

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS E
MATEMÁTICA

BONIEK VENCESLAU DA CRUZ SILVA

**CONTROVÉRSIAS SOBRE A NATUREZA DA LUZ:
UMA APLICAÇÃO DIDÁTICA**

NATAL - RN

2010

BONIEK VENCESLAU DA CRUZ SILVA

**CONTROVÉRSIAS SOBRE A NATUREZA DA LUZ:
UMA APLICAÇÃO DIDÁTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática do Centro de Ciências Exatas e da Terra da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências Naturais e Matemática.

Orientador:

Prof. Dr. André Ferrer Pinto Martins

NATAL - RN

2010

Divisão de Serviços Técnicos
Catalogação da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Silva, Boniek Venceslau da Cruz.

Controvérsias sobre a natureza da luz : uma aplicação didática / Boniek Venceslau da Cruz Silva. – Natal, RN, 2010.

180 f. : il.

Orientador: André Ferrer Pinto Martins.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática.

1. Óptica – Dissertação. 2. Luz – Dissertação. 3. Ciência – História – Dissertação. I. Martins, André Ferrer Pinto. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 535(043.2)

BONIEK VENCESLAU DA CRUZ SILVA

**CONTROVÉRSIAS SOBRE A NATUREZA DA LUZ:
UMA APLICAÇÃO DIDÁTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática do Centro de Ciências Exatas e da Terra da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências Naturais e Matemática.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. André Ferrer Pinto Martins - Orientador
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Profa. Dra. Ana Paula Bispo da Silva – Examinadora
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

Profa. Dra. Márcia Gorette Lima da Silva – Examinadora
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha fortaleza nos momentos de angústia...

Aos meus pais, Iranaldo Venceslau da Silva e Ana Lúcia da Cruz Silva, que sempre foram os doutores da minha vida, ensinando-me a ser íntegro, justo, trabalhador e batalhador.

A minha irmã, Alenuska Julyane Venceslau da Cruz Silva, pela dedicação e força que sempre me mostrou nos momentos difíceis.

A minha noiva, pela história que construímos, pela força, pela paciência, pelo exemplo de pessoa e pelo companheirismo, tanto nos momentos bons como nos difíceis.

Obrigado Márcia Eloi e Maroni, queridas amigas, que tive o prazer de compartilhar momentos inesquecíveis no mestrado.

Quem disse que fada madrinha, na vida acadêmica, não existe? Eu tenho uma, mas não é justo dizer que é só minha, ela é fada de todos e todas do PPGECONM. A Profa. Dra. Márcia Gorette, meu muito obrigado, pela dedicação, pelo carinho que me dedicou, pela luta que mostrou por minha bolsa reuni, pelo exemplo de ser humano e profissional. A você, querida mestra, meus cumprimentos mais sinceros.

Ao meu orientador, agradeço imensamente pelo seu apoio e pela sua dedicação, que foram decisivos para que eu conhecesse a vida acadêmica. Obrigado pela minha iniciação científica, por ter me mostrado os primeiros passos neste conturbado mundo científico, pela introdução no ensino de ciências e na história e filosofia da ciência. Meu muito obrigado pelo exemplo de pessoa, pela amizade e pelo profissional que sempre foi.

Aos nossos colegas do grupo de estudos, que continuam ou que passaram por lá, pelas lições, pelos conselhos e pelas conversas nos corredores. Em especial, a Letícia Carvalho e Jonhkat, que participaram mais proximamente dessa minha jornada.

Aos meus queridos alunos, que compartilharam dessa jornada, ajudando-me a perceber as nuances do restrito e tenebroso caminho que é, no nosso país, garimpar por melhorias na educação.

Aos professores da Escola Estadual Presidente Roosevelt pelos exemplos de batalhadores por melhorias na nossa escola.

A minha primeira diretora, professora Maria de Lourdes, por ter acreditado em um jovem de 19 anos, franzino, cheio de sonhos e ideias, que sonhava em mudar a sua escola, dando-lhe a sua contribuição.

Aos membros do PPGECNM, pela ajuda e companheirismo mostrados na minha história por lá.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram nessa minha empreitada...

Como professor devo saber que sem a curiosidade que me move, que me inquieta, que me insere na busca, não aprendo nem ensino. Exercer a minha curiosidade de forma correta é um direito que tenho como gente e a que corresponde o dever de lutar por ele, o direito à curiosidade.

(Paulo Freire)

Resumo

A pesquisa no campo da Didática das Ciências vem mostrando, nas últimas décadas, que alunos do nível médio de ensino apresentam dificuldades de entendimento de conceitos básicos da ciência, em geral, e da Física, em particular. A literatura especializada aponta, como um dos eixos para uma educação científica de melhor qualidade, uma compreensão mais estruturada *sobre* a ciência. Este trabalho propõe a introdução de elementos da História e da Filosofia da Ciência no ensino médio como subsídio à aprendizagem de conceitos da óptica, de forma geral, e de aspectos relativos à natureza da ciência, de forma específica. Valendo-nos de episódios históricos sobre a controvérsia existente acerca da natureza da luz, principalmente nos séculos XVII e XVIII, como também de recortes da história da óptica no que diz respeito ao desenvolvimento de modelos explicativos do processo da visão, elaboramos e aplicamos uma unidade didática a duas turmas do ensino médio noturno de uma escola da rede pública estadual da cidade de Parnamirim (RN). A unidade envolveu, primordialmente, a leitura de três textos históricos contendo questões escritas, além da realização de um debate coletivo (“júri simulado”). A análise dos resultados indicou algumas dificuldades de superação das concepções alternativas relacionadas ao processo da visão e à natureza da luz. Apesar disso, entendemos que a unidade didática logrou êxitos no que diz respeito à aprendizagem da maioria dos alunos, tanto em relação a uma melhor compreensão da ciência como também de conceitos da óptica.

Palavras-chave: História da Ciência; Óptica; Natureza da Ciência; Ensino de Ciências.

