiro feminino.

3º passo: Fazemos agora com que a pessoa só tenha um caminho a seguir: o do banheiro masculino, fechando a possibilidade de ir ao banheiro feminino:

O que observamos: A pessoa se mostra apenas como homem, isto é, usa apenas o banheiro masculino.

4º passo: A pessoa agora pode escolher livremente o caminho a seguir, como foi feito no 1º passo, porém dessa vez há uma câmera escondida na frente da porta de um dos banheiros, o masculino:

O que observamos: A pessoa se mostra apenas como homem, isto é usa apenas o banheiro que tem a câmera escondida.

5º passo: O mesmo do anterior, só que colocando a câmera escondida na porta do banheiro feminino:

O que observamos: A pessoa se mostra apenas como mulher, isto é usa apenas o banheiro que tem a câmera escondida.

Fazendo algumas hipóteses que justifiquem esse comportamento, o que podemos afirmar sobre o sexo da pessoa?

1 - A pessoa era um transexual ou homossexual, e por isso ia aos dois banheiros, indiferentemente.

2 - A pessoa era um homem. Foi ao banheiro feminino quando o banheiro masculino estava fechado porque estava “apertado”

3 - A pessoa era uma mulher, foi ao banheiro masculino porque estava “apertada”.

5 - A pessoa era hermafrodita

4 - Não era uma pessoa, era um robô.

Cada uma dessas interpretações de qual seria o sexo da pessoa a partir de seu comportamento é boa para explicar o que aconteceu, porém todas elas falham em algum ponto. Por exemplo, nenhuma delas explica bem porque a pessoa ia para o banheiro em que a câmera estava escondida.

No nosso mundo, aspectos antagônicos podem conviver tranquilamente, podem coexistir sem maiores problemas.

No mundo da física as coisas são bem diferentes: as duas formas de apresentar as “coisas” da física são onda e partícula. São formas opostas que não podem, na física clássica, pertencer simultaneamente ao mesmo objeto.

O Interferômetro de Mach–Zehnder

Tendo em mente essa metáfora, vamos agora conhecer um experimento feito pelos físicos para determinar a verdadeira natureza da luz: onda ou partícula.

O experimento é feito com uma fonte de luz (laser), dois vidros semi-refletores (S1 e S2), dois espelhos (E1 e E2) e dois detectores (D1 e D2), como mostra a figura a seguir:

Os vidros semi-refletores são como os vidros de uma janela em que à noite você pode ver a imagem do interior da sala refletida no vidro, e ao mesmo tempo ver o que está na rua, ou seja, parte da luz é refletida e parte é transmitida.

A fonte envia um feixe de luz sobre o vidro semi-refletor S1, que dividirá esse feixe em duas partes: um feixe segue a direção horizontal, que corresponde ao caminho A, que foi transmitido, e outro feixe, que reflete, seguindo a direção vertical, caminho B.

Após serem refletidos pelos espelhos E2 e E1, os feixes se recombinaem (interferem) no vidro semi-refletor em S2.

A parte refletida do feixe se combina com a parte transmitida, seguindo a direção I e chegando ao detector. O mesmo acontece com a outra parte.

Podemos também inserir um deslocador de fase, que é uma lâmina de vidro transparente, que vai reduzir a velocidade da luz ao atravessá-la. Variando a inclinação dessa lâmina, podemos aumentar ou diminuir o caminho seguido pela luz dentro da lâmina, modificando o tempo que leva para ir de S1 até S2. Com isso podemos criar interferências destrutivas ou construtivas, revelando a natureza ondulatória da luz.

Agindo assim, observamos interferência destrutiva no caminho II e nada no detector 2, e temos uma interferência construtiva no caminho I e o detector 1 mede a chegada da luz.

Como a interferência é um fenômeno tipicamente ondulatório, podemos dizer que a luz se comporta como onda.

Mas algo muito interessante acontece quando a fonte emite um único fóton, ao invés de um feixe de luz.

A pergunta é: depois que o fóton passa por S1, mas antes de incidir em S2, em qual caminho ele se encontra, em A ou em B?

Podemos supor que o fóton esteja em A. Podemos fazer isso retirando o semi-refletor S1.

Assim o fóton incide em S2 e pode ser detectado em D1 (50% de probabilidade) ou em D2 (também com 50%)

Podemos supor que o fóton se encontra em B. Fazemos isso substituindo o espelho semi-refletor S1 por um espelho. Assim temos também 50% de chance de detectá-lo em D2.

Como o fóton tem 50% de chance de ser detectado em D2 seguindo pelo caminho A e 50% seguindo pelo caminho B, então se ele está em A ou B (que é a nossa pergunta), ele tem 50% de chance de chegar em D2.

Mas não é isso o que acontece!! Ou seja, ao invés de 50 % de chance do fóton chegar em D2 temos 0% : o fóton não chega ao detector D2, por mais que seja repetida a experiência!

Como vimos, um fóton deveria ser uma partícula, que é localizada e segue uma trajetória bem definida, mas o experimento mostrou que isso não acontece. O fóton não seguiu uma trajetória que pode ser definida. Assim como vocês criaram interpretações para explicar a verdadeira natureza da pessoa debaixo do lençol, os cientistas também se viram obrigados a interpretar esses resultados inesperados.

Veremos as principais delas:

1. Interpretação ondulatória:

Um fóton é uma onda, um “pacote de onda”. Com isso, talvez o fóton possa se dividir em dois “meiosfótons” ao chegar em S1 e esses se recombinariam em S2, como prevê a física clássica. Porém nenhum experimento feito até hoje foi capaz de detectar um “meio-fóton”...

2. Interpretação corpuscular:

O fóton é uma partícula. Esse experimento que mostramos não é bem explicado por essa interpretação. Uma saída possível é dizer que a lógica existente no mundo quântico é uma lógica diferente do mundo macroscópico. Com isso, o “ou” seria diferente e uma coisa poderia ser e não ser ao mesmo tempo.

3. Interpretação dualista realista:

A luz é um objeto quântico, que é composto por duas partes: o fóton e sua onda associada. Assim, o fóton segue uma trajetória, A ou B, mas sua onda se divide em duas partes, seguindo por A e B ao mesmo tempo. A partícula seria como um surfista, que só navega onde há onda. Como as ondas se cancelam próximas ao detector D2, o fóton é obrigado a seguir para D1.

4. Interpretação da complementaridade:

Um fenômeno pode ser ondulatório ou corpuscular, nunca os dois ao mesmo tempo. O experimento que vimos é um fenômeno ondulatório, já que não segue um caminho bem definido. Assim, não faz sentido perguntar onde está o fóton.

Vamos Tornar Isso Tudo Ainda Mais Interessante...

Essa é uma outra versão do experimento que vimos até agora. É a mesma aparelhagem utilizada até aqui, mas o semi-refletor S2 foi retirado. Assim, se o fóton chegar em D1, podemos dizer que ele estava em B. se chegar em D2 ele veio por A. Temos agora um fenômeno corpuscular:

Vamos ver como as diferentes interpretações analisam esse fenômeno:

1. Interpretação ondulatória:

Após atravessar S1 o pacote de onda se divide em duas partes. Ao chegar em D1, a outra parte desaparece instantaneamente! Acontece o chamado “colapso de onda”. Quando uma é detectada, a probabilidade de se detectar a outra é imediatamente reduzida a zero!!!

2. Interpretação corpuscular:

Aqui esta interpretação é muito boa. Sua explicação é direta: a partícula seguiu o caminho A e chegou em D2, ou segue outro caminho e chega em D1. Não precisa nenhum artifício como a idéia de colapso.

3. Interpretação dualista realista:

Após S1, a partícula segue o caminho A ou B, mas existiria sua onda associada que seguiria os dois caminhos ao mesmo tempo, pois essa se dividiu em duas partes. Ao chegar em S2, as ondas se combinam e onde “sobrar” onda, a partícula navega, chegando em D2. Porém, o que acontece com a parte da onda que segue para D1, já que nada é detectado? Para resolver esse problema essa interpretação lança a idéia de “onda vazia”, uma onda que não carrega energia alguma e que não pode ser detectada. Einstein chamava essa onda de “onda fantasma...”. Essa criação de objetos “inexistentes” nas teorias físicas é muito criticada pelos cientistas.

4. Interpretação da complementaridade:

Agora essa interpretação considera o fenômeno como corpuscular. Depois de realizada a medição, viu-se que o fóton seguiu um caminho bem definido, sendo assim, um fenômeno associado à partícula. Para essa interpretação, só se pode falar sobre a natureza da luz após realizar uma medição. Até medir, não faz sentido perguntar o que ela é.

Texto adaptado de: Conceitos de Física Quântica de Osvaldo Pessoa Jr., Livraria da Física, 2003

QUESTÕES

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 - Como você associa esse experimento com a atividade da pessoa escondida pelo lençol?
- 4 - A partir do que viu aqui, como você acha que é a natureza da luz? Qual das quatro interpretações mais o agrada? Por quê?
- 5 - 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?

ANEXO B – A PROPOSTA DE TRABALHO PARA O BLOCO DE DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA COM ALTERAÇÕES EFETUADAS

Do real clássico ao ideal quântico:

Uma sequência de aulas para introduzir o tema dualidade onda-partícula no ensino médio. Informações gerais sobre a sequência de aulas (11 aulas)

A sequência se inicia com uma revisão das noções básicas de óptica clássica e de diferentes modelos para a luz (raio luminoso, modelo corpuscular e ondulatório).

Após construir e ajustar o interferômetro de Mach-Zehnder (MZ); discutimos o comportamento da luz no interferômetro e seguimos explorando o interferômetro como experimento de pensamento com fótons únicos. Visamos assim estudar a dualidade onda-partícula, o princípio da complementaridade e a noção de superposição de estados quânticos contemplando a dimensão epistemológica do conhecimento físico.

Objetivos:

1) Incentivar o aluno a refletir:

- sobre a natureza do fenômeno quântico considerando-o a partir de uma abordagem relacional, ou seja, partindo de diferentes pontos de vista: do objeto observado, do instrumento de medida e do papel observador.
- sobre as implicações filosóficas da física quântica para o desenvolvimento do conhecimento físico.
- sobre o conhecimento físico e tecnológico como construção humana e a noção de realidade.

2) Desenvolver no aluno competências que deverão manifestar-se em suas habilidades para racionar matematicamente (formal), empregar conceitos adequadamente (conceitual) e observar e descrever objetivamente fenômenos físicos (fenomenológica).

3) Estimular o aluno a pensar e a argumentar criticamente desenvolvendo sua capacidade de trabalhar em grupo, socializar seu conhecimento, contrapor opiniões diferentes e expressar-se de maneira clara e direta.

Conteúdo Físico (11 aulas)

Conceitos de óptica geométrica: reflexão, refração, transmissão e propagação da luz

Modelos para o comportamento da luz: raio, corpuscular e ondulatório

Funcionamento do interferômetro

Interferência

Laser

Fóton

Dualidade onda-partícula

Interpretações de mecânica quântica

Metodologia

- realização de aulas expositivas, demonstrações (professor).
- simulações experimentais (alunos)
- realização de atividades experimentais (trabalho em grupo)
- discussões em sala de aula
- uso de textos de apoio e de vídeos e DVDs educacionais.

Aula 1 : O universo físico

Objetivos:

- Apresentação da proposta de aulas para os alunos.

- Levantar as concepções dos alunos sobre as seguintes questões (questionário para responder em classe):
 1. Como você explicaria o que é “física” para alguém que nunca estudou física?
 2. O que é física quântica para você?
 3. Você gostaria de aprender algo sobre física quântica? O quê? Por quê?
 - Motivar os alunos a refletirem sobre o tema “a natureza do conhecimento físico”.
- Conteúdos:
- O universo físico (o que existe no universo? O que existe no universo físico? Qual a diferença entre esses dois universos?).
 - Trabalhar conceito de trajetória e caracterizar os “objetos tipo partícula” contrapondo-os aos “objetos tipo onda”.
 - A natureza do conhecimento físico (como a física “funciona”? Qual o papel da observação, dos modelos, das leis gerais, da matemática, das representações gráficas, etc.?)
- Materiais e recursos:
- Apresentação da sequência didática (apresentação data-show: conhecimento físico).
 - Questionário.
 - Material para atividade do tatuzinho (tatuzinhos, tubos de mangueira transparente, régua, papel milimetrado, cronômetro, etc.).
- Momentos:
- O professor apresenta em linhas gerais os objetivos e o conteúdo das aulas da sequência de aulas.
 - O professor apresenta o esquema do vetor epistemológico (apresentação data-show) discutindo brevemente o processo de construção do conhecimento científico e relacionando essa discussão com a construção do fenômeno quântico que será estudado ao longo dos quatro episódios epistemológicos.
 - Os alunos respondem o questionário proposto pelo professor.
- O professor propõe a atividade do tatuzinho:
- O professor fornece as instruções e o material necessário para a realização da atividade do tatuzinho.
 - Os alunos trabalham em grupos na atividade do tatuzinho.
 - O professor propõe e estimula uma discussão sobre a natureza do conhecimento físico baseado na atividade do tatuzinho de modo a levantar as concepções dos alunos sobre o que é relevante/irrelevante para o estudo do comportamento do tatuzinho do ponto de vista da física (ex. relevante: perceber a relação entre a distância percorrida e o tempo; irrelevante: considerar o estado emocional do tatuzinho).
 - O professor sistematiza as ideias dos alunos sobre o que pertence ao universo e ao universo físico sistematizando a discussão sobre o conhecimento físico a exemplo da atividade do tatuzinho (ex. discute com os alunos o que essa atividade poderia significar para um biólogo, um físico, um psicólogo, um trabalhador rural, uma pessoa que não frequentou a escola etc.).

Aula 2: O nascimento da física quântica

Objetivos:

- Contextualizar o nascimento da física quântica (problema prático ligado a questão da radiação do corpo negro e da necessidade de adaptação da teoria aos dados experimentais).