Abstract

Researches in the field of Science Teaching have shown, in recent decades, that students from high school level have difficulties in understanding basic concepts of science, in general, and physics, in particular. The specific literature indicates, as a priority for a scientific education of better quality, a more structured understanding *about* science. This work proposes the introduction of elements of History and Philosophy of Science in high school as an aid to learning the concepts of optics, in general, and of aspects concerning the nature of science, specifically. Making use of historical episodes regarding the controversy on the nature of light, especially during the seventeenth and eighteenth centuries, as well as clippings of the history of optics in relation to the development of models that explain the process of vision, we formulated a teaching unit and implemented it on two night high school classes of a public school in the city of Parnamirim (RN). The unit involved, primarily, the reading of three historical texts containing written questions followed by a collective debate ("moot"). The results indicated some difficulties in overcoming the misconceptions related to the process of vision and the nature of light. Nevertheless, we believe that the teaching unit has succeeded in relation to the learning of most students, both in relation to a better understanding of science as well as concepts of optics.

Keywords: History of Science; Optics; Nature of Science; Science Education.

Lista de Figuras

Figura 1- Modelos de visão para Demócrito (à esquerda) e para Platão (à direita), apud García et al., (2007).	47
Figura 2 - Modelo de visão de Alhazen apud García et al., (2007)	49
Figura 3 - Propagação da luz por meio de ondas concêntricas.	57
Figura 4 - Modelo de propagação da luz proposto por Huygens	58
Figura 5 - Modelo proposto para formação das ondas luminosas	59
Figura 6 - Choque entre os corpúsculos de éter	60
Figura 7 - Representação geométrica feita por Huygens para explicar a reflexão....	61
Figura 8 - Esquema feito por Huygens para explicar a refração	64
Figura 9 - Capa da segunda edição do Óptica	65
Figura 10 - Refração baseada na teoria newtoniana (apud STAUB, 2007)	69
Figura 11 - Desenhos de Experimento usados por Desaguliers (apud Silva e Moura, 2008).	71
Figura 12 - Imagens de Newton pintadas por Kneller nos anos de 1689 e 1702, respectivamente (apud Moura, 2008).	72
Figura 13 - Difração segundo Newton (1675)	74
Figura 14 - Difração descrita por Newton (1679)	75
Figura 15 - Anéis de cores numa película fina de ar entre a superfície de duas lentes	76
Figura 16 - Esquema da experiência de Young. Os pontos So, S1 e S2 são orifícios.	79
Figura 17-Esquema feito por Young (SHAMOS apud MOZENA, 1999, p.14).....	79
Figura 18 - Desenhos representativos da categoria: para enxergar, miramos o objeto, feitos pelos alunos C-15 e A-22.	121
Figura 19 - Desenhos representativos da categoria: o olho emite um raio visual, feitos pelos alunos C-18 e A-33.	122
Figura 20 - Professor abrindo o júri simulado	147
Figura 21 - Grupo responsável por defender a luz como partícula (esquerda) e grupo opositor, defensor da luz como onda (direita)	147
Figura 22 - O júri popular do 2º ano A	147
Figura 23 - Desenho de uma janela por onde passa um feixe de luz utilizando como reforço na argumentação inicial do grupo defensor da luz como onda.....	149
Figura 24 - A aluna mostrando a interdependência dos feixes luminosos.....	150
Figura 25 - Imagem utilizada pela aluna na sua argumentação final.....	153
Figura 26 - O pronunciamento do veredicto pelo júri popular.....	154
Figura 27- Professor abrindo o júri simulado do 2º C	154
Figura 28 - Grupo defensor da luz como onda (esquerda) e grupo defensor da luz como partícula (direita)	155
Figura 29 - Júri popular do 2º C	155
Figura 30- Desenho extraído da resposta a questão 1 da aluna A-35	159
Figura 31 - Desenhos extraídos das respostas a questão 1 da atividade final dos alunos C-10 e A-08.....	160
Figura 32 - Desenhos extraído da justificativa da aluna A-29 para a questão 1 da atividade final.....	160
Figura 33 - Desenho extraído da resposta do aluno C-16 a questão 1 da atividade final.....	161

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Quadro comparativo com aspectos da Natureza da Ciência e sua correlação com fatos históricos referentes à História da Óptica.....	38
Tabela 2 - Relação dos conteúdos físicos abordados nos textos e as possibilidades de discussões relacionadas à natureza da ciência.....	90
Tabela 3 - Relação entre aspectos relacionadas à natureza da ciência e aspectos relativos à história da óptica extraídos do Texto 1.....	91
Tabela 4 - Relação entre aspectos relacionadas à natureza da ciência e aspectos relativos à história da óptica extraídos do Texto 2.....	91
Tabela 5 - Relação entre aspectos relacionadas à natureza da ciência e aspectos relativos à história da óptica extraídos do Texto 3.....	91
Tabela 6 - Análise das questões do Texto 1.....	92
Tabela 7 - Análise das questões do Texto 2.....	93
Tabela 8 - Análise das questões do Texto 3.....	93
Tabela 9 - Estimativa de tempo para aplicação dos textos históricos	94
Tabela 10 - Etapas e Tempo do Júri-simulado.....	97
Tabela 11 - Modelos de visão apresentados pelos alunos.....	120
Tabela 12 - Necessidade ou não de luz para enxergarmos um objeto.....	122
Tabela 13 - Respostas a questão 2 do teste diagnóstico.....	124
Tabela 14 - Respostas dos estudantes a questão 2 da atividade 1.....	128
Tabela 15 - Explicação científica dada pelos alunos.....	129
Tabela 16 - Respostas dadas a questão 3.....	130
Tabela 17 - Respostas à questão 2 do texto 2.....	134
Tabela 18 - Respostas à questão 3 da atividade 2.....	136
Tabela 19 - Aspectos da teoria ondulatória da luz.....	141
Tabela 20 - Resposta à questão 3 da atividade 3.....	142
Tabela 21 - Respostas referentes à questão 5 do texto 3.....	145
Tabela 22 - Respostas à questão 1 da atividade final.....	159
Tabela 23 - Respostas à questão 2 da atividade final.....	162
Tabela 24-Respostas à questão 3 da atividade final.....	165

Lista de Quadros

Quadro 1 - Resumo da pesquisa	83
Quadro 2 - Resumo da aplicação dos textos históricos	94
Quadro 3 - Respostas a questão 1 da atividade 1	127
Quadro 4 - Respostas a questão 4 da atividade 1	132
Quadro 5 - Respostas a questão 1 da atividade 2	133
Quadro 6 - Respostas a questão 4 da atividade 2	139
Quadro 7 - Respostas a questão 1 da atividade 3	141
Quadro 8 - Respostas a questão 4 da atividade 3	144
Quadro 9 - Comparativo entre as respostas das questões 3 da atividade 3 e da questão 2 da atividade final das alunas A-27 e A-35	163

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	12
1. O problema em questão	12
2. Objetivos da pesquisa	17
1. HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA	20
1.1. Por que História e Filosofia da Ciência?	20
1.2. Contribuições e oposições ao uso da História e da Filosofia da Ciência no ensino de Ciências.	26
1.2.1 Pontos positivos do seu uso	26
1.2.2. Oposições ao uso da HFC no ensino de ciências	28
1.3. A HFC como instrumento de construção de unidades didáticas	31
1.4. A Natureza da Ciência e o ensino de Ciências	34
1.5. Situando-se na problemática	39
2. CONFLITOS TEÓRICOS	46
2.1. Antecedentes: a natureza da luz antes do Século XVII	46
2.1.2. Mudanças de cenário: revoluções e mais controvérsias	50
2.2. Aspectos do modelo ondulatório de Huygens	56
2.3. Alguns aspectos do modelo corpuscular de Newton	64
2.4. Um alerta para o modelo corpuscular da luz	73
2.5 O ressurgimento do modelo ondulatório da luz	77
2.5.1 As ideias de Thomas Young	77
3. PERCURSO METODOLÓGICO	83
3.1. Apresentando o decorrer da pesquisa	83
3.2. O contexto da pesquisa: a caracterização dos sujeitos e do local da pesquisa .	86
3.3. Os instrumentos de coleta de dados	87
3.3.1. Questionário: pontos positivos e negativos	87
3.3.2 A aplicação dos textos: estratégia de abordagem, discussão em sala e análise das respostas.	88
3.3.3. O júri simulado: O que é? Por quê? Como fazer?	95
3.3.4. Os textos históricos e atividade final	98
4. ANÁLISE DOS DADOS	116
4.1. Primeiros passos: uma breve interpretação de todo o caminho	116
4.2. A atividade inicial	120
4.3. A aplicação dos textos históricos	127
4.4. Discutindo o júri simulado	146
4.5. A atividade final: encerrando uma caminhada... ..	158
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	169
REFERÊNCIAS	174
APÊNDICE	179

APRESENTAÇÃO

1. O problema em questão

No ano de 2002, comecei a lecionar Física na Escola Estadual Presidente Roosevelt em Parnamirim (RN) para turmas do ensino médio. Nas turmas do 2º ano, conceitos de Óptica, a exemplo de reflexão, refração, difração e interferência, foram trabalhados. Costumeiramente, esses conceitos eram apresentados aos alunos com base em formalismos geométricos¹ e em desenhos baseados tanto em raios de luz quanto em ângulos.

As aulas foram baseadas em manuais e livros didáticos que não muito diferiam dos já feitos nas décadas de setenta e oitenta do século XX. Diante dessa forma de ensino, não se percebia uma significação para o estudo da Óptica, já que tal metodologia geralmente provocava um sentimento de vazio, deixando um espaço a ser preenchido. Era normal surgirem dúvidas dos alunos sobre a utilização do formalismo geométrico para a explicação da reflexão e refração, por exemplo. Além disso, os alunos não percebiam conexões entre essa forma de estudar Óptica e o mundo que os cerca. Isso costumava gerar neles um desinteresse pelo estudo dessa matéria.

Isso era angustiante e preocupante para o professor, especialmente pelo nível de aprendizagem dos alunos ao terminar os seus estudos iniciais sobre a Óptica². Era notória a percepção de que, em razão da forma pela qual esse assunto era transmitido, os discentes não se interessavam para o estudo de fenômenos que envolvessem explicações relacionadas à Óptica.

Atrelado a esse fato, foi notado que lecionar Óptica usando algoritmos (desenhos de raios de luz e ângulos) mostrou-se cansativo, exaustivo e com uma total falta de significação para os alunos.

¹ Não se quer ser totalmente contrário ao uso de raios e ângulos no ensino da óptica, mas sim contrário ao uso da metodologia, que, em alguns casos, se esconde por trás desse uso. Não é incomum os professores ignorarem as concepções alternativas dos alunos e ministrarem aulas desconectadas com a relação ciência-tecnologia-sociedade, além de passarem visões equivocadas sobre a natureza da ciência. Sabe-se que esse formalismo geométrico teve sua importância na História da Ciência e não se quer depositar toda a culpa pelo déficit de aprendizagem no ensino da óptica a ele. O que se quer é dar uma nova roupagem ao ensino da óptica, indo, este trabalho, nessa direção.

² Não se quer dizer que os estudos da óptica, para os alunos, se encerram depois do formalismo adquirido naquele momento, mas o angustiante era o retorno dado pelos alunos, representado, em muitos casos, pela total incompreensão do por que utilizar os raios e ângulos, atrelada ao desinteresse pelo assunto, o que ocasionava um conturbado clima de insatisfação tanto nos alunos como no professor.

Dessa forma, o ensino da Óptica nas escolas de ensino médio normalmente se fundamenta no conteúdo da chamada óptica geométrica. Nesse contexto, as leis da reflexão e da refração e o formalismo associado são aplicados para a solução de problemas padrão. Os estudantes, contudo, têm, em geral, um modelo de luz e visão diferente do modelo científico.

De certo modo, esse fato pode ser explicado pela demonstração dos fenômenos ópticos, feita sem nenhuma preocupação em dar significado do estudo aos alunos (VANNUCCHI, 1996). O ensino da Óptica baseado estritamente em formalismo ópticos - uso de raios e ângulos, por si só -, em alguns casos, não denota, por exemplo, aspectos históricos, políticos e sociais. Acredita-se que as inserções desses aspectos podem dar outro direcionamento ao estudo da Óptica, dando um maior sentido ao seu estudo. Como exemplo, pode-se mencionar a necessidade que outras sociedades mais antigas tiveram de aperfeiçoar seus estudos em lentes, espelhos, lunetas, telescópios ou, até mesmo, aperfeiçoar as próprias teorias que regem esses equipamentos, fossem eles para fins científicos, econômicos ou mesmo militares. Todavia, não se deve esquecer que essas explicações, em muitos casos, foram dadas com base no formalismo geométrico.