Conteúdos:

- História da física antes de 1900 (modelo ondulatório bem estabelecido).
- História da física por volta de 1900 (problema: determinar a melhor fonte de luz para iluminar as cidades europeias: iluminação a gás ou iluminação elétrica recém descoberta; necessidade de comprar fontes luminosas diferentes: corpo negro como

fonte de luz ideal, quantização da radiação por Planck: nascimento da física quântica).

Materiais e recursos:

- Apresentação data-show (o nascimento da física quântica).
- Textos de apoio para os alunos.
- Fontes luminosas diferentes (lâmpião de gás e luz elétrica comum).

Momentos:

- O professor apresenta em linhas gerais o modelo corpuscular de Newton e o modelo ondulatório salientando que esses dois modelos são contraditórios.
- O professor chama a atenção para o fato de que no final do século XIX, período que antecede o nascimento da mecânica quântica, o modelo ondulatório era o modelo aceito pela comunidade científica.
- O professor mostra as duas fontes luminosas (gás e eletricidade) e pede para que os alunos as comparem e determinem qual é que mais ilumina, qual consome mais energia, etc. (o professor salienta a dificuldade de uma avaliação subjetiva e a necessidade de realizar medidas mais precisas para comparar diferentes fontes luminosas).
- O professor apresenta e contextualiza o momento histórico de nascimento da mecânica quântica (problema prático era comparar duas fontes de luz diferentes e daí a necessidade de se utilizar uma fonte padrão de comparação, a fundação do instituto de física do reino em Berlim, as medidas dos espectros etc.).

Bloco Temático: Trabalhando com os componentes ópticos do interferômetro de Mach-Zehnder

Informações gerais sobre o bloco:

No primeiro episódio temático o tema central das aulas baseia-se na observação do comportamento de um feixe luminoso emitido por uma fonte laser ao interagir com espelhos planos, semiespelhos, lentes e anteparos opacos (componentes ópticos básicos para a construção de um interferômetro de Mach-Zehnder clássico).

Nesse bloco os alunos devem “experimentar” com objetos reais e concretos (espelhos, semiespelhos etc.) paralelamente com objetos de pensamento (modelos propostos para explicar o comportamento da luz como, por exemplo, o raio luminoso, o modelo corpuscular de Newton e o modelo ondulatório) e, assim, perceberem a diferença entre essas classes de objetos.

Aula 3: (trabalhar propriedades de reflexão, refração e propagação da luz e a idéia de raio como modelo para a luz)

Objetivos:

- Os alunos devem observar o comportamento do feixe luminoso ao se propagar no espaço e serem capazes de perceber que: a luz se propaga em linha reta, o feixe de laser sofre uma dispersão pequena ao longo de seu percurso até atingir um anteparo opaco e que, ao atingir o anteparo, o raio luminoso produz uma mancha clara praticamente homogênea sobre o mesmo.
- Os alunos devem observar o comportamento da luz ao interagir com o espelho e serem capazes de perceber e expressar oralmente (de forma qualitativa) a lei da reflexão: o ângulo de incidência é igual o ângulo de reflexão.
- Os alunos devem observar o comportamento da luz ao interagir com o semiespelho e serem capazes de perceber e expressar oralmente o fato de que o feixe luminoso ao interagir com o semiespelho é dividido em dois feixes de intensidades aproximadamente iguais sendo que: o feixe que atravessa o semiespelho (feixe transmitido) sofre um desvio na sua direção de propagação e abandona o semiespelho numa direção de propagação paralela à da incidência inicial e o feixe refletido obedece a lei da reflexão.
- Os alunos devem utilizar o modelo de raio luminoso para esquematizar em um desenho o comportamento da luz ao interagir com o espelho e com o semiespelho.

- Os alunos devem ser capazes de diferenciar feixe e raio luminoso (feixe: algo real ligado a nossa percepção sensorial e raio: objeto construído mentalmente, sem dimensão).

Conteúdos:

- Reflexão, refração, transmissão e propagação do feixe de luz.
- Conceitos de feixe e raio luminoso.

Materiais e recursos:

- Componentes ópticos necessários para a construção de um interferômetro de Mach-Zehnder (fonte de laser, dois espelhos planos, dois semiespelhos, dois anteparos opacos).
- Talco ou pó de giz para refletir o feixe de laser.

Dicas para o professor:

- As atividades propostas no presente episódio temático devem, se possível, ser realizadas em uma sala escura.
- Se não houver material suficiente para que os alunos realizem as atividades propostas em grupos, o professor pode realizá-las como demonstração. Neste caso, se possível, usar uma câmera de vídeo para captar a imagem dos experimentos feitos pelo professor e projetá-la em uma tela para que todos os alunos possam observar e interagir com as ações do professor durante as demonstrações experimentais.
- ATENÇÃO: alertar os alunos para os perigos da utilização do laser (nunca olhar diretamente para o feixe!).

Momentos:

1) O professor propõe que os alunos realizem em grupos de aproximadamente 5 componentes:

- Projetar o feixe de laser sobre o espelho variando o ângulo de incidência.
OBS: para visualizar a trajetória do feixe pode-se espalhar um pouco de talco ou pó de giz na região.
- Observar o comportamento do feixe refletido buscando estabelecer uma relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão.
- Desenhar numa folha de papel o que foi observado.
- Repetir o procedimento descrito anteriormente utilizando um semiespelho (iniciar com ângulo de incidência de aproximadamente 45°) buscando estabelecer uma relação entre o feixe incidente e os feixes transmitidos e refletidos.

2) O professor faz as seguintes demonstrações em sala de aula (ou propõe que os alunos as realizem em grupos):

- Projetar o feixe de laser sobre um anteparo opaco colocado a aproximadamente 5 m da fonte.
- Comparar o diâmetro do feixe próximo a fonte com o diâmetro do feixe sobre o anteparo.
OBS: o laser não deve apresentar uma dispersão grande.
- Desenhar o que foi observado.
OBS: A intenção é que os alunos percebam que a noção de feixe se diferencia da noção de raio. Numa experiência de pensamento podemos reduzir a espessura do feixe de modo a obter um feixe tão estreito, que somente pode existir como uma construção geométrica. Esse não seria mais um feixe, mas sim um raio! A ideia é chamar a atenção dos alunos para o processo de modelagem do feixe transformando-o em raio e então estender essa discussão para o espelho, o semiespelho, os anteparos etc. O que é um espelho ideal? (não tem dimensão, não há perda de energia etc.).

Aula 4: (modelo corpuscular de Newton X modelo ondulatório)

Objetivos:

- Os alunos devem conhecer diferentes modelos para a luz: raio, o modelo corpuscular e o modelo ondulatório.

- Os alunos devem reconhecer as diferenças entre os modelos e perceber as limitações e os domínios de aplicação de cada modelo.

Conteúdos:

- Modelo corpuscular de Newton.
- Modelo ondulatório.

Materiais e recursos:

OBS: os alunos devem trazer como tarefa realizada extraclasse uma pequena pesquisa sobre o tema: modelo corpuscular e modelo ondulatório.

- Laser e um anteparo com duas fendas (experimento simples de dupla fenda).
- Uma lata de tinta spray e um anteparo com duas fendas (analogia ao experimento de dupla fenda).

Momentos:

- O professor retoma os resultados da aula anterior solicitando que os alunos consultem as anotações que fizeram quando observaram o comportamento da luz no espelho, no semiespelho e no anteparo opaco e consultem também a pesquisa que realizaram em casa.
- O professor divide a classe em dois grupos: “grupo onda” e “grupo partícula” e promove um debate entre os dois grupos propondo que: o grupo ondas tente explicar os fenômenos observados na aula anterior com o modelo ondulatório e o grupo partícula com o modelo corpuscular.

OBS: é essencial que os alunos tenham feito anteriormente em casa uma pesquisa sobre o modelo ondulatório e o modelo corpuscular.

- O professor sistematiza as discussões na lousa e mostra que o modelo corpuscular (de Newton) apresenta limitações para explicar o fenômeno de refração e de interferência.
- O professor mostra o comportamento das partículas de tinta no experimento análogo de dupla fenda realizado com tinta spray e contrapõe esse ao experimento de dupla fenda com laser (aparecimento de um padrão de interferência) salientando que o fenômeno de interferência não pode ser explicado com o modelo corpuscular.

OBS: como alternativa ao experimento com o spray pode-se utilizar também um tabuleiro de Galton com duas fendas.

Bloco temático: Montando e ajustando o interferômetro de Mach-Zehnder**Informações gerais sobre o bloco:**

No segundo episódio temático o conteúdo central das aulas é a montagem, ajuste e observação do interferômetro de Mach-Zehnder.

Neste bloco de aulas os alunos devem perceber que as observações em física são imediatas. Fazemos hipóteses a priori.

Aulas 5 e 6: (observar o interferômetro de Mach-Zehnder clássico e real)**Objetivos:**

- Montar o interferômetro de Mach-Zehnder.
- Observar os padrões de interferência (complementares).
- Adquirir habilidade experimental (ajuste no interferômetro).

Conteúdos:

- O interferômetro de Mach-Zehnder (trabalhar dois grupos: MZ real clássico e simulação do MZ).

Materiais e recursos:

- Apresentação (nascimento do interferômetro de MZ).
- KIT interferômetro de Mach-Zehnder real clássico.
- Simulação do interferômetro de MZ (software da universidade de Munique).

Momentos:

- - O professor apresenta brevemente o interferômetro de MZ e conta um pouco de sua história e de origem (a partir de um arranjo experimental do interferômetro de Jamin).

- O professor divide a classe em dois grupos: um grupo vai trabalhar com o interferômetro real clássico e o outro com o interferômetro virtual (no laboratório de informática).

Para o grupo que vai trabalhar com o interferômetro real clássico:

- O professor apresenta o interferômetro de MZ real clássico e salienta a formação de padrões de interferência complementares chamando a atenção para a validade do modelo ondulatório como modelo adequado para explicar o comportamento da luz.
- O professor desmonta o interferômetro e propõe que os alunos em grupo montem e ajustem o aparelho de modo a obterem padrões de interferência semelhantes aos observados anteriormente.
- O professor pede que os alunos desenhem o esquema do interferômetro numa folha de papel e proponham uma explicação para o aparecimento de interferência baseada no modelo ondulatório.

Para o grupo que vai trabalhar com o interferômetro virtual:

- Simulação do interferômetro (software livre).

Bloco temático: Transformando o interferômetro de Mach-Zehnder real clássico em um interferômetro ideal

Aula 7: (modelando o interferômetro de MZ)

Objetivos:

- Os alunos devem ser capazes de perceber e listar os fatores que devem ser desconsiderados e os que precisam ser considerados no processo de modelagem do interferômetro de MZ (transformação do interferômetro real clássico em um interferômetro ideal).

Conteúdos:

- Modelagem do interferômetro de MZ
- Laser

Materiais e recursos:

- KIT interferômetro de MZ real clássico.
- Apresentação data-show (esquema do interferômetro de MZ ideal clássico).
- Guia para relatório.

Momentos:

- O professor apresenta novamente o interferômetro real e o interferômetro esquematizado e propõe uma discussão entre os alunos visando levantar suas argumentações sobre o processo de modelagem do interferômetro (o que é espelho, semi-espelho ideal, o que significa que o interferômetro está ajustado, a necessidade de uma fonte laser, etc.).
- Os alunos trabalham em grupos completando o guia para o relatório.

Aula 8: (a matemática do interferômetro de MZ)

Objetivos:

- Os alunos devem compreender o funcionamento do interferômetro de MZ e do modelo ondulatório para a luz a partir de uma modelagem matemática do fenômeno.

Conteúdos:

- Modelagem matemática do interferômetro de MZ.

Materiais e recursos:

- Apresentação data-show (como funciona o interferômetro de MZ).
- Roteiro de trabalho (como funciona o interferômetro de MZ).

Momentos:

- O professor apresenta a modelagem matemática do interferômetro.
- Os alunos trabalham em grupos completando a folha de trabalho.

Bloco temático: Transformando o interferômetro de Mach-Zehnder clássico em um interferômetro quântico

Aula 9: (construindo um interferômetro quântico)

Objetivos:

- Os alunos devem ser capazes de perceber e listar os fatores que devem ser desconsiderados e os que precisam ser considerados no processo de transformação do interferômetro ideal clássico em um interferômetro ideal quântico (exemplificando: o feixe luminoso deve ser tênue o suficiente para que somente um único fóton de cada vez percorra o interferômetro, os anteparos devem ser substituídos por detectores sensíveis o suficiente para registrar o fóton, etc.).

Conteúdos:

- Interferômetro de MZ quântico.
- Dualidade onda-partícula.

Materiais e recursos:

- Apresentação data-show (como funciona o interferômetro de MZ quântico).
- Roteiro de trabalho (como funciona o interferômetro de MZ quântico).

Momentos:

- O professor retoma o esquema do interferômetro de MZ ideal clássico e discute com os alunos a transformação do interferômetro clássico em interferômetro quântico.
- O professor incentiva os alunos a perceberem o comportamento “estranho” do fóton e a problemática da dualidade onda-partícula.
- Os alunos trabalham em grupos completando o roteiro de trabalho.

Aula 10: (interpretações da mecânica quântica)

Objetivos:

- Os alunos devem conhecer quatro interpretações para o comportamento do fóton no interferômetro de MZ.
- Os alunos devem perceber que nenhuma das quatro interpretações explica o comportamento do fóton de forma completamente satisfatória.
- Os alunos devem reconhecer que, embora não exista uma interpretação completamente satisfatória para o comportamento dual dos objetos quânticos, a teoria quântica é a teoria física mais bem-sucedida desenvolvida até hoje pelos físicos e que essa teoria não só fornece previsões experimentais corretas como também possui aplicações práticas.

Conteúdos:

- Interpretações para o comportamento do fóton no interferômetro de MZ (interpretação corpuscular, ondulatória, dualista-realista, complementaridade).

Materiais e recursos:

- Apresentação data-show.
- Momentos:
 - O professor apresenta as diferentes interpretações.
 - O professor promove um debate entre os alunos. Os alunos trabalham em grupos e cada grupo deve defender uma das quatro interpretações apresentadas.
 - O professor sistematiza a aula, salientando que nenhuma das interpretações é totalmente satisfatória para explicar completamente o comportamento do fóton no interferômetro.