Portanto, não se nega aqui o seu uso no ensino da Óptica, mas se critica a forma como esse formalismo é utilizado. Logo, acredita-se que a inserção, por exemplo, dos fatores citados acima podem não só creditar uma (re) elaboração de um conceito de ciência mais estruturado, mas justificar a utilização desse formalismo geométrico, tanto contestado pelos alunos em sala de aula e pela literatura especializada³.

Conectado a isso, o ensino da Óptica sustentado por manuais que apenas demonstram raios e ângulos nas suas explicações de fenômenos, como a reflexão e refração, descaracterizando o uso dessas ferramentas, somente reforça a importância das inúmeras concepções alternativas apresentadas e discutidas pela literatura especializada da área⁴, como exemplifica Dedes (2005). O autor lista algumas das concepções alternativas ligadas à visão:

(a) *Emissão simples da imagem*: o olho possui uma luminosidade independente da luz, fazendo a presença de uma fonte luminosa desnecessária;

³ Veja, por exemplo, Harres (1993); Gircoreano (1997); Silva, Martins (2009a); Silva, Martins (2009b).

⁴ Como exemplo de alguns trabalhos que se preocupam com essa temática, citemos: Goldberg; Mcdermott, 1986; Goldberg; Mcdermott, 1987; Osborne; Black, 1993; Harres, 1993; Gircoreano, 2001; Garcia et al., 2007.

- (b) *Emissão cooperativa*: o objeto constitui o epicentro do processo de visão, uma vez que é simultaneamente iluminado tanto pela fonte como pelo olho do observador;
- (c) *Emissão estimulada*: esse sistema exige a passagem de luz direta desde o objeto até o olho;
- (d) *Emissão estimulada com reflexão*: decorrente do modelo anterior, nele a luz é refletida na superfície do objeto e volta para o olho, transportando a imagem⁵;
- (e) *Dupla iluminação*: a fonte ilumina simultaneamente os olhos e o objeto. O olho mira o objeto, não existindo conexão com raios luminosos nem com a fonte luminosa. Diferente do modelo (a), nesse caso, o olho não possui luz própria.

Essas e outras concepções alternativas podem fornecer dados relevantes sobre as formas de explicação utilizadas pelos alunos, dando, igualmente, possíveis sinais das origens dessas explicações, ditas e encaradas, em alguns casos, como errôneas, sendo ignoradas pelos docentes (SILVA; MARTINS, 2009a).

Além disso, elas ajudam a identificar quais são os pontos que provocam maiores dificuldades no entendimento dos conceitos científicos. Diante desses dados, torna-se possível a elaboração de currículos mais adequados e estratégias de ensino que tornem o aprendizado mais significativo e interessante (SILVA; MARTINS, 2009a; SILVA; MARTINS, 2009b).

Já no que diz respeito aos livros didáticos, a falta de uma melhor discussão sobre as concepções alternativas relacionadas à visão e o seu papel na relação ensino-aprendizagem somente as reforçam. E, ainda, vale salientar que, em alguns casos, o livro didático serve como única ferramenta de pesquisa para os docentes. Logo, a falta de uma discussão sobre as concepções alternativas só fazem agravar a situação.

Diante desse cenário, era necessária uma nova abordagem para a inserção da Óptica, abordagem que fosse diferente da forma algorítmica baseada somente em desenho de raios e ângulos. Uma abordagem que pareceu conveniente, naquele momento, foi a possibilidade de inserir algumas discussões relacionadas à *História e Filosofia da Ciência* (HFC) no ensino da Óptica.

Conforme Vannuchi (1996), pode-se dar uma maior significação ao ensino da Óptica introduzindo problemas e características históricas de seu processo de

⁵ Vale ressaltar que nos dois modelos, o (c) e o (d), não se faz necessário o uso de uma fonte luminosa no processo de visão, posto que o objeto é detentor de luz própria. Portanto, mesmo parecido com a explicação científica, segundo a qual o olho recebe luz advinda também do objeto, o modelo científico necessita de uma fonte luminosa que lance um raio em direção ao objeto, diferente dos modelos (c) e (d).

construção. Além disso, a possibilidade de construção de novas estratégias didáticas poderia ser um fator preponderante para um momento de repensar práticas dogmáticas e ortodoxas.

Diante disso, a elaboração de estratégias didáticas direcionadas ao ensino médio que retratem as teorias sobre a luz, mesmo não sendo tarefa trivial, é uma iniciativa de transpor o saber sábio para a sala de aula (FORATO; MARTINS; PIETROCOLA, 2008). Nesse trabalho, os autores mostram uma possibilidade de se trabalhar em sala de aula diversas teorias sobre a luz. Dessa forma, eles conseguem inserir, de maneira histórica, conteúdos relacionados não apenas à Óptica, mas também à Natureza da Ciência em turmas do ensino médio.

Para Moura (2008), estudando um episódio histórico, como, por exemplo, o caso da receptividade das teorias newtonianas sobre a luz em grandes centros acadêmicos, como a Inglaterra e a França, a possibilidade de imbricar a História da Ciência à Natureza da Ciência torna-se uma ótima ferramenta para o manejo de várias abordagens sobre a ciência, melhorando a ideia que os alunos têm sobre ela.

Nessa direção, toma-se como ponto de partida a literatura especializada da área, que já apontava e reconhecia, há algum tempo, a relevância da HFC para o ensino de ciências, em geral, e de Física, em particular (ver, p.ex.: MATTHEWS, 1995; VANNUCCHI, 1996; BARROS; CARVALHO, 1998; CAMPANARIO, 1998; BATISTA, 2004; MARTINS, 2006; MARTINS, 2007a; SILVA; MARTINS, 2009a; SILVA, 2009). Diante desse cenário, percebe-se a possibilidade de resgatar alguns fatores que serviriam como elemento motivador para discussões referentes à própria fenomenologia da óptica (reflexão, refração, difração e interferência) e também para inserir em sala de aula discussões relacionadas à natureza do conhecimento científico.

Diante disso, percebe-se que a HFC poderia contribuir para uma melhor compreensão de diversos aspectos relativos à Natureza da Ciência, a exemplo da relação entre a ciência e a sociedade, a percepção da ciência como atividade humana, a falibilidade dos cientistas, entre outros. Além disso, alguns documentos do Brasil, como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (OCEM), já contemplam a perspectiva de inserção da HFC no ensino de ciências, apontando, ainda, a contextualização sócio-cultural do conhecimento como um dos eixos de competências a serem desenvolvidas pelos estudantes (BRASIL, 2002).

Como aponta a extensa literatura especializada (MARTINS, 2006; MARTINS, 2007a; SILVA; MARTINS, 2009a), a HFC retrata o lado social na ciência, o qual é de

suma importância para a formulação de teorias e pensamentos científicos. Para Vannucchi (1996), o papel da HFC é inegável e ignorar tais dimensões históricas e filosóficas da ciência favorece uma visão distorcida da mesma, gerando uma ideia de ciência simplista e formada por verdades incontestáveis.

A História da Ciência é caracterizada por episódios conflitantes de grande capacidade pedagógica e elaboração de materiais criativos, indo contra a prática tradicional dos manuais de ensino de ciências, que, em alguns casos, somente apresentam os algoritmos ópticos como elementos explicativos dos fenômenos estudados.

Um material de uso em sala de aula com tais especificações, fundamentados na História e na Filosofia da Ciência, é de suma relevância e importância para se defrontar com os obstáculos encontrados pelo ensino tradicional e é de caráter imprescindível para a mudança de uma forma simplista de encarar a ciência.

Então, foi a partir desses e de outros estudos (VANNUCCHI, 1996; MOURA, 2008; SOUZA; 2008; FORATO; MARTINS, PIETROCOLA, 2008; SILVA; MOURA, 2008) que se sentiu a necessidade de pesquisar sobre a inserção dessa abordagem no ensino da Óptica. Unido a isso, em alguns casos, a fragilidade ou a falta de materiais ou manuais que tenham essas prescrições deixam um longo trajeto ainda não percorrido.

Neste trabalho, tomando como base essa motivação inicial, será desenvolvida uma estratégia didática que vise a minimizar e preencher algumas lacunas relacionadas ao estudo da Óptica.

A proposta consiste em apresentar a Óptica de forma diferente da que é apresentada, muitas vezes, como já mencionado, apenas por meio do estudo de raios e ângulos. Inicialmente, realizou-se um estudo histórico sobre as principais controvérsias existentes em relação à natureza da luz, desde a Antiguidade Clássica até as primeiras décadas do século XIX, dando ênfase aos diferentes modelos elaborados na Antiguidade Clássica que tentavam explicar o mecanismo da visão.

Ainda nesse estudo histórico, foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre os diferentes modelos que tentavam explicar o que era a luz, baseados em modelos vibracionais-ondulatórios e corpusculares. Neste trabalho, deu-se destaque aos modelos desenvolvidos por Isaac Newton, Christiaan Huygens e Thomas Young.

Esse estudo histórico teve a finalidade de fundamentar os contextos nos quais os fenômenos ópticos, como o mecanismo da visão, a reflexão, a refração, a difração e a

interferência, foram discutidos e elaborados, possibilitando a elaboração das estratégias de ensino que são discutidas nesse trabalho.

Conseqüentemente, foi desenvolvida uma estratégia fundamentada na História e na Filosofia da Ciência, por meio da qual se apresenta aos docentes que desejem levar a HFC ao ensino da Óptica toda a fundamentação e discussão para tal. Forma-se, assim, um percurso que pode ser seguido para a aplicação de textos históricos, elaborados neste trabalho, e até para a explicação passo a passo de outras práticas montadas e elaboradas que têm como fio condutor a HFC.

Ainda neste trabalho, apresenta-se a fundamentação de uma prática de argumentação, baseada em outros trabalhos da mesma característica (GUERRA; REIS; BRAGA, 2002; SILVA; MARTINS, 2009a), na qual os alunos são convidados a participar de forma ativa de um debate. Tal prática argumentativa chama-se *júri simulado*.

Por fim, foi apresentada a discussão da aplicação da estratégia de ensino e os resultados obtidos por meio dela.

Este trabalho foi realizado em uma escola pública do Estado do Rio Grande do Norte, que é localizada na cidade de Parnamirim. Essa estratégia didática foi aplicada em duas turmas do 2º ano do ensino médio do turno noturno da Escola Estadual Presidente Roosevelt.

2. Objetivos da Pesquisa

Neste estudo, em especial, pretendeu-se oferecer subsídios que possam vir a responder à seguinte questão-foco: com a incompreensão dos alunos e, em consequência, a falta de significação da Óptica para eles, a história e a filosofia da ciência seriam uma boa solução para a melhoria do seu ensino?

Valendo-se do que foi discutido na questão anterior a respeito da incompreensão dos alunos em relação aos conteúdos da Óptica e à sua conseqüente falta de significação para os estudantes e como será visto no capítulo 1, no qual se discorrerá acerca dos trabalhos que mostram a importância da HFC, considera-se que o trabalho com conteúdos históricos e filosóficos podem ser uma boa solução para esse problema de aprendizagem e significação da Óptica. No entanto, surge uma questão importante: como fazer?

A questão apresentada faz referência direta ao problema citado pela literatura específica da área. Pretende-se não só estudar maneiras de responder a essa pergunta, mas também apresentar aos docentes e alunos uma forma diferente de abordar a Óptica.

O presente estudo tem por objetivo geral elaborar, aplicar e avaliar uma estratégia de ensino da Óptica em turmas de 2º ano do nível médio, embasada pela História e Filosofia da Ciência.

Dessa forma, a finalidade deste trabalho é identificar os processos que esse estudo possa vir a melhorar no que diz respeito à compreensão de conceitos da Óptica, principalmente os de reflexão, refração, difração e interferência, propiciando aos estudantes uma melhor aquisição desses conhecimentos físicos.