Aula 11: O sentido das coisas

Objetivos:

- Discutir a natureza da ciência e da realidade física (nova visão de mundo da física quântica).

Conteúdos:

- Natureza da ciência e noção de realidade na física.

Materiais e recursos: questionário da sequência proposta por Brockington (recurso de ensino 3)

Momentos:

- O professor promove o debate, iniciando a discussão a partir das hipóteses dos alunos a respeito do que observaram na sala.
- O professor sistematiza a sequência de aulas, retomando a discussão da primeira aula (o universo físico).

ANEXO C – TRANSCRIÇÕES DAS AULAS 10 E 11 DO 3º E.M. - TURMA I

Para esta turma as aulas 10 e 11 ocorreram sequencialmente, pois, nesse dia, o professor ministrou duas aulas seguidas para a turma.

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
001	Lucas: Professor.		
002	Professor: Mais alguém não me entregou ainda a atividade da última aula? Bom pessoal, presta atenção. Vocês tão recebendo uma folhinha e a gente vai agora tentar sintetizar as discussões que a fez ao longo do ano e tentar interpretar um pouquinho o que ta acontecendo de fato, ta? Pra isso a gente vai continuar explorando o nosso interferômetro, certo? Pra isso nós vamos combinar o seguinte, nós vamos tentar fazer dessa forma, vocês viram que eu tirei aí do campinho, não é avaliação, ta certo? Não é prova, nem nada, é apenas um questionário que a gente vai tentar então sintetizar as ideias. A gente vai tentar fazer da seguinte maneira, a gente vai começar a discutir e a medida que a discussão for avançando, eu vou dando um tempinho pra que vocês respondam, preencham o quadro, ta? E aí no finalzinho da aula as três ultimas questões, ta legal? Se não tiver dando certo isso, a gente faz toda a discussão e depois a gente completa a atividade. Não é pra copiar o que ta... O que vai aparecer no quadro, porque se não, não faz sentido. A gente vai conversar sobre e depois eu tiro da tela e a gente conversa, ta? Bom, na aula passada, nessa aula de hoje a gente começou a discutir um pouquinho o que a gente viu no interferômetro real e o que a gente viu na simulação. A gente vai explorar um pouquinho mais esse nosso interferômetro. Aí eu separei um pouquinho algumas imagens do nosso interferômetro. Então, já ta identificado. Então, os semiespelhos, que na verdade são vidros, né? A gente pode imaginar o semiespelho como sendo quando a gente olha pela janela ao entardecer ou então quando a gente olha pela manhã a gente, às vezes a gente enxerga nosso reflexo no espelho, mas também a gente enxerga o que ta lá do outro lado, ta? Tudo bem? Então, os dois semiespelhos e os dois espelhos. Foi esse o arranjo que a gente tem. Agora tem aí a imagem do que a gente... Ta bom, se fechar tudo fica muito escuro e a gente não consegue ver. Bom, aí eu separei então duas imagens, uma do interferômetro real e a outra do simulador, certo? Foi isso que a gente observou, certo? Foi isso que você viu, Bia?		Retomada da discussão da aula anterior e orientações para o desenvolvimento da aula atual

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
003	Beatriz: Não.		
004	Professor: Alguém enxergou uma figura parecida com essa do real?		Pergunta retórica
005	Priscila: Não.		
006	Professor: Ninguém?		
007	Alunos: Não.		
008	Professor: Nem naquela outra experiência que a gente usou só um laser e um tecido como rede de difração?		Idem
009	Aline: Sim... Eu.		
010	Professor: Que a gente projetou lá na parede ou no quadro? (03:55)		
011	André: Era assim, desse jeito	mostra a mão, indicando forma / tamanho com os dedos indicador e polegar direitos	Seriação
012	Professor: Era assim que tava? Ah, tirei. Não, é que eu ia apresentar pra vocês tinha uma outra imagem. Fala, André.		
013	André: Era tipo... Um monte. Um monte não, não sei...		Organização
014	Professor: Uma do lado da outra, não é isso?		
015	André: É.		
016	Professor: É que eu tirei a foto daqui agora, tá no outro computador. A outra possibilidade, tinha uma outra foto, ao invés da gente enxergar dessa forma, a gente enxergava mais ou menos isso aqui, como disse o Pedro (04:31) Também a gente tinha essa observação...(?) Bom, aí lá na nossa experiência, pedi pra que vocês identificassem. Era essa identificação que a gente tinha. E foi pedido pra vocês desenharem aí como é que era o caminho que tava sendo percorrido pela luz. E aí a simulação mostrava pra vocês como duas frentes de onda, certo? Aí a pergunta feita, não tá no textinho, não tá no roteiro, a gente colocou um anteparo aqui, certo? Se a gente colocasse o anteparo aqui, deste outro lado, o que a gente deveria ver? Qual a relação com essas duas figuras?		
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	Levantamento de hipóteses
020	Professor: Como que é, Vitor? Fala alto pra classe ouvir.		
021	Vitor: Se a gente colocasse o anteparo aqui e não aqui , seria o inverso do que a gente viu.	mostra as posições na carteira	Levantamento de hipóteses
022	Alunos como assim? [inaudível]		
023	Vitor:: seria o inverso do que a gente viu	gesticulando	

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
024	Professor: Todo mundo acha que é isso? Todo mundo acha que é a mesma coisa? E alguém sabe explicar por quê? Então olha, vamos imaginar... O que vocês tão me dizendo é isso, num anteparo a gente observa alguma coisa parecida com isso, certo? No outro, a gente vai enxergar o contrário, não é isso? [mostra uma folha e gesticula, apontando as diferenças] Elas seriam complementares porque se a gente juntasse as figuras, veria o quê? (07:20)		
025	Pedro: Um círculo		Levantamento de hipóteses O.E.: Definição
026	Professor: É isso. Ao invés de ver várias figuras, veria um círculo. Aí, agora a pergunta... Ronaldo! Alguém consegue me explicar porque isso? [inaudível] Mas por quê? Dá pra explicar por quê?		
027	Pedro: [inaudível] Eu consigo explicar o que é, mas porquê eu não sei.		O.E.: Definição
028	Professor: Não, nós não chegamos neste ponto ainda. [refere-se à explicação do que é o fenômeno] (07:57)		
029	Lucas: [quase inaudível, tentando explicar o que está acontecendo] é igual aquela experiência que a gente batia o dedo na água e fazia umas ondas, elas se aumentavam, aumentava não, elas ficavam juntas [entrelaçava os dedos das mãos] só que eu esqueci o nome do fenômeno		Justificativa O.E.: Apelo a exemplo
030	Professor: interferência de ondas?		
031	Lucas: É, acho que é. Só que faz mil e anos, tá ligado.		
032	Professor: Pessoal, a gente tá dizendo aqui oh... A gente tá observando nesse ponto a interferência das ondas, certo? E a gente enxerga aqueles pontos coloridos quando a interferência é construtiva. O que significa isso? As duas frentes de onda que estão se encontrando, estão na mesma fase, então elas se somam e você vê o ponto claro. Quando elas estão em fases opostas, a gente vê o que? A interferência é destrutiva, elas se anulam, não é isso? O que acontece desse ponto pra esse é uma inversão dessas fases, tá?		
033	Bruna: (09:00)O que você tá falando é a explicação do preto, é isso?		Explicação
034	Professor: Ahn?		
035	Bruna: Tem inversão de fase, porque a parte que reflete no semiespelho tá ...		Explicação
036	Professor: Tá numa fase...		
037	Bruna: numa fase diferente da que parte que passou direto		Explicação O.E.: plausibilidade

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
038	Professor: Isso. E aí o que vai ta acontecendo? Vamos supor que a fase 1 ta vindo pra cá e a 2 pra cá, certo? [mostra no quadro] Nesse caso aqui, eu vou pegar a 1 deste, né? E vai interferir com a outra que ta aqui, não é isso? Então o que ta acontecendo é que ela ta pegando os lados simétricos, tudo bem? Bom, aí a gente mudou pra fóton, como vocês bem responderam na ultima aula, o que acontece com o padrão da figura? O resultado.		
039	Lucas: (10:00) Igual, mas pontinhos		Classificação O.E.: classificação
040	Professor: É o mesmo, não é? O que ta acontecendo só é que a gente aqui vai... Quando a gente manda com o laser forma imagem instantaneamente, não é isso? Todo o fóton... Ele vai se distribuindo, né? E dependendo da quantidade que a gente tem aí a gente vai acabar observando a linha, certo? Até aqui nenhuma novidade, né? Tudo bem aí, Guilherme? Explica essas duas figuras aí pra mim, por favor. Fala aí, Daniel.		
041	Daniel: O canto de lá é...		
042	Professor: O canto de lá você diz a direita de quem ta olhando?		
043	Daniel: Isso... Não, a esquerda de quem ta olhando.		
044	Alunos: Inaudível		
045	Professor: Vamos chamar esse de 1 e esse de 2.		
046	Daniel: Ta. O 2 é de fóton e o de cá onda		Levantamento de hipótese
047	Professor: O que eles têm de semelhante?		
048	Daniel: O desenho...		Organização O.E. Indução
049	Professor: A imagem? Ta... E o que vai ter de diferente?		
050	Daniel: É como se forma.		Classificação O.E.: Causalidade
051	Professor: É o que?		
052	Lucas: Gradativamente, professor, conforme os fótons vão chegando. (11:25)		Teste de hipótese O.E.: Causalidade
053	Professor: dessa maneira [aponta para uma das imagens], a formação, ela é instantânea, né? E nessa aqui [aponta a outra imagem] ele vai se formando conforme vai acontecendo a chegada das partículas.		
054	Aluno: No laser os fótons estão todos juntinhos?		Levantamento de hipótese O.E.: Causalidade
055	Professor: Não, laser a gente tem que pensar na luz sendo onda. Na verdade, ora como onda, ora como partícula. Bom, e aqui? Beatriz S, compare essas duas figuras.		
056	Beatriz: Na primeira, são circunferências concêntricas e na segunda são conjuntos de pontinhos...		Previsão O.E.: definição

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
057	Professor: E? Por quê?		
058	Beatriz: Por que...		
059	Professor: Qual a relação? Por que forma essa figura aqui e não aqui?		
060	Beatriz: Porque na primeira tem interferência.		Explicação O.E.: definição
061	Lucas: Professor!		
062	(12:28) alunos: [inaudível]		
063	Professor: Fala, Lucas!		
064	Lucas: Então, nos primeiros círculos as duas se encontram, os dois raios estão juntos (12:37)		Explicação O.E.: plausibilidade
065	Professor: Pessoal!		
066	Lucas: Enquanto que na outra figura como tem um detector ele impede a passagem de um dos caminhos de chegar no anteparo, então só tem um caminho que o fóton pode passar. Por isso, ele não forma a figura. (12:52)		Explicação O.E. plausibilidade
067	Professor: Tá. Então, nesse caso, não tem interferência e aqui] a gente tem interferência, não é isso? Bom, agora o seguinte, o que a gente veio conversando ao longo do ano inteiro é que a física pode explicar as coisas de duas maneiras, ou como onda ou como partícula.	aponta uma imagem para a outra imagem	
068	Beatriz: A luz.		
069	Professor: Não, as coisas, no geral. Pra luz, em particular, nós chegamos numa encruzilhada. Nós chegamos numa encruzilhada agora A Bia, se eu não me engano na aula passada, no finalzinho da aula, colocou exatamente qual era o nosso problema. Como é que eu explico, se eu pensar que a luz é uma partícula e o fóton é uma partícula, como é que eu explico a interferência pra um único fóton? Então, é isso que a mecânica quântica vai tentar conversar com a gente		
070	Vitor: (14:22) explicar como eles passam		
071	Professor: Não, um único. Como é que um fóton interfere com ele mesmo. [inaudível, vários alunos falam ao mesmo tempo] Não, não, peraí. Pessoal, diferente do que eles tão dizendo aqui, não é quando a gente tem assim, ah, eu tenho a luz interagindo com outra coisa, aí você tá aumentando as variáveis. Nós estamos pensando assim, olha... Foi isso que a Bia discutiu aqui na ultima aula. Como é que eu explico interferência para um único fóton? Ele com ele mesmo. Na nossa figurinha lá, se eu lançar apenas um único fóton, entendeu? Diferente do que a gente tinha no real, que a gente manda um feixe, a gente tá mandando milhões ao mesmo tempo e aí eu posso continuar pensando em bolinhas colidindo uma com a outra, né? Agora não, eu tenho um único E nesse único eu continuo tendo interferência.		

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
072	Beatriz: Ele se dividiu ao meio.		Levantamento de hipótese O.E.: consistência (com outro conhecimento)
073	Professor: Quando ele passa lá no semiespelho ele se divide em duas partes?		
074	Beatriz: É...		
075	Professor: Mas duas partes do que? De partícula? Duas partes de onda? Uma parte partícula outra parte onda?		
076	Beatriz: Acho que as duas partes partícula.		Levantamento de hipótese O.E.: consistência (com outro conhecimento)
077	Professor: Mas aí se ele se dividir ao meio, eu deixo de ter um fóton e tenho dois. Dois meio fótons...		
078	Beatriz: Aí depois eles se juntam.		Levantamento de hipótese O.E.: consistência
079	Professor: Junta aqui embaixo de novo?		
080	Beatriz: É, os dois lados.		Previsão
081	Professor: mas como é que com eles juntos eu posso ter no anteparo dos dois lados? Aqui... Olha, a Bia tá dizendo o seguinte, aqui ele se divide, certo? Aí vem pra cá e vem pra cá. Quando chega aqui, se eles se juntam, como a Bia tá falando, eu teria que ter observação em um único anteparo, mas eu consigo medir nos dois ao mesmo tempo.		
082	Bruna: (16:15) Eu estava pensando que ali no meio eles se dividem de novo...		Levantamento de hipótese O.E.: consistência (com outro conhecimento)
083	Professor: Meninos, por favor!		
084	Bruna: Vai passar uma parte ali e a outra vai por ali, ó [aponta a figura]		Teste de hipótese O.E.: consistência (com outro conhecimento)
085	Professor: Dois que vem pra cá e dois que vem pra cá?		
086	Bruna: Não sei, mas foi o que pensei.		Previsão O.E.: consistência (com outro conhecimento)
087	Professor: Pode ser isso, gente? Bom, aqui ele se divide em dois, metade vem pra cá e a outra metade vem pra cá. Quando chega aqui... Ou tenho quatro ou tenho dois de novo, né? Porque eu posso pegar assim, metade desse que vem pra cá com a metade desse que forma um. Aí metade vem pra cá... Eu posso ter quatro partes, mas elas são agrupadas duas aqui, duas aqui? Pode ser isso?		
088	Pedro: Inaudível.		

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
089	Professor: Continua tendo colisão. Então pode ser o que, Pedro?		
090	Pedro: Não sei.		
091	Professor: Eu não to dizendo que não pode, eu só to perguntando...		
092	Pedro: (17:17) vai um pra cada lado	mostra afastamento com as mãos	
093	Professor: E aí?		
094	Beatriz: inaudível		
095	Pedro: um espermatozoide		Explicação O.E.: apelo a analogia
096	Beatriz: Não é uma célula.		
097	Professor: E aí? Como é que fica a situação? Bom, olhando pro nosso quadrinho... Oi.		
098	Beatriz P: (17:42) tinha [inaudível]		
099	Professor: Tinha também. Vamos pensar o seguinte, olhando aí pro quadrinho de vocês, tá? Existem várias interpretações pra essa situação, tá? A mecânica quântica apresenta quatro em particular. Elas são as quatro mais discutidas. Quatro possíveis pensamentos pra gente tentar entender a natureza da luz.		
100	Beatriz: Existem outros?		
101	Professor: Existem, mas assim, as quatro principais são essas aqui. Não é pra copiar.		
102	Bruna: Tá.		
103	Professor: Tá né? Porque eu pedi...		
104	Bruna: Eu já parei.		
105	Professor: Já tava com a caneta pronta... Vamos pensar antes da gente olhar lá o que tá escrito. A gente tem uma interpretação que recebe o nome de ondulatória. Segundo essa interpretação a luz é?		
106	Alunos: Onda.		
107	Professor: A gente tem uma interpretação que é a corpuscular.		
108	Lucas: Partícula? Os fótons?		
109	Professor: São fótons? Fóton é uma partícula de luz? Existe uma interpretação... Vou pular pra última... Dualista.		
110	Bruna: Ora como onda e como partícula.		
111	Beatriz: Onda e Partícula.		
112	Lucas: É onda e partícula?		
113	Professor: Que ela pode ser as duas coisas ao mesmo tempo? É uma partícula que é associada com uma onda ou uma onda com uma partícula...		
114	Alunos: Inaudível.		
115	Pedro: 19:29 Você falou que não tem como, que não pode ser onda e partícula ao mesmo tempo		
116	Professor: Então, aí cai nessa situação que o Pedro tá falando, né?		
117	Beatriz: ela é uma coisa e outra.		
118	Professor: É... Pra mecânica clássica isso não é possível.		

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
119	Beatriz: Mas e em Quântica...		
120	Pedro: Acho que é		
121	Professor: Mas em física moderna a gente vai ter que arrumar uma nova explicação e essa nova explicação então pode ser que ela seja as duas coisas ao mesmo tempo?		
122	Beatriz S: Acho que sim		
123	Professor: E complementaridade?		
124	Pedro: As duas se complementam		
125	Bruna: uma completa a outra		
126	Professor: Então, segundo a Beatriz...		
127	Pedro: inaudível		
128	Bruna: Pedro, para!		
129	Professor: Não, mas essa ideia que o Pedro ta falando tem mais a ver com a dualista, né? Num é?		
130	Pedro: É...		
131	Lucas: Professor, e se eu disser que a luz é partícula...		
132	Professor: Silêncio, eu não estou ouvindo o Lucas que ta quase do meu lado. Fala, Lucas.		
133	Lucas: E se eu falar que a luz é partícula com fatores ondulatórios ou é onda com fator de partícula?		
134	Professor: Aí nesse caso, você acha que vai ta dentro de qual dessas interpretações?		
135	Lucas: Então, mas assim, no meu raciocínio ela segue um caminho, mas só que o que complementa ela é o outro.		
136	Professor: Dá pra encaixar, não dá? Dentro de uma dessas interpretações. Fala aí, Karina.		
137	Karina: Não sei.		
138	Vitor: Posso tentar?		
139	Professor: Pode.		
140	Vitor: Tipo... (21:06)microscopicamente é uma partícula, macroscopicamente ela é uma onda		
141	Professor: Ta. Segundo o Vitor, se a gente olhar lá no microscópio... Microscópio não, se olhar no mundo dos micro, né? Se for pensar nela lá, enquanto natureza mesmo, na sua formação ela é?		
142	Vitor: Partícula.		
143	Professor: Partícula. Mas se a gente observar de fora, no macroscópico, é isso? Aí ela é onda. Pode ser isso?		
144	Beatriz: 21:48 depende de como se olha.		
145	Professor: Pra você isso é complementaridade?		
146	Beatriz: É?		
147	Vitor: Sim.		
148	Bruna: Pra mim não é.		
149	Professor: Pra você é o que isso?		
150	Bruna: Porque aí ela ta sendo duas coisas ao mesmo tempo. Complementaridade é quando ela ta sendo ora uma coisa ora outra.		
151	Victor: 22:07 Então...		

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
152	Bruna: Não. Porque o que eu to falando... No micro... Olha, no mesmo momento quando você analisa no micro ela é partícula e no macro ela é onda. Você ta pensando no mesmo momento, então na mesma coisa ela ta sendo duas coisas ao mesmo tempo, no mesmo momento ela ta sendo duas coisas ao mesmo tempo. Mas pra ser complementar no momento "x" ela ta sendo uma coisa e no momento "y" ela ta sendo outra, entendeu?		
153	Aluno A: Depende da perspectiva...		
154	Alunos: Inaudível.		
155	Professor: Vamos falar um por vez, gente. Ta boa a discussão, mas vamos falar um por vez.		
156	22:43 vários: [inaudível]		
157	Lucas: Então, mas não pode ser só a energia que ta passando de uma partícula pra outra?		
158	Professor: Não, a onda... Mas não é energia, é perturbação. A onda carrega energia.		
159	Lucas: A onda carrega energia?		
160	Aline: Eu não sei... Eu acho que é que nem ele falou. Uma hora ela se comporta de uma forma, como onda e outra hora como partícula (23:10)		
161	Professor: Mas aí se ela se comporta ora de um jeito, ora de outro ela é o que?		
162	Aline: Complementaridade...		
163	Professor: Não, ela é o que? Olha, pra primeira vocês falaram assim é uma onda. Pra segunda vocês falaram assim é uma partícula. Pra ultima vocês tão falando que é as duas coisas ao mesmo tempo. E na complementaridade ela é o que?		
164	Aline (23:35) não sei		
165	Lucas: Ah... Depois de tantos experimentos pra ver se é onda, onda mesmo ou se é partícula, partícula mesmo... Mas o que aconteceu, acabou ocorrendo fatores que defendiam 100% que é onda enquanto que outro defendia 100% que era partícula. Então, aí eu pensei, através disso, a onda pensando num só ele recebe complemento de ambas as partes. Ela não pode ser definida só como onda, nem só como partícula.		
166	Professor: Então a gente não tem definição pra esse caso?		
167	Rafaela: Não.		
168	Professor: Não sei, to falando pelo Lucas.		
169	Rafaela: Vamos passar pra próxima.		
170	Professor: Vamos deixar em branco por enquanto?		
171	Rafaela: Vamos.		
172	Lucas: Não		
173	Bruna: Não.		
174	Lucas: Você pode colocar aquele negócio... Inaudível.		

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
175	Professor: Vamos pra linha de baixo. Pra cada uma dessas interpretações, como é que a gente, como é que a gente explica a experiência do interferômetro? Supondo que a gente... Vamos explicar o interferômetro ideal, já que nem todo mundo conseguiu ver no real. Como é que a gente explica a figura? Essa figura 1 que tá ali. Se é uma onda, como é que a gente pode explicar a interferência?		
176	Bruna: Inaudível.		
177	Professor: Fala alto.		
178	Bruna: Inaudível.		
179	Professor: Não entendi.		
180	Beatriz: Aquele negócio de ondas destrutivas e construtivas.		
181	Professor: Ah, aquele negócio de ondas construtivas e destrutivas, foi isso que você falou?		
182	Bruna: É.		
183	Professor: Ainda bem que tem um amplificador. Tá. É assim que todo mundo acha? Eu consigo explicar a interferência como sendo duas ondas... Fase igual constrói, fases diferentes elas se anulam, é isso? Alguém tem outra ideia pra explicar isso?		
184	(25:45) [inaudível]		
185	Bruna: É... Pra ter interferência tem que ter duas ondas. Quando elas tão na mesma fase, você vai ter a interferência construtiva que vai aumentar. Agora quando tá tendo... De um lado você tá tendo a volzinha assim e do outro ao contrário vai ser destrutiva, então vai diminuir. Se forem iguais os valores vai acabar com a onda. Isso, se forem ondas, agora se for complementar, aí eu não sei explicar. (26:25)		
186	Professor: E como partícula? Como é que a gente explica isso? Alguém que não falou ainda... Felipe, Priscila, Talita, John... Como é que eu explico essa interferência se for partícula?		
187	Felipe: parte é onda e parte é partícula...		
188	Alunos: mas isso é ondulatória [Inaudível].		
189	Professor: Calma, deixa o rapaz pensar.		
190	Beatriz: (27:13) A da complementaridade...		
191	Professor: Você tá pulando a pergunta Beatriz. Se a gente juntasse a ideia que o Felipe tá lançando com o que a Bia tinha dito a pouco, a ideia da divisão, será que daria pra explicar? E vamos falar baixo pra não acordar a Zineck. E aí? Dá pra explicar como... Será que dá? Eu pego a partícula, quando ela passa ali, ela se divide, depois na hora que elas se encontram elas vão colidir, se juntam um pouco, tal... O que a gente tava discutindo antes, aí junta o que o Felipe tava conversando. Pode ser um caminho? Pessoas? Fala aí, Carlos! Sem comentários?		
192	Carlos: isso aí.		

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
193	Professor: Fala aí Bia, o que você queria explicar então da... Como é que você explica o interferômetro?		
194	Alunos: Inaudível.		
195	Professor: Fala, Bia.		
196	Beatriz: Ele ta falando aqui [inaudível] (28:40)		
197	Professor: Não, mas como é que você explica interferência?		
198	Beatriz: Ah...		
199	Professor: Pensando na complementaridade.		
200	Beatriz: Não sei...		
201	Professor: Falem mais.		
202	Alunos: (29:05) Estamos tentando...		
203	Professor: E aí? Ta bom, vamos pro ultimo então. Dualista-realista. Vocês disseram que... Nossa!		
204	Alunos: Inaudível.		
205	Professor: É... Dualista-realista vocês falaram que a luz era as duas coisas ao mesmo tempo. A interferência acaba sendo o que? Como é que eu explico a interferência na dualista? E aí, pessoal? Pra última interpretação vocês disseram que a luz era as duas coisas ao mesmo tempo, onda e partícula.		
206	Bruna: Inaudível.		
207	Professor: Nós pulamos a complementaridade.		
208	Bruna: 30:10 [inaudível]		
209	Professor: Falou. A gente juntou a ideia do Felipe com o que a Bia tinha dito antes da ideia de dividir o fóton no meio e tal...		
210	Bruna: 30:20 foton se dividindo		
211	Professore: Com o que?		
212	Bruna: Fóton se dividindo.		
213	Professor: Isso. E depois a colisão deles foi o que o Felipe tinha dito àquela hora. E aí? Se ela é as duas coisas ao mesmo tempo na quarta interpretação como é que eu explico a interferência? Ela vai se comportar como o que?		
214	Vitor: Os dois.		
215	Professor: Mas a gente não falou que interferência só acontece quando tem onda?		
216	Bruna: 30:53 [inaudível]		

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
217	Professor: Não, antes, quando a gente teve aquele problema da interferência. Que não dava pra explicar como sendo partícula simplesmente. Aqui só falou que é uma partícula diferente, não é a mesma partícula, não dá pra pensar a partícula como a gente pensava antes da bolinha, com a massa, se for pensar nessa partícula tem algo que não tá certo. Tem que ser uma outra partícula diferente. Mas agora neste caso aqui ele tá dizendo que ela é onda e partícula ao mesmo tempo. Fica em branco ainda? Vamos... Agora não anotem, por favor. Eu vou apresentar pra vocês essas quatro interpretações. E aí tá dizendo o seguinte... Se a gente interpretar a luz como sendo onda, a gente vai explicar a interferência, que essa onda se divide em dois meio fótons no primeiro semiespelho, tá certo? E eles vão se recombinar lá no segundo como se fosse uma onda, né? Produzindo a interferência que a gente observa lá, certo? Essa interpretação que a Bia e o Felipe estavam colocando agora pouco é a interpretação pra onda. Se a gente tá pensando como		
218	32:34 Beatriz: foi o que eu falei. O fóton é onda		
219	Professor: O fóton como sendo uma onda, certo? O fóton é uma onda e aí você tem o quê? Você divide ao meio no primeiro semiespelho, quando ele chega no segundo semiespelho ele se junta novamente e aí a gente tem a interferência. Agora, na segunda interpretação o fóton é uma partícula e aí ela não se divide nunca, tá certo?		
220	Beatriz: Por que uma partícula não se divide?		
221	Professor: É a menor porção que a gente pode ter. E aí neste caso, qual o único fóton... Ah... Como é que eu vou explicar a interferência?		
222	Lucas: Um único fóton é uma única partícula...		
223	Professor: Ahn?		
224	Lucas: Pra um só fóton...		
225	Professor: Pra um único fóton.		
226	Lucas: Pra um fóton é só um caminho, mas pra vários você pode ter mais de um.		
227	Professor: Não entendi.		
228	Lucas: Então, mas tem a possibilidade de ter mais de um caminho, porque tem mais de um...		
229	Professor: Então, um único fóton segue...		
230	Lucas: Um caminho...		
2231	Professor: Um caminho. Pra um único fóton o que acontece? Como é que eu enxergo? Como é que eu consigo ver a interferência?		
232	Lucas: Não vê, só segue um caminho.		
234	Professor: Ele vai seguir um único caminho, ele vai tá lá e o que a gente vai tá observando, a gente vai ter mais um. Aí ele pode ser refletido ou transmitido passando por lá, tá? Mas a gente não vai ter...		
235	Lucas: Professor!		