Do objetivo geral citado acima, apresentam-se os seguintes objetivos específicos:

- Criar e aplicar estratégias e ferramentas para o ensino da Óptica;
- Elaborar critérios de análises para a metodologia usada em sala de aula;
- Analisar e avaliar a compreensão dos alunos em relação aos conceitos físicos abordados em sala de aula.

Com as possíveis conclusões desses objetivos, espera-se contribuir para o melhor entendimento de conceitos relacionados à Óptica, possibilitando uma maior compreensão dos seus conceitos. Atrelado a isso, pretende-se oferecer aos docentes *uma* possibilidade de se trabalhar a Óptica, baseando-se em argumentos diferentes dos que são costumeiramente criticados pela literatura da área.

A fim de proporcionar uma visão geral do trabalho de pesquisa realizado, segue uma breve descrição dos assuntos abordados em cada um dos capítulos. A estrutura do escrito apresenta-se da forma descrita abaixo:

No capítulo 1, discutem-se os fundamentos para introdução da HFC no ensino de ciências, apontando-se o porquê de um estudo baseado na HFC com seus pontos positivos e negativos. Será apresentada uma discussão centrada na Natureza da Ciência (NdC) bem como uma forma de utilizar aspectos da Natureza da Ciência em textos históricos. Por fim, será refletido como proceder na construção de unidades didáticas fundamentadas pela História e pela Filosofia da Ciência.

No capítulo 2, será apresentado um recorte da História da Óptica, pelo qual se mostrarão, como enfoque principal, as constantes controvérsias existentes sobre a natureza da luz. A empreitada será iniciada na Antiguidade Clássica, período sobre o qual se destacará a presença de diferentes modelos que pretendiam explicar o

mecanismo da visão. Esses modelos, no seu cerne, mesmo que de forma secundária, mostravam preocupações em explicar também o que seria a luz.

Passando pela Idade Média e chegando aos séculos XVII, XVIII e XIX, entra-se nos embates científicos travados por René Descartes, Robert Hooke, Christiaan Huygens, Isaac Newton e Thomas Young acerca do que seria a luz e de alguns fenômenos ópticos. Nesse período, viriam a surgir dois grandes modelos que serviriam de fundamentação para os mais variados modelos desenvolvidos naquela época: um modelo de natureza corpuscular para a luz e seu opositor de natureza ondulatória.

Finalmente, será desenvolvido um estudo mais específico de alguns modelos que tinham a ambição de explicar o que era a luz, principalmente os de Christiaan Huygens, Isaac Newton e Thomas Young, discutindo de forma mais sucinta suas ideias sobre alguns fenômenos ópticos, além de suas explicações para o que seria a luz.

No capítulo 3, será abordado o processo de elaboração, aplicação e avaliação da estratégia de ensino, destacando todo o percurso metodológico desenvolvido no decorrer deste trabalho. Será dada ênfase à aplicação, discussão e avaliação dos textos históricos, além de haver toda uma fundamentação teórica relacionada à prática do júri simulado.

No capítulo 4, será feita uma análise crítica da aplicação de todas as atividades e práticas desenvolvidas, por meio da qual se estabelecerá uma conversa minuciosa com os dados adquiridos.

Para concluir esta dissertação, no quinto capítulo, serão apresentadas as considerações finais, que possuem a finalidade de resumir toda a sistematização do trabalho e dar-lhe cabo mediante uma conclusão.

1 - HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA

Neste capítulo, são apresentadas e discutidas as bases teóricas entre a história, a filosofia e o ensino de ciências e ainda serão abordados alguns aspectos da natureza do conhecimento científico emergentes de discussões de cunho filosófico.

Este capítulo servirá, também, para se discutir, de forma inicial, a construção de atividades que possuam no seu arcabouço a História e a Filosofia da Ciência. Mesmo que essas discussões sejam direcionadas, em princípio, ao ensino de Física no segundo grau, e, em especial, a um episódio específico da História da Óptica, elas podem ser repensadas para outros conteúdos da Física.

1.1. Por que História e Filosofia da Ciência?

É sabido que mudanças didáticas não são fáceis e muito menos, em alguns casos, vistas com bons olhos. Sabe-se que o ensino médio, principalmente nas redes privadas, sofre influência direta de exames como o vestibular.

Com a expansão do ensino superior, a alta expectativa de ingressar em algum curso universitário, por meio do exame vestibular, vem ocasionando uma influência significativa nos currículos secundários, dando-lhes uma característica quase de dependência a tal exame de seleção. De certa forma, os currículos escolares são selecionados com a finalidade de realização de um bom vestibular⁶, e, mais atualmente, com a renovação, encabeçada pelo Ministério da Educação (MEC), do processo de entrada em algumas universidades, tem-se uma nova mudança de cenário, pela qual os conteúdos, principalmente nas redes particulares, tenderão a seguir os padrões do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

Notadamente, alguns exames, impregnados por uma herança formal e dogmática, exigem dos docentes uma postura semelhante à das provas e exames realizados por esses órgãos, que, quase sempre, deixam de lado discussões de natureza tanto histórica como filosófica no ensino de Ciência.

Nessas condições, é comum as aulas de ciência contribuírem de forma significativa para um ensino fragmentado e sem significação, condenando o aluno a um

⁶ Vale salientar que a Física é considerada uma das disciplinas diferenciais na realização de um bom vestibular, dando-lhe um ar de nobreza.

dogmatismo teórico e matemático, distanciando o discente de todo encantamento e beleza que a ciência possui. Nesse ponto, converge-se com Zanetic (1989), quem, na sua tese de doutorado, discute a finalidade dessa física escolar que é ditada pelos exames vestibulares⁷, sendo a finalidade do ensino médio, em muitos casos, somente o treinamento para a resolução desse exame.

Então, para que serviria a Física para quem não irá seguir um curso superior voltado para as ciências exatas? Será necessária a elaboração de currículos para os alunos que desejam ingressar em carreiras das ciências exatas ou das engenharias? Ou, ainda, outro tipo de currículo para os que não irão seguir carreiras nas ciências exatas? E os que não prosseguiram para o ensino superior, como ficam?

Como se pode perceber, o problema do currículo de ciência é algo bastante complexo, não tendo este trabalho a pretensão de apontar uma solução única para as questões acima. Acredita-se, contudo, que será necessária a elaboração de, pelo menos, um currículo ou de estratégias que visem a propiciar bons resultados para todos os grupos descritos.

Todavia, não é somente o vestibular que serve como entrave para um ensino de ciências mais qualificado. O próprio sistema escolar, seja ele público ou particular, ora com o engessamento dos seus currículos ultrapassados⁸, ora com suas práticas escolares sem significação para os alunos, é responsável, em alguns casos, pela falta de interesse pelas aulas de ciências. Em algumas ocasiões, ela é gerada pelos próprios conteúdos vistos em sala, pois muitos deles mostram-se distantes do dia-a-dia dos alunos.

Outro problema latente é observado por Matthews (1995), para quem a carga de conteúdos a que os alunos são submetidos é totalmente exacerbada, dificultando a compreensão de boa parte dos conteúdos ministrados. Esse problema, como mostra o autor, já era apresentado por Ernst Mach⁹, no século XIX. Ele dizia que:

[...] a quantidade de matéria necessária para uma educação de valor (...) é muito pequena (...) Não conheço nada mais deplorável do que as pobres criaturas que aprenderam além do que deviam (...) O que elas conseguiram

⁷ A finalidade do exame vestibular é de avaliar o conteúdo específico de Física, mas como avaliar outros elementos importantes no processo de ensino-aprendizagem em ciências, a exemplo da capacidade de pensamento? Será que o exame vestibular favorece a elaboração de uma ideia equivocada sobre o que é ciência? Entretanto, por não ser o objetivo deste trabalho, não será alongada a resolução dessa pergunta.

⁸ Em alguns casos, os currículos escolares apresentam-se repletos de conteúdos, muitos dos quais só apresentam significado, para lá estarem, por serem cobrados pelos exames de seleção para as universidades.

⁹ Físico e filósofo austríaco, no início do século XX, foi o titular da cadeira de história e teoria da ciência indutiva na Universidade de Viena, onde desenvolveria estudos nessa área de pesquisa.

foi uma teia de pensamentos frágeis demais para fornecer uma base sólida, porém complicados o bastante para gerar uma confusão (MACH apud MATTHEWS, 1995, p.196).

Para Zanetic (1989), a alta carga de conteúdos favorece mais para a desinformação do que para a informação. Nesse mesmo sentido, como relatam os PCN, na medida em que o ensino de Ciências e, em particular, o ensino de Física, não contribuem para a formação de um cidadão crítico e reflexivo, o aluno formado por ele não será capaz de, pelo menos, compreender os princípios básicos das ciências, e, também, não os poderá aplicar no seu dia-a-dia, potencializando posturas ingênuas em face das credices e superstições, desvinculando-se, totalmente, da finalidade do ensino de ciências.

Nesse contexto, as aulas de ciências possuem uma natureza bastante autoritária, em que o processo de ensino-aprendizagem, muitas das vezes, é marcado pelo dogmatismo do professor, ocorrendo, em alguns casos, a distribuição de conhecimentos efêmeros e desordenados, marcados pelo signo da autoridade (LOPES, 1993).

Nesse processo de ensino, como o aluno não possui voz atuante, acaba funcionando como um depósito de informações. Percebe-se o domínio da mente do aluno por parte do docente. Portanto, julga-se inconcebível o aluno acreditar, por exemplo, em uma lei da Física, sem estar convencido de sua racionalidade.

Defende-se aqui que a função do professor consiste em comunicar, sem imposições dogmáticas, a dinâmica dos conteúdos, promovendo um diálogo entre o saber científico (cultura científica) e o saber do aluno. Considerando que a ciência seja marcada por constantes reformulações, sendo o saber, pois, dinâmico e constantemente discutido, acredita-se que as aulas de ciências também sejam marcadas por tal característica.

Defende-se, ainda, que não é só necessária uma tomada de consciência pontual que venha a ser a solução ao problema do ensino de ciências, mas é preciso romper com esse tratamento dogmático dado às ciências, e, em particular, à Física.

Se, de fato, busca-se uma mudança nas salas de aula, para que os alunos não construam conhecimentos científicos efêmeros e desordenados, que reflitam apenas uma vaga lembrança de conceitos prontos, mas que discutam as dimensões intelectuais, técnicas, pessoais e sociais da atividade científica, novas práticas devem ser pensadas para tal feito.

Diante disso, é preciso uma mudança de postura para que o interesse pela ciência seja resgatado nas salas de aula. Então, quais seriam as possibilidades para uma melhoria nesse cenário que se acabou de descrever?

Segundo a literatura da área (HARRES, 1999; ADÚRIZ-BRAVO, 2005; EL-HANI, 2006), um ensino de ciências preocupado com a inserção de discussões sobre a Natureza da Ciência possivelmente estará favorecendo a desconstrução de uma visão de ciência distorcida e equivocada, por exemplo:

- a ciência é neutra;
- a ciência detém um critério absoluto de verdade;
- a ciência é afastada de sentimentos (amor, paixão, crenças e dúvidas);
- a ciência é linear e cumulativa.

Dessa forma, procura-se uma educação que vise a minimizar a fragmentação intelectual, fato constantemente encontrado nas salas de aula, inserindo-a num panorama mais amplo.

Diante disso, emerge uma necessidade latente de apresentar um formalismo matemático atrelado a uma experimentação e também surge a necessidade de desenvolver no aluno um panorama de evolução de teorias centrais constituintes da ciência e da física, em particular (ZANETIC, 1989).

Seguindo esse direcionamento, a literatura especializada (MATTHEWS, 1995; VANNUCCHI, 1996; MARTINS, 2001; MARTINS, 2006; MARTINS, 2007a; SILVA, 2009) reconhece a relevância da História e da Filosofia da Ciência (HFC) no ensino de Ciência, pois ela pode oferecer subsídios à aprendizagem de teorias científicas, além de possibilitar discussões relevantes sobre a natureza do conhecimento científico, contribuindo para uma melhor compreensão de diversos aspectos relativos à Natureza da Ciência, por exemplo: a relação entre a ciência e a sociedade, a percepção da ciência como atividade humana, a falibilidade dos cientistas, entre outros.