TURNOS	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
236	Professor: Oi.		
237	Lucas: Colocando aí mais de um fóton como partícula (33:56)		
238	Professor: Então, mais aí pra mais de um a gente pode explicar como onda ou como partícula. Tem vários ali, aí eu posso pegar o raciocínio que eles fizeram lá das colisões, tá? Dualista realista, o fóton ele tem duas partes. É como se a gente tivesse, pensando lá na analogia que você tava fazendo agora pouco com a Biologia, vamos pensar num espermatozoide. Então você tem lá uma particulazinha e um rabinho lá que é a onda que tá associada, tá? Na interpretação dualista realista, a gente tem, então, a partícula é um surfista que tá viajando numa onda. Então tem uma partícula que tá caminhando numa onda, certo? Então neste caso a gente tem, né? A luz, ela é duas coisas ao mesmo tempo, que era a previsão de vocês dois, certo? E aí como é que eu vou explicar a interferência? A onda pode se separar lá no semiespelho, e aí a gente vai ter... Ela vai recombinar depois lá na frente. Eu consigo explicar com a parte onda, né? Do fóton.		
239	Bruna: (35:09) O fóton segue como onda		
240	Professor: Ele segue um caminho onde eu consigo detectar e a onda pode seguir ali pelo outro lado. Eles se separam ali, depois se recombina. Tudo bem? Certo, Carlos? O que foi mesmo que a Bia tinha perguntado?		
241	Carlos: Não ouvi, Professor.		
242	Professor: Pra variar, né? Nas últimas cinco aulas isso tem acontecido.		
243	Carlos: Inaudível.		
244	Professor: Quer que eu lembre? Minha memória tá bem. No LIEA você ficou conversando no cantinho lá (35:40) Na aula passada eu chamei sua atenção e da Karina que vocês estavam conversando, você tava fazendo um desenho, até entregou pra Bia, tá certo? Essa é a terceira aula, quer mais duas pra trás? Eu lembro.		
245	Carlos: Não, tá bom só.		
246	Alunos: Inaudível.		

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
247	Professor: Gente, interpretação da complementaridade, tá certo? Voltamos às discussões que estavam acontecendo agora pouco, tá? O fóton ora vai se manifestar como onda, ora como partícula, tá certo? Mais nunca ao mesmo tempo. Essa é a diferença que a gente encontra entre os dois. Na dualista realista o fóton é onda e partícula ao mesmo tempo. Eu tenho uma partícula com uma onda associada. Na interpretação da complementaridade, ora é de um jeito, ora de outro. E aí, vocês dois na hora que estavam comentando, né? Fizeram essa discussão. E aí o arranjo que a gente tem ali, a gente tem observação como? Como o que? Como onda e quando a gente põe o detector o que acontece? Ele tá interpretando como partícula, deixa de ter interferência. Na hora que a gente tava fazendo lá a simulação, quando a gente tá observando a interferência, qual é o comportamento que eu to eu to vendo ali da complementaridade? Como onda, certo? Agora, quando eu ponho o detector lá, o que acontece? Vai interagir o detector com o fóton que tá passando. Aquele fóton ali vai ter um comportamento de partícula e aí ele é absorvido ali e a gente não tem mais a interferência. Agora vocês têm que completar aí o quadro e tentar encaixar essas quatro afirmações pra cada uma dessas interpretações. Olha, “precisando de uma nova lógica”. Essa interpretação, essa frase, se adéqua a qual dessas interpretações? Ondulatória, corpuscular, complementaridade... “Quando o fóton se divide, quando o fóton decide se é onda ou partícula, só podemos falar na natureza da luz depois que a gente fizer a medição.” Essa afirmação é corpuscular, é dualista...		
248	Bruna: (38:14) é complementaridade		
249	Professor: Ahn? Não, isso vocês só vão responder pra mim. No papel vocês vão colocar só essas questões que tão. Agora aqui...		
250	Beatriz: A segunda é complementaridade.		
251	Professor: Todo mundo concorda que a segunda é complementaridade?		
252	Felipe: Sim.		
253	Professor: Eu só posso falar da natureza da luz depois que eu fizer a medição?		
254	Beatriz: Essa é a terceira.		
255	38:35		
256	Professor: “Nunca um meio fóton foi detectado.” Isso é a terceira?		
257	38:40 ele tá perguntando.		
258	Professor: Oh, nós temos quatro interpretações, cada uma dessas afirmações se refere a uma dessas interpretações. Eu quero que vocês associem essas frases a essas interpretações.		
259	Aline: A última é dualista.		
260	Felipe: Meio fóton (38:59)		

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
261	Aline: A última é dualista.		
262	Professor: A que se referem cada uma delas, vamos lá?		
263	Lucas: (39:24)A um é ondulatória. É uma diferente da outra, professor.		
264	Professor: Não, eu quero saber a que se refere, não to falando que é.		
265	Lucas: Ah sim.		
266	Professor: Eu to falando assim a quais interpretações essas afirmações se referem.		
267	39:40 Lucas: entendi		
268	Professor: Um, dois, três, quatro, certo? Então a gente tem interpretação...		
269	40:00 Aluno: interpretação... dualista...		
270	Professor: Quais dessas afirmações dizem respeito...		
271	Aline: A ultima é dualista realista.		
272	Professor: A quarta é dualista realista? É isso?		
273	Aline: É.		
274	40:35 Alunos: É		
275	Professor: Mas tem mais alguém aqui que ta dizendo que a primeira também é.		
276	Bruna: 40:45 inaudível. É a um e a quatro		
277	Professor: É... Qual delas fala sobre, né? Onda e partícula juntas?		
278	Aline: Dualista.		
279	Professor: É, que ele fala que tem então uma partícula surfando numa onda. Qual que fala sobre isso?		
280	Alunos: Inaudível.		
281	Professor: Como é que é? A dois?		
282	Felipe: A dois é complementaridade.		
283	41:41 Alunos: A três é ondulatória e a um é dualidade		
284	Professor: É isso? É isso, povo? Vamos conferir? "Nunca um meio fóton foi detectado", ta certo? Pensando na gente dividir a onda em duas partes, ta certo? Na teoria corpuscular a gente não consegue explicar então a gente precisa de uma lógica nova, não é isso? Pensando como sendo partícula, que ela é invisível esse tipo de coisa, então eu preciso de uma nova lógica pra explicar a partícula, pra explicar essa interferência, ta? Pra um único fóton a gente não conseguiu dar explicação. Onda vazia caminhando, né? Numa partícula... A partícula caminhando nessa onda é dualista realista. E esse aqui é complementar por quê? Porque eu só vou ter informação da natureza da luz depois de medir. Quando eu to vendo a luz eu não sei se ela é onda ou se ela é partícula. Se eu observo interferência eu to me referindo a quê?		
285	Beatriz: Onda.		
286	Professor: A onda. Se eu observo efeito fotoelétrico?		
287	Beatriz: Partícula.		

TURNO	FALAS TRANSCRITAS	GESTOS	INDICADORES AC / BREVE ANÁLISE
288	Bruna: Mas como que ele explica o (43:00)		
289	Professor: Não explica, o que vai dizer pra essa interpretação é que eu não sei qual é a natureza, eu só consigo obter informação disso depois te der feito a medida.		
290	Bruna: Eles não explicam (43:18)		
291	Professor: É, aí porque se comporta de uma maneira diferente é um campo de atuação pra... Pro próximo (?) né Beatriz Sanches?		
292	Alunos: Inaudível.		
293	Professor: Vou até mandar um e-mail pro O. lá dizendo que você já se decidiu, certo? Pessoal, finalzinho da aula, respondam as questões, completem os quadros e me entreguem, certo?		
294	Beatriz: O quê? Pra próxima aula?		
295	Professor: Finalzinho desta aula, é pra acabar agora, já, nesse instante.		
296	Beatriz: Passa as notas.		
297	Karina: Vamos fazer juntos.		
298	Alunos: Inaudível.		
299	Professor: Agora é a hora de vocês anotarem.		
300	43:58 Aluno: e as notas?		
301	Professor: Vou falando as notas enquanto isso? Eu não tenho as notas do estudo do meio ainda.		
302	Alunos: Inaudível.		
303	Professor: Tem recuperação amanhã, é o ultimo dia de recuperação amanhã, para aqueles que estão de recuperação ainda. A prova de recuperação é amanhã.		
304	Alunos: Inaudível.		
305	Professor: Eu falo e o que vai acontecer... A condição pra eu falar é vocês entregarem essa folha aí e tirar PS, certo?		
306	Lucas: Ta bom.		
307	Professor: Dois, quatro, seis... Olha pessoal, a informação que eu consigo passar pra vocês é com nove de doze conceitos, ta? Faltam as atividades do estudo do meio ainda pra passar pra vocês.		
307	Encerramento da aula. Alunos fazendo atividade e professor passando as notas.		

ANEXO D – REGISTRO ESCRITO TURMA I

01 – ALINE

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	Ondas	Partículas	Onda ou Partícula, mas nunca os dois ao mesmo tempo.	Objeto Quântico composto por um fóton e sua onda associada.
Explicação da experiência do interferômetro	A	B	C	D
Explicação para um fóton	O fóton pode se dividir em dois "meio-fótons". onda	O fóton é uma partícula.	NÃO há explicação para o fóton, nesta interpretação.	O fóton é uma partícula que possui uma onda associada a ele.

② Eu acho que a luz tem várias interpretações, porque ela não tem uma definição certa, ela pode ser várias "coisas", não tem apenas uma interpretação, tem comportamentos diferentes, ora como onda ora como partícula.

③ A explicação que + me agrada é a de complementaridade, pois aí ela é uma "coisa" onda ou outra partícula, é a explicação mais simples.

④ NA frente

① A. O fóton se divide em duas partes, uma das duas é detectada e a outra desaparece.

B. O fóton segue um caminho ou o outro, podendo chegar em B₁ ou B₂.

C - Se o caminho for diferente, será partícula e se não for, será onda que require os dois caminhos, pois está dividida.

D - O fóton segue um caminho bem definido como partícula, porém se ele parar sobre o que é depois de medido, se não for medido não ele para sobre.

02 – ANNA CAROLINA

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	onda	partícula	não pode ser os 2 juntos (ondulatório ou corpuscular)	pode ser ambos (ondulatório e corpuscular)
Explicação da experiência do interferômetro	o pacote de onda se divide em 2 partes.	sai de um caminho e chega no outro	a mesma coisa do corpuscular, sai de um caminho e chega no outro.	os dois seguem o caminho ao mesmo tempo, pois se dividem em 2 partes
Explicação para um fóton	o fóton se divide em 2, assim será mais fóton.	o fóton é uma partícula.	o fóton pode ser ondulatório ou corpuscular.	o fóton e sua onda associada.

2- Porque quando estudamos o efeito fotoelétrico ficamos em dúvida quanto à natureza da luz: afinal, a luz é uma onda, como vimos nas explicações sobre a cor dos corpos, os espectros e a interferência, ou a luz é uma partícula, chamada fóton.

3- A melhor interpretação seria ondulatória, porque explica a precisão do fóton, assim, podemos compreender os experimentos e ter a certeza das coisas, através da onda.

4- Não, porque ele não existe, pois precisamos olhar o objeto e interagir com ele para ele poder existir.

03 – ANGÉLICA

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	Onda	Partículo	ondulatória ou corpuscular.	onda ou partícula
Explicação da experiência do interferômetro	"efeito de onda"	o partícula segue o caminho A e chega em D ₂	o fenômeno considerado como corpuscular.	o partícula segue os caminhos A e B mas termina pelo ponto observado que surge de dois caminhos ao mesmo tempo, isto se dá em dois pontos.
Explicação para um fóton	"dividido em dois" "meio fóton"	partícula	um fóton pode ser ondulatório ou corpuscular. nunca os dois ao mesmo tempo	emposto por dois pontos o fóton e sua onda considerada

2) Ao estudarmos o efeito fotoelétrico, a natureza da luz - a mesma coisa como vimos nos experimentos sobre as cores dos corpos, o espectro e a interferência, ou a luz é uma partícula (fóton).

3) a luz pode ser interpretada como corpuscular.

4) Sim, o pó está lá, pois sabemos o pó e sabemos que ele está, o corpo só não pode ser ao mesmo tempo partícula e onda.

04 – BARBARA

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	onda	partícula	onda ou partícula	onda e partícula
Explicação da experiência do interferômetro	(A)	(B)	(C)	(D)
Explicação para um fóton	O fóton é uma onda que se divide em dois	O fóton é uma partícula	não se sabe	fóton é uma partícula com uma onda associada a ele.

Tempo a corrigir

1. (A) Na teoria Ondulatória o pacote de fótons é uma onda, que se divide em duas e quando uma é detectada e no final se encontram e causa a interferência.

(B) Partícula - individual percorre um caminho único.

(C) Depende da observação pode se comportar como onda e partícula.

(D) Existem uma onda e uma partícula "surpresas", quando batem no semi-espelho cada uma vai p/ um lado e no final causam interferência.