Para Vannucchi (1996), os estudantes, em uma educação voltada para a ciência, devem ser introduzidos a fatores intelectuais, técnicos, pessoais e sociais da atividade científica. Contudo, a forma pela qual a ciência é *repassada* para os estudantes já não garante mais a aprendizagem de conteúdos conceituais básicos e muito menos possibilita a discussão de aspectos referentes à natureza do conhecimento científico.

Assim, a educação científica oferecida aos discentes mostra-se de natureza fragmentada, de modo que a ciência nunca se apresenta relacionada com política,

religião e cultura (ZANETIC, 1989). Diversos fatores e elementos são responsáveis por uma educação científica de resultados insatisfatórios. Dentre eles, cita-se a ineficácia desse modelo de educação de natureza formal e dogmática.

Como relata Matthews (1995) e Vannucchi (1996), tal ineficácia é apontada por estudos realizados, por exemplo, nos E.U.A., cujos resultados mostram a falta de compreensão de grande parte da população escolarizada quando indagada sobre conceitos científicos básicos. E, mais especificamente na Óptica, estudos (GOLDBERG; MCDERMOT, 1986; GIRCOREANO; PACCA, 2001; GARCÍA et al., 2007; IPARRAGUIRRE, 2007; SILVA; MARTINS, 2009a) também relatam a falta de compreensão dos estudantes no que diz respeito a conceitos básicos da Óptica.

Portanto, *uma* das possibilidades constantemente discutida para a melhoria desse panorama de falhas e improdutividade no ensino de ciências é a inserção da história e da filosofia da Ciência. Essa linha de investigação sobre as contribuições da HFC a esse campo de ensino já possui uma larga tradição. Conforme ressalta Solbes e Traver (1996), suas primeiras investigações já ocorreram na década de 50 do século passado, quando se iniciam estudos na Universidade de Harvard por James B. Conant¹⁰ em 1957. Ele ficou conhecido em razão de ser o responsável por introduzir Thomas Kuhn à historiografia da Ciência. No seu livro *A estrutura das revoluções científicas*, Kuhn diz:

Foi James B. Conant, então presidente da Universidade de Harvard, quem primeiro me introduziu na História da Ciência e desse modo iniciou a transformação de minha concepção da natureza do progresso científico (KUHNS, 2003, p.16).

Com a revolução historiográfica iniciada, dentre eles, por Thomas Kuhn, estudos com esse objeto se multiplicariam com o passar do tempo.

Nas décadas seguintes, o estudo da História e da Filosofia da Ciência e, em especial, a sua aplicação no ensino vêm se tornando um tema de inúmeras pesquisas por parte de historiadores, filósofos e educadores em ciência, as quais, quase sempre, culminam em dissertações de mestrado e teses de doutorado (MARTINS, 2001).

¹⁰ O trabalho pioneiro de Conant foi o *Harvard Case Histories in Experimental Science*, publicado na Cambridge: Harvard University Press em dois volumes. Nesse trabalho, Conant estuda a influência de casos históricos baseados na análise de processos chaves no desenvolvimento da ciência com suas implicações filosóficas, sociais entre outras.

Nas últimas décadas, a inserção da história e filosofia da ciência na educação científica já vem sendo proposta em muitos países, onde vários projetos¹¹ nessa linha de pesquisa foram desenvolvidos com o intuito de angariar melhores resultados para o fracasso encontrado na educação em ciências (MATTHEWS, 1995).

Como aponta Matthews (1995), no século passado, foram desenvolvidas várias conferências e eventos que apontavam para uma aproximação da HFC com o ensino de Ciências:

O primeiro deles foi a realização da primeira conferência internacional sobre 'História, Filosofia e o Ensino de Ciências' na Universidade Estadual da Flórida, em novembro de 1989. O segundo foi uma série de conferências patrocinadas pela Sociedade Européia de Física sobre 'A História da Física e o seu ensino' realizadas em Pávia – cidade ao sul de Milão – (1983), conferências sobre a 'História e o ensino de Ciência' realizadas na Universidade de Oxford em 1987 com apoio da Sociedade Britânica de História da Ciência (MATTHEWS, 1995, p.166).

Ainda como ressalta Matthews (1995),

A História, a Filosofia e a Sociologia da Ciência não tem todas as respostas para essa crise, porém possuem algumas delas: podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tomar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para a superação do mar de significação que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são receitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam (MATTHEWS, 1995, p.165).

No Brasil, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) como as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (OCEM) já contemplam a perspectiva de inserção da HFC no ensino de ciências, apontando, também, a contextualização sócio-cultural do conhecimento como um dos eixos de competências a ser desenvolvido pelos estudantes (BRASIL, 2002)

Entende-se, conforme anteriormente referido, que a HFC pode contribuir para uma melhor compreensão de diversos aspectos relativos à Natureza da Ciência, como a relação entre a ciência e a sociedade, a percepção da ciência como atividade humana, a falibilidade dos cientistas, entre outros. Além disso, a utilização da HFC pode propiciar

¹¹ Citamos como exemplos esses projetos: *American Association for the Advancement of Science* nos E.U.A. Na Inglaterra, o *The Liberal Art of Science*. Já no Brasil, cuja área dos estudos formais é, em geral, liderada pelo Ministério da Educação, encontramos propostas nesse sentido nos Parâmetros Curriculares Nacionais.

um melhor aprendizado dos próprios conceitos científicos (SILVA; MARTINS, 2008; SILVA; MARTINS, 2009b; SILVA, 2009).

Esse alargamento de estudos sobre a HFC despertaria também alguns questionamentos, por exemplo: que tipo de *história* sobre a ciência seria levada às salas de aula? Que tipo de enfoque deveria ser dado à História da Ciência para fins pedagógicos? Que história da ciência deveria estar presente em cursos de formação de professores?

1.2. Contribuições e oposições ao uso da História e da Filosofia da Ciência no ensino de Ciências