05 – ANDRÉ

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	fóton dividido em partes	partícula	os dois depois	onda e partícula juntas
Explicação da experiência interferômetro	Divisão do onda no espelho S1 e S2 e após no D1, onde o onda desaparece	A partícula até chegar em D2, faz um trajeto em linha recta e depois chegar em D2	É um fenómeno ondulatório, qd que não segue um caminho definido	Após passarem por os caminhos diferentes, a onda e o partícula se juntam
Explicação para um fóton	Grupo de ondas	partícula	partícula	objeto com ondas como partícula quântica

2- Existem tantas interpretações diferentes para o fenómeno da luz, pois existem várias opiniões, ~~teorias~~ e explicações diferentes sobre ela. Em várias experiências realizadas com a luz não houve explicações consistentes que chegassem em um único conclusão.

③ A interpretação que mais me agrada é a ondulatória, pois a luz segue trajetória até ser refletida, durante esse percurso a luz vai desaparecendo, ficando nítida, os nossos olhos quando chego (voz) no detector.

④ De acordo com a interpretação da complementaridade não está correta. Quando não há sensações (percepções) de algum objeto, não se pode dizer que tal objeto exista, até porque não há interação.

06 – BRUNO

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	ONDA	PARTÍCULA	PODE SER TANTO QUANTO ONDA OU PARTICULA MAS NAO OS DOIS	ELC É ONDA E PARTICULA
Explicação da experiência do interferômetro	A	B	C	D
Explicação para um fóton	CONJUNTO DE ONDAS	PARTÍCULA ÚNICA	PARTÍCULA OU ONDA	É UMA ONDA EM CONJUNTO A UMA PARTICULA

A- APÓS O PONTO S₁, A ONDA SE DIVIDE EM DUAS, SENDO QUE UMA DESSAS DUAS PARTES DESAPARECE AO CHEGAR EM D₁ (ISSO É COLAPSO DE ONDA) E A OUTRA NÃO.

D- NO PONTO S₁ A ONDA SE DIVIDE EM DUAS PARTES SEGUINDO O CAMINHO A E A OUTRA B AO SE ENCONTRA NO PONTO S₁ A PARTICULA PODE SEGUIR NO PONTO D₁ OU D₂.

B- A PARTICULA É LANÇADA PELO LASER, ASSIM A PARTICULA PERCORRE TODOS OS CANTOS DO CIRCUITO.

C- CASO SEJA ONDA NO PONTO S₁ SE DIVIDE E MPOIS, SENDO QUE AMBAS SEGUEM CAMINHOS DIFERENTES E UMA DELAS DESAPARECE AO CHEGAR NO PONTO D₁.

CASO SEJA PARTICULA, AO SER LANÇADA PELO LASER NO PONTO S₁, A PARTICULA PERCORRE TODOS OS CANTOS DO CIRCUITO.

07 – CAIO

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	Uma onda	Uma partícula	Nesse caso, a luz pode ser tanto onda quanto partícula, porém não as duas juntas	Nesse caso, a luz é uma onda e uma partícula, juntas
Explicação da experiência do interferômetro	1 a)	1 b)	1 c)	1 d)
Explicação para um fóton	Nesse modelo, um fóton é um pacote de ondas	Nesse modelo, um fóton é uma única partícula	Nesse modelo, um fóton pode ser tanto um pacote de ondas quanto uma única partícula	Nesse modelo, um fóton é a junção de um pacote de ondas com uma única partícula

1 a) O laser lança uma onda no circuito. Quando a onda chega em S_1 , ela se divide em duas. Nesse momento, a onda segue dois caminhos diferentes e se reencontra em S_2 .

Quando S_2 é retirado, as ondas vão direto aos detectores, porém, se uma onda chega em D_1 , a outra desaparece instantaneamente.

1 b) O laser lança uma partícula no circuito. Com S_2 retirado, o fóton segue um caminho A e chega a D_2 ou segue um caminho B e chega a D_1 .

1 c) A luz, de acordo com essa teoria, pode ser tanto onda quanto partícula. Esse experimento, por não seguir um caminho definido, é ondulatório e assim não tem sentido perguntar a localização do fóton.

1 d) Esse modelo compreende o fóton como um espermatozoide, onde a partícula surfa na onda.

Quando passa por S_1 cada um vai para um lado e depois eles se unem novamente, causando interferência.

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

Eu acho que existem várias interpretações diferentes para a natureza da luz porque ela se comporta de maneira diferente dependendo do experimento.

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

A partir das discussões de aula, a explicação que mais me agrada é a ondulatória porque pode explicar o experimento com eficiência. 9.12

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?"

De acordo com a teoria da complementaridade, o nosso pé não existe quando não estamos olhando para ele. Essa teoria é mais relativa, pois interpreta a realidade a partir da filosofia.

É importante ressaltar, porém, que existe interação mesmo quando não há um contato visual. Quando estamos em pé, mesmo que estamos olhando para outro lado, o nosso pé está lá nos sustentando em pé.

08 – CAMILA

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

		Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...		onda	partícula	não se pode saber após o fenômeno	uma partícula antes e uma onda depois
Explicação da experiência interferômetro		fóton se divide em dois 1/2 fótons, chega em S_1 e se recombina em S_2	a partícula "se divide" e se recombina no destino final.	não há definição após a observação; pede aqui o "caminho" da ondulatória ou da corpuscular.	a partícula segue um dos caminhos e a onda se divide, quando chega a S_2 se observa a partícula e não a onda no qual "insere"
Explicação para um fóton partícula de luz		?	?	?	?

2. A luz tem muitas explicações pois a partir de um experimento pode-se concluir diversas coisas, e as quatro apresentadas são as únicas que podem explicar pelo menos um acontecimento. Não se chegou a uma conclusão sobre sua natureza, pois nenhum dos casos consegue explicar totalmente o que acontece no experimento e como a luz se comporta.

3- Entre as quatro possíveis explicações a que explica luz como partícula convenciona mais, por as demais explicações tem grandes furos. A teoria ondulatória explica a luz com a divisão do fóton em dois, porém esta idio é de se questionar nunca foi visto um $\frac{1}{2}$ fóton. A interpretação dualista realista diz que a partícula na "comenhor" sobre a onda, mas neste caso teriamos duas fontes de energia, já que não existe onda sem energia, e teriamos duas fontes ^{constantes}. A explicação Dualista-realista é muito filosófico, e dizer que a luz "escolhe" o que vai ser também não é aceitável, na verdade quem escolhe o que a luz é seria o observador dependendo de seu comportamento. Mesmo que não possa explicar a interferência a teoria corpuscular é a menos complicada de se explicar e entender usando o experimento.

④ A Teoria da Complementaridade não permite pensar desta maneira, já que não é possível concluir a natureza da luz a partir do fenômeno. O modo que pode ter a mesma conclusão, se estivermos observando $\rightarrow$ sabemos que ele está lá, concreto, mas no demais momento não temos certeza. Esta teoria se firma no texto e conclusões, dependendo de onde e como observarmos teremos uma conclusão diferente.

09 – FABIANE

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	onda	partícula	onda ou partícula	onda e partícula
Explicação da experiência do interferômetro	(A) (atrás)	(B) (atrás)	(C)	(D)
Explicação para um fóton	o fóton comporta-se como um pacote de energia	se comporta como uma partícula	se comporta como partícula ou onda	se comporta como onda e partícula ao mesmo tempo

① são as que explicam mais.

② Segundo a teoria ondulatória o fóton é um "pacote de onda" e ele pode se dividir em dois "meios-fótons" em um ponto e se juntam depois. A partir do interferômetro a onda é dividida em dois, metade para cada lado, no final elas se juntam em uma só onda.

③ De acordo com a teoria corpuscular o fóton é uma partícula, ou seja, podemos determinar o percurso pelo qual ela passou, o fóton não é dividido, ele segue um caminho direto. No interferômetro, é possível ver os pontos de fótons no anteparo, cada ponto representando um fóton.

④ Segundo esta teoria a luz pode ser onda ou partícula. No caso do interferômetro a luz se comporta como onda, porque não é possível observar o caminho percorrido por ela.

⑤ Na teoria dualista realista a luz é composta pelo fóton e por sua onda associada. O fóton segue uma trajetória específica e sua onda se divide em duas partes. A onda segue o fóton que é uma partícula. No interferômetro o fóton segue para um detector e a onda não é possível ver.

②

Existem diferentes explicações para a natureza da luz, porque cada vez mais, com mais estudos e mais inovações tecnológicas, ^{explicam} mais características do comportamento da luz, mesmo as teorias mais complexas não explicam tudo, as mais aceitas.

③

A explicação que mais me agrada é da complementaridade porque diz que ora a luz se comporta como onda e ora se comporta como partícula. Dependendo da situação que ela está exposta o seu comportamento será diferente. jrc

④

De acordo com essa teoria algo só existe quando estamos em contato com ela, essa teoria não serviria para meu pé pois mesmo sem vê-lo eu o sinto, funcionaria para outros casos como a nossa casa que só existiria quando estamos nos interagindo com ela.

10 – FELIPE

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	Onda	Partícula	Onda ou Partícula	Onda-partícula
Explicação da experiência do interferômetro	A	B	C	D
Explicação para um fóton	várias Ondas	apenas uma partícula	PARTÍCULA	ONDA e partícula

Explicação da experiência do interferômetro

Ⓐ → ONDA: A onda é dividida em duas, depois de passar pela fenda S_1 . Uma das partes desaparece sem D_1 .

Ⓑ → Corpuscular: A partícula apenas percorre os espelhos, passando por A, D_2 e D_1 .

Ⓒ → Complementaridade: O fóton fez um "caminho", mas também como uma partícula ou onda, dependendo das circunstâncias.

Ⓓ → Dualista realista: Onda invisível que não é detectada.

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

Depende dos seus contextos, cada explicação é correta. Existem certas coisas que elas não explicam. Eu acho que a explicação mais correta é a dualista-realista, porque a partícula está presente onde existe luz.

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

A Dualista-realista, porque a partícula está presente onde existe luz.

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?" Seguindo essa lógica, o meu pé não existia quando não olhamos para ele. No entanto, sabemos que o átomo existe sem mesmo olhar para ele. A explicação das coisas com os átomos é correta.

apenas uma explicação não condizente.

11 – GABRIEL

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	UMA ONDA	PARTÍCULA	A LUZ É PARA PARTICULA, PARA ONDA	PARTÍCULA E ONDA AO MESMO TEMPO
Explicação da experiência do interferômetro	NÃO HA CORRESPONDÊNCIA À PARTICULA SEGUIR UM CAMINHO DEFINIDO. A LUZ É UMA ONDA E EM DA OUTRA VAI ATÉ DO OUTRO SEGUIR PARTE DESTA ONDA UM CAMINHO E VAI DESAPARECE CORPO ATÉ DA.		NESTE EXPERIMENTO A LUZ É UMA PARTICULA POIS TEMOS VER UM PONTILHO EM DEFINIÇÃO DEPOIS DA MEDIÇÃO.	A PARTICULA SEGUIR A OU B, EIA? E ENCONTRAMOS EM SE SE SONDA EIA VAI ATÉ DO A ONDA QUE VAI EM DA É "NADA".
Explicação para um fóton	PACOTE DE ONDA	UM TIPO DE PARTICULA	PARTÍCULA	UMA PARTE DESTA ONDA É PARTICULA

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

EXISTEM DIFERENTES INTERPRETAÇÕES DA NATUREZA DA LUZ. EXISTEM DIVERSAS OPINIÕES E EXPLICAÇÕES DIVERGENTES SOBRE A LUZ. EM MUITOS EXPERIMENTOS REALIZADOS COM ELA NÃO TIVERAM EXPLICAÇÕES CONCRETAS EM UMA CONCLUSÃO.

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

A QUE MAIS ME AGRADA É A INTERPRETAÇÃO CORPUSCULAR, POIS A PARTICULA SEGUIR UM CAMINHO DEFINIDO ONDE ELE SEGUIR ATÉ DO OUTRO VAI POR OUTRO CAMINHO CHEGANDO EM DA.

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?"

NÃO, DE ACORDO COM ESTA INTERPRETAÇÃO NÃO PODEMOS AFIRMAR QUE O LADO EXISTE SEM VÊ-LOS, SE NÃO ESTAMOS OLHANDO NOSTO PE, NÃO PODEMOS AFIRMAR QUE ELE ESTA AÍ E EXISTE, DA MESMA FORMA, PODEMOS AFIRMAR QUE NOSTA CASA, SE NÃO ESTAMOS DENTRO DEÇA OU VENDO ELA, NÃO PODEMOS AFIRMAR QUE ELA ESTA AÍ. *

12 – BEATRIZ

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	ONDA	PARTÍCULA	ORA PARTÍCULA, ORA ONDA	ONDA e PARTÍCULA AO MESMO TEMPO.
Explicação da experiência do interferômetro	"Colapso de onda" A onda se divide no S1. Em D1 a outra parte desaparece. Não há probabilidade de detectá-las.	Partícula segue o caminho A, chega em D2, ou segue outro caminho e chega em D1.	Explica-se o fenômeno como corpuscular. Após a medição surge um padrão bem definido, sendo assim um fenômeno de partícula.	"onda vazia" De S1, a partícula segue A ou B. E se as ondas se combinam, a onda sobrar, vai até D2. A onda que segue D1 é uma onda vazia.
Explicação para um fóton	CONJUNTO de ONDAS	ANULADA PARTÍCULAS	PARTÍCULA	Objeto quântico (uma parte deste objeto)

2) Eu acredito que hoje, tantas interpretações diferentes para a natureza da luz por esta apresenta em diversos momentos, diferentes características e comportamentos. Essas diferentes características e comportamentos não podem ser explicadas por uma única interpretação ou teoria.

Por exemplo, uma das primeiras teorias foi que a luz consistia na emissão de corpúsculos (teoria corpuscular). Essa teoria explicava porque a luz se propaga em linha reta. Embora essa teoria explicasse grande parte do comportamento da luz, não explicava a alguns. Assim, começou-se a desenvolver a ideia de que a luz deveria consistir em um movimento ondulatório de qualquer natureza. Esta segunda teoria explicava algumas coisas que a primeira não explicava, porém também não era um bom trabalho.

Esta foi apenas um exemplo das ~~teorias~~ teorias. Mais tarde, para explicar cada comportamento da luz, foi feita uma interpretação diferente, sem conseguir chegar a uma que explicasse todos os comportamentos da luz.

3) Das quatro interpretações, a que mais me agrada é a dualidade - ondulatória, a qual, a onda pode ser partícula e onda ao mesmo tempo. Assim como todos os outros interpretações, esta não explica todos os comportamentos da luz, mas me parece que é a que melhor explica alguns comportamentos da luz.

Essa interpretação afirma que a luz (fóton) se comporta por duas partes, juntas. É como se fossem duas ^{coisas} em uma só. Tem mais que parte dessa teoria, longa a ideia de "onda vazia", eu acredito que usar "onda vazia" para aquilo que na física ainda não foi conseguido identificar, observando experimentos.

4) De acordo com a interpretação da complementaridade, não dá para saber de fato, se ele mesmo se existe quando não estou olhando para ele, uma vez que um átomo não existe quando eu não o vejo, e se eu não o vejo, como eu posso saber se ele existe mesmo quando não estou olhando para ele, assim como não faz sentido perguntar o que a luz é.

13 – GUILHERME

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	onda	partícula	Só é possível saber após a experiência	Uma partícula ou uma onda associada
Explicação da experiência do interferômetro	Duas ondas se encontram	Não é possível explicar	É possível explicar como onda, mas não como partícula	A onda vai para um lado e a partícula para o outro
Explicação para um fóton	É um pacote de energia	É partícula	Pode ser ondulatória ou corpuscular	Luz é objeto quantizado composto por onda e fóton

2- Por que existem muitas hipóteses para dois fenômenos, e os dois fenômenos possuem explicações plausíveis

3- A que mais me agrada é complementaridade pois ela explica os dois fenômenos mesmo não sabendo o que é, e as outras não explicam os dois fenômenos.

4- Sim, pois estou usando-o e percebendo-o mesmo sem estar vendo eles.

14 – HUGO

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	Onda	Partícula	um elemento que varia conforme as circunstâncias (onda ou partícula)	Onda-partícula
Explicação da experiência do interferômetro	A	B	C	D
Explicação para um fóton	Divide-se em meio-fóton no alcance de um semi-espelho	O fóton é uma partícula	O fóton pode ser uma onda ou partícula nas duas coisas.	A luz é constituída por uma partícula associada a uma onda.

① A a onda percorre o circuito até S_1 , atravessando-o e dividindo-se em duas partes. Ao chegar em D_1 , torna-se impossível identificá-la, segundo o que se sabe a partir do "colapso de onda", pelo qual se sabe que quando se pode distinguir uma parte, a outra não é detectável, desaparecendo (no D_1).

② Uma vez que a luz é tida como partícula, ocorre que não há correspondência entre a lógica do mundo quântico e do mundo macroscópico. Assim, a partícula apenas segue o seu caminho até o final do circuito, no D_1 ou D_2 .

③ O comportamento da luz no circuito dependerá de sua natureza ~~por~~ ^{dado} instantânea (onda ou partícula).

④ A partícula segue o caminho A ou B, após atravessar o S_1 ; no entanto, sua onda associada segue ambos os caminhos, uma vez que se divide em duas partes ao atravessar o S_1 .

2) As diversas interpretações existentes acerca da natureza da luz são possíveis por conta dos múltiplos comportamentos da luz em certas circunstâncias. Assim, dada a dificuldade de classificação, conjecturou-se vários modelos para explicar a luz.

3) Dualista-realista, pois dá explicação aceitável nos fenômenos que ocorreram no circuito, exemplificando também o que ocorre com a luz (comportamento) dadas as circunstâncias diversas.

4) Não, pois a teoria da complementariedade, enquanto discurso filosófico, afirma que a existência de certo elemento depende da interação / contato visual da pessoa com o mesmo.

15 – ÍSIS

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	Onda	Partícula	Pode tanto ser onda como a partícula	Partícula e onda
Explicação da experiência do interferômetro	A	B	C	D
Explicação para um fóton	Fóton se divide em 2.	Fóton é indivisível	Dependendo da circunstância pode ser onda ou partícula.	Se dividem e depois se juntam.

- A) O fóton se divide em 2, quando bate no espelho ele vai para cada um para um lado, e formam um novo fóton, se encontram depois formando uma interferência.
- B) A partícula não divide, e ela pode tanto ir para um lado como para outro, e precisa de uma nova lógica.
- C) Depende da observação, pode ser tanto onda como partícula, ^{mas} nunca os dois ao mesmo tempo.
- D) Se tiver interferência é onda, e se não tiver energia também é onda. O fóton é como uma partícula surfando na onda; se divide a partícula vai para um lado e onda para o outro. (explicação de um fóton)
- 1) Ele diz que algo só existe se interagirmos com ele, portanto eu compreendo que mesmo eu não estar olhando para o meu pé eu sei que ele existe, porque estou usando os meus sentidos e ele que me sustenta enquanto estou em pé, existem várias coisas que não vemos mas sentimos, como o som, a gravidade, o ar, etc. Para algo existir não é necessário que seja visível.
- 2) Porque existem várias visões, e várias explicações, assim como existem várias fontes de luz, porém a única energia natural é a solar.
- 3) A dualista-realista, porque depois da divisão ainda há a junção da partícula e da onda.

16 – JÉSSICA

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	onda	Particula	Depende. onda ou Particula	onda e Particula
Explicação da experiência do interferômetro	A	B	C	d
Explicação para um fóton	Como pacote de onda	Particula	onda ou Particula	onda e Particula

① A → Ao atravessar o 1º semi-refletor a onda se divide em duas partes. Depois a outra parte des-Para.

B → A partícula segue um dos caminhos. Não se divide.

C → Segue um único caminho como o corpulo. Mas não dá para saber a natureza da luz sem medi-la.

d → A partícula segue um só caminho, mas ao mesmo tempo existe uma onda que segue os dois caminhos. Pois uma onda se divide em duas partes. No último semi-refletor as ondas se encontram e onde a onda "sobrai" a partícula segue.

② Sim, porque se sentimos ele sem mesmo olhar para ele, e porque ele existe. Cosa contrária não me sentindo.

③ A interpretação que mais me agrada é a que a luz é uma onda porque é mais fácil de imaginar como ele se propaga pelo ambiente, objeto, etc.

④ Porque no caso da luz não pode explicar ~~se~~ como onda ou só como partícula. Porque ela às vezes se comporta ~~como~~ de um jeito ou de outro. É o resto é só uma coisa ou outro.

17 – BRUNA

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	onda	partícula	só é possível saber se é onda ou partícula após observação	onda ligada a uma partícula
Explicação da experiência do interferômetro	A	B	C	D
Explicação para um fóton	O fóton é um pacote de onda que se divide em dois "meios fótons" que se recombina no final	O fóton é uma partícula	Não explico o que é fóton	O fóton é uma partícula que tem uma onda associada a ele

1 - A - O fóton (pacote de onda) se divide em duas partes, uma sendo detectada e a outra desaparece

B - O fóton segue um caminho ou o outro, dependendo do caminho que seguir chega em D₁ ou D₂

C - Dependendo do resultado, se o trajeto for bem definido, o fóton é uma partícula, se não for, o fóton é uma onda. Só é possível definir após a realização do experimento

D - O fóton seguiria um caminho e a onda se dividiria em duas, seguindo os dois. As ondas se combinam em S₂ e a partícula segue para D₂ (onde "sobra" a onda) e a parte da onda não detectada que vai para D₁ é interpretada como "onda vazia", sem energia

2 - Porque a luz tem comportamentos diferentes de qualquer outro fenômeno, hora se comporta como onda e hora como partícula, já todo o resto se comporta sempre como uma coisa ou outro.

4 - Existe, pois apesar de eu não estar olhando para ele, consigo percebê-lo, senti-lo, portanto sei que ele existe.

3 - A ondulatória porque é uma explicação simples e que não há muitos problemas, já que todas as quatro explicações possuem problemas na explicação, não explicam todos os comportamentos.

18 – JOÃO

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	meio-fóton	Partícula	não sabemos (só depois)	é o fóton e a sua onda associada
Explicação da experiência do interferômetro	A	B	C	D
Explicação para um fóton	Onda	Partícula	Pode ser onda ou partícula	Uma partícula que navega sem onde onde tem onda

① A. Na experiência o fóton é dividido em 2 meio-fótons durante a realização e depois eles se recombinam para a finalização do experimento.

B. Na experiência, a partícula segue um único caminho determinado.

C. De acordo com o experimento, depende, pode ser ondulatória ou corpuscular, podendo assim depender do ponto de observação.

D. Na experiência o fóton pode seguir um caminho A ou B, sendo que a onda é dividida em 2 partes, seguindo por A e B ao mesmo tempo, e a partícula seria como um surista que só vai onde existir onda, assim no final sendo obrigados a seguir para D.

② Existem tantas interpretações diferentes, pois cada interpretação possui algo que não se consegue comprovar, ou decidir, porém são todas aceitáveis e discutíveis, mas assim, cada pessoa tem um pensamento diferente sobre a luz, sendo que até ser ~~prova~~ testado e aprovado algum modelo, poderão surgir outros.

③ É que mais me agrada é a interpretação de complementaridade, porque ~~depois~~ modo ondulatório e corpuscular, eles não são contraditórios, mas sim complementares, assim estas naturezas são separadamente detectáveis e surgem dependendo com o tipo de experiência e também porque as outras são muito piores. É a única que consegue ser explicada (tentei lembrar)?

④ Sim, existe porque apesar de ~~eu~~ eu não estar olhando para o meu pé, eu consigo senti-lo junto com o meu corpo, sabendo que ele está lá, exercendo sua função junto ao corpo.

19 – JOYCE

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	onda	partícula	partícula ou onda	onda e partícula
Explicação da experiência do interferômetro	a	b	c	d
Explicação para um fóton	fóton é como um pedaço de onda que se divide.	como uma partícula	manifesta ora como partícula ora como onda	onda e partícula

a) Ondulatória: O experimento realizado, nos mostra que a onda é dividida em raios, sendo metade para cada lado. Ao final do percurso elas se concentram novamente formando uma só onda, concluindo uma imagem de interferência.

b) Corpuscular: Neste caso, temos uma única partícula que nunca se divide. Pode-se determinar o seu caminho, ou seja, o fóton segue um único caminho, ora se pode determiná-lo, assim podendo ser transmitido ou refletido, cujo lados distintos.

c) Complementaridade: Neste caso, não temos uma interpretação certa. Em alguns casos, vai aparecer em uma forma de onda, e em outros casos uma forma de partícula, isso depende da análise.

d) Dualista-Realista: É representado como sendo duas partes, ou seja, têm capacidade de ser partícula e onda ao mesmo tempo, em que no experimento cada um vai para um lado e se encontram no final formando a interferência (assim como são dois lados).

Questão 2: Para mim, o fato da existência de várias interpretações para a natureza da luz e o interesse de distinguir de como se dá que forma ela interage para que, destas maneiras consigam algum dia chegar a uma certa explicação para o mundo luz. Determinando de que forma ela interage em nossas vidas.

Questão 3: A questão que mais me agrada é o fato da luz ser ondulatória, complementaridade. Pelo motivo de que a natureza para um fóton apresentar de acordo com o aspecto da natureza, ora como partícula, ora como onda.

Questão 4: Pensando filosoficamente e por esse lado de que somos formados por átomos podemos sim dizer que em relação as interpretações as coisas que não olhamos não exista uma relação so meu olhar, mais um relação a percepção, incluindo a presença da consciência nisso.

Sendo assim, pensamento de outro modo, apesar de não vemos certas miradas coisas, não significa que não existe, apenas sentimos que aquilo está ali.

20 – KARINA

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	Onda	Partícula	elemento que varia conforme as circunstâncias.	Onda-partícula
Explicação da experiência do interferômetro	percorre até S_2 , atravessa e se divide em duas. Ao chegar em D_1 , não dá a identificar.	não há correspondência entre o mundo quântico e o mundo macroscópico. A onda segue seu caminho até o fim.	o comportamento do circuito dependerá de sua natureza.	ela pode seguir caminhos opostos, depois de atravessar o S_2 . Sua onda associada pode seguir os mesmos caminhos.
Explicação para um fóton	dirige em mão fóton ao encontrar um semi-espelho.	o fóton é constituído de partícula	o fóton pode ser uma partícula ou um fóton, mas não os dois juntos	luz é uma partícula associada a uma onda.

② As diversas interpretações são possíveis, porque a luz apresenta comportamento diferentes com a variação das circunstâncias.

③ A quarta interpretação. Ela é mais aceitável porque de explicações claras, simplifica facilitando o entendimento.

21 – LAÍS

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	onda	partícula	ou onda, ou partícula	onda e partícula
Explicação da experiência do interferômetro	quando entra em contato com o espelho a onda se divide em dois "meios-fótons", que se recombinam no final da experiência	aplica apenas a diferença entre o mundo quântico e macroscópico	neste experimento é uma onda, por- que não tem um caminho definido	a onda se divide em dois e seguem dois caminhos, que se juntam no final. Se o partícula não se divide.
Explicação para um fóton	é um "pacote de onda", que pode ser dividido e reestruturado	é uma partícula "sólida", indivisível.	é uma onda ou uma partícula, pode-se saber qual o comportamento é necessário observar qual o "caminho" é a luz	apresenta uma estrutura de espermatozoide, uma partícula "surfando" em uma onda

2. A luz é um fenômeno que ainda não se sabe ao certo o que é. Existem apenas experimentos, estudos e hipóteses sobre ela, e são todos diferentes porque se manifestam e tem comportamentos diferentes diante das situações, assim sendo, fica difícil chegar a um consenso sobre o que a luz é apenas interpretando resultados.

3. A hipótese que mais me agrada é a Dualista-realista, porque é a que melhor explica o experimento. As outras até podem responder outras questões, mas essa é a mais completa. O problema da ondulatória é que não pode ser estendida para outros exemplos. O corpuscular não explica muito esse experimento. O de complementaridade é bom, mas tem o problema de se provar como a ~~onda~~ ^{luz} muda de onda para partícula e porque.

Escolhi esse por ser mais completo, e lógico, apesar da dificuldade de explicar como uma partícula "surfa" em uma onda.

4. Não, pois mesmo sem saber o caminho da luz e suas propriedades/funcionamento, podemos observá-lo e estudá-lo.

22 – LEONARDO

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	Uma onda	Uma partícula	A luz pode ser tanto onda quanto partícula, porém não os dois!	A luz é uma onda e uma partícula
Explicação da experiência do interferômetro	A	B	C	D
Explicação para um fóton	O fóton é um pacote de ondas	O fóton é uma única partícula	O fóton pode ser tanto um pacote de ondas quanto uma única partícula.	O fóton é a junção de um pacote de ondas com uma única partícula

1A- A onda da luz passa por um circuito. Quando a onda chega em S_1 , ela passa a ter dois feixes de onda. Aí então esta onda passa a ter dois caminhos diferentes que se encontram em D_1 , quando a onda desaparece. Ela desaparece porque ocorre uma interferência na colisão dos duas ondas.

B- O laser lança uma partícula no circuito, que segue o caminho e completa a percurssão.

C- De acordo com esse teorema a luz pode ser tanto onda quanto partícula. Alguns experimentos que apenas ondas respondem, como esse, a luz responde, em outros que apenas partículas respondem, a luz também responde. Nesse caso a luz é uma onda.

D- O laser lança partículas que seguem em direção opostas em S_1 e se encontram em S_2 .

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

Porque a humanidade não tem certeza da descoberta que fazem.

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

Dualista-realista.

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?"

De acordo com a teoria da complementaridade, o meu pé não existe quando não estou olhando para ele. A teoria, porém, não explica o fato do pé nos sustentarem em pé mesmo quando não olhamos para eles.

23 – LUCAS

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	ONDA	Partícula	Ou onda ou partícula. Nunca os dois.	Uma partícula que "seja" na onda.
Explicação da experiência do interferômetro	A	B	C	D
Explicação para um fóton	dividi o fóton em dois ao chegar no S1	O fóton é uma partícula	fóton ou é onda ou partícula	fóton é uma onda-partícula

1.4) O fóton se divide em dois ao passar pelo S1 (vidros semi-refletores) indo um para cada lado e já ao passar pelo S2 eles se juntam.

B) Não existe experimento no modelo corpuscular, que mostre, que o fóton seja uma partícula.

C) Como o fóton não segue um caminho definido para ser uma partícula ele pode ser considerado ondulatório.

d) O fóton tem dois caminhos para seguir o A e B a partícula vai para um lado e a onda vai pelo outro lado.

2. Para mim existe tantas naturezas para luz porque cada experimento realizado, tem uma natureza que explica e a outra não. E assim vai variando nos experimentos.

3. A interpretação que mais me agrada é da luz ser onda-partícula ao mesmo tempo. Porque dependendo do experimento ou onda vai responder ou partícula.

4. Não pois o corpo não é constituído só de átomos, fazendo assim o corpo existe, olhando ou não para ele.

24 - LUIZA

ONDULATORIA, CORPUSCULAR, COMPLEMENTARIDADE, DUALISTA-REALISTA

A LUZ É... ONDA (A), PARTÍCULA (B), PARTÍCULA OU (C), ONDA E PARTÍCULA (D)

EXPLICAÇÃO DA EXPERIÊNCIA DO INTERFERÔMETRO

* EXPLICAÇÃO Se dividem e indivisíveis, ora onda se dividem e para um fóton em 2 níveis, ora partícula depois se juntam

A) Os fótons se dividem em 2, cada um vai para um lado. Depois se encontram e fazem a interferência

B) A partícula não é divisível, segue um percurso e é refletido tanto para um lado quanto para o outro.

C) Depende da observação da interferência, ou partícula e onda. Porém nunca os dois ao mesmo tempo. Se houver interferência é onda.

D) A onda se divide em duas partes indo cada uma para um lado. A partícula é como um surfista que só navega onde há onda e depois se encontram.

2) Existem tantas explicações diferentes para a luz pois ela não se encaixa em apenas uma teoria.

3) Da complementaridade. Porque apesar de não explicar a luz, ela é a única que explica o comportamento da luz em vários momentos.

4) Sim, isso fica evidenciado quando tratamos o corpo como um conjunto, sendo os pés parte deste conjunto há diversos modos de percebê-los sem ser olhando para eles, por exemplo, pelo simples fato de conseguirmos ficar em pé, mesmo não olhando para eles sabemos que só conseguimos ficar em pé pois temos pé.

25 – MARCOS

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	ONDA	PARTÍCULA	PODE SER PARTICULA ou ONDA	ONDA E PARTICULA JUNTAS
Explicação da experiência do interferômetro	TEM ONDA QUE SE DIVIDE EM S1, E O OUTRO DA DESA-PARECE. NÃO HA COMO DETECTA-LAS	A PARTICULA SE MANTÉM ATÉ O CAMINHO A1, DEPOIS E CHEGANA ATÉ O D2	APÓS UMA MEDIÇÃO OBSERVA-SE UM FÓTON, ESSE FENÔMENO FOI CARACTERIZADO COMO CORPUSCULAR.	A PARTICULA É ONDA, AO PASSAR PELA TRAJETÓRIA DIFERENTES ELES SE JUNTAM.
Explicação para um fóton	GRUPO DE ONDAS	ÚNICA PARTICULA	PARTÍCULA	O OBJETO, COM O TEMPO, SE VAI PARALELA, DELE QUE É QUANTICA.

2) Pode-se dizer que as diversas explicações, estão em certos experimentos feitos. Mas há como definir esses tipos de interpretações, pelo fato de que não há como chegar em um resultado correto pois, havendo inúmeras explicações,

3) A que mais me agrada é a ondulatória, porque é interessante saber o processo de como ela divide ~~para~~ ~~em~~ em S1 e o outro da que desaparece onde não há como detecta-las. A onda está em todo lugar e a todo ~~instante~~ instante de nossas vidas, a questão ondulatória é muito importante saber porque é para que serve.

4) Não porque não interfere pelo fato de que o átomo só existe quando vemos e, com isso só porque somos feitos de átomos não quer dizer que quando ~~st~~ não ~~vimos~~ nossos pés ~~não~~ ~~estão~~ independentemente ou não, eles existem.

26 – PEDRO

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	onda	partícula	Quando há interferência, onda. Quando há um detector, é partícula.	metade onda, metade partícula
Explicação da experiência do interferômetro	A	B	C	D
Explicação para um fóton	pacote com conteúdo energético	única e menor partícula	O fóton é uma partícula.	meio partícula, meio onda

2. Por causa do comportamento dela (luz). Em vários experimentos realizados com a luz não houve explicação consistente que a determinassem numa única interpretação.

3. A Dualista-realista. A explicação a partir dela é a mais consistente, porque a luz não se encaixa nas demais explicações. Se as determinações básicas de onda e partícula exigem certas propriedades, a luz não se comporta nem como onda nem como partícula, apenas, apesar de obter propriedades das duas. Porém a explicação Dualista-realista concretiza melhor a ideia do comportamento da luz, para isso explicação a luz é metade onda, metade partícula. Quando a partícula se encontra com a onda há interferência. É como um "espermato", a calça é a partícula que "surfa" na onda (calda), que é vazia, isto porque não tem energia na onda.

4. Não. Quando não há sensações, percepções de algum objeto, não se pode dizer que tal objeto existe, ali porque não há interação.

TABELA → (A) no momento em que o pacote energético passa pelo espelho e pelo semi-espelho ele se divide. A menor partícula se encontra com o semi-espelho e se divide.

(B) Acontece a interferência mas não consegue explicar.

(C) A interferência é onda, com o detector é partícula. Se atrai metade é partícula. Se houver interferência é onda.

(D) O fóton é como um espermatozoide, em que a calça é a onda e a calça é a partícula. Uma partícula "surfando" na onda, contendo essa onda não possui energia. A onda para um lado, a partícula para outro e quando se encontram há interferência.

27 - OLÍVIA

Puzzle FUNNY LOVE

1) Ondulatória
2) Corpuscular
3) Complementaridade

STOQSSD

A luz é Onda Partícula Pode ser Onda e partícula ou onda partícula

Explicação da experiência de interferência de fôtons: Os fôtons se dividem em 2, cada um vai p/ 1 lado. Depois da se encontram e seguem a interferência.

A partícula não é divisível. Assim segue um percurso e se repete tanto p/ um lado quanto para o outro.

Teoria mais liberaliza depende da observação da interferência, a partícula e onda. Porém nunca nos dois ao mesmo tempo. Se há interferência é onda.

O fôton é uma partícula surfando na onda. Quando bate no semi-especho cada um vai p/ um lado.

Se dividem em dois e indivisível na onda e partícula.

Se dividem e aparecem juntos.

FORONI

2. Há muita interpretação para a natureza da luz, porque ninguém nunca viu do que ela se constitui, ninguém consegue ver exatamente, partícula por partícula consegue fazer. Por isso a diferença teórica, a luz tem diversas características, em situações diferentes, e isso dificulta.

3. A interpretação que mais me agrada é a ondulatória, na qual os fôtons se dividem em dois, em mais fôtons. Ou seja, que é a mais aceitável por mim mesmo ninguém tendo visto o fôton dividido, é possível dividir tudo na natureza e possível dividir algumas coisas mais facilmente, mas difíceis nos dois mundos.

4. Se acordo com a teoria da complementaridade, a luz só não existe quando não emergimos. Porém, se nós o sentirmos, estamos interagindo com ele. Logo, ele existe.

28 – RODOLFO

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	ONDA	PARTÍCULA	PODE SER ONDA OU PARTÍCULA	ONDA E PARTÍCULA
Explicação da experiência do interferômetro	O fóton pode se dividir em dois "meios-fótons". Ao chegar em S ₁ , ele se recombinam em S ₂ .	A LÓGICA EXISTENTE NO MUNDO QUÂNTICO É UMA LÓGICA DIFERENTE DO MUNDO MACROSCÓPICO.	FENÔMENOS ONDULATÓRIOS, NÃO TEM CAMINHO BEM DEFINIDO.	O fóton segue uma trajetória A OU B, SEGUINDO PELO A SE ADMITESSE TEMPO QUANDO SE DIVIDE.
Explicação para um fóton	GRUPO DE ONDAS	PARTÍCULA ÚNICA	PARTÍCULA	OBJETO QUE CONTÉM APENAS UMA PARCELA QUÂNTICA.

EXISTEM MUITAS EXPLICAÇÕES, PORQUE PELOS EXPERIMENTOS FORAM TIPOADOS VÁRIOS ARGUMENTOS PARA EXPLICAR A NATUREZA DA LUZ. O COMPORTAMENTO DA LUZ AS INTERFERÊNCIAS QUE PODIAM OCORRER MODIFICANDO A INTERPRETAÇÃO.

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.

A INTERPRETAÇÃO ONDULATÓRIA, PORQUE O EXPERIMENTO REALIZADO MOSTROU QUE UM FÓTON

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?"

NÃO É UMA PARTÍCULA POIS NÃO TEM UMA TRAJETÓRIA BEM DEFINIDA. A TEORIA MAIS ACEITA É A ONDULATÓRIA, JÁ QUE O FÓTON É UM "PACOTE DE ONDA" E QUE PODE SE DIVIDIR EM DOIS "MEIOS-FÓTONS".

QUESTÃO 4:

4) DE ACORDO COM A COMPLEMENTARIDADE ESTE RACIONAMENTO NÃO É CORRETO, PORQUE QUANDO É REALIZADA A MEDIÇÃO, PERCEBE-SE QUE O FÓTON SEGUIU UM CAMINHO BEM DEFINIDO. SOMENTE QUANDO OLHAMOS PARA O PÉ TEMOS A CERTEZA QUE ELE EXISTE, APÓS REALIZAR UMA MEDIÇÃO.

29 – THAIS

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	Onda	Partícula	Partícula ou Onda	Partícula e Onda
Explicação da experiência do interferômetro	A	B	C	D
Explicação para um fóton	Onda	Partícula	Partícula ou Onda	Partícula e Onda

A. A onda ela se divide em duas partes quando passa pelo S₁ e ao chegar no D₁ a outra parte desaparece imediatamente.

B. A partícula ou segue o caminho A e chega em D₂ ou segue o caminho B para chegar em D₁.

C. A complementaridade ela já não segue um caminho bem definido.

D. A partícula pode seguir o caminho A ou B, mais ela tem uma onda associada que poderia seguir os dois caminhos ao mesmo tempo.

2. Existe tantas interpretações diferentes para a natureza da luz, por causa de seu comportamento, pois só um experimento não dá para explicar o comportamento da luz.

3. Das quatro interpretações a que me agrada mais é a complementaridade. Porque ela pode se comportar como onda e como uma partícula.

4. Bom porque mesmo não entendendo ela, ela sempre está nos nossos pés. Pois os nossos olhos não são capazes de visualizar algo tão pequeno.

30 – VICTOR

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

	Ondulatória	Corpuscular	Complementaridade	Dualista-realista
A luz é...	fóton ou onda	partícula	depende. Pode ser onda ou partícula.	onda e partícula
Explicação da experiência do interferômetro	Não se detecta a onda. Ela se divide e uma parte desaparece.	A partícula segue um caminho até D ₂ . E pode seguir outro caminho até D ₁ .	há um caminho definido. Ou seja, é ondulatório	partículas e ondas, se juntam.
Explicação para um fóton	onda	partícula	partícula	tem apenas uma parcela quântica.

② Existem tantas interpretações diferentes porque com o passar do tempo os modelos existentes não conseguem explicar 100% a natureza da luz e com isso surgem novos modelos e interpretações para tentar encontrar o mais plausível possível.

③ A interpretação que mais me agrada é a corpuscular, porque a partícula segue um caminho definido e assim eu consigo perceber melhor como é realmente a natureza da luz.

④ Sim, ele existe, porque não é necessário estar alinhado para ele para sabermos que ele existe. Nós conseguimos senti-lo. Sendo assim, é diferente do que foi apenas um átomo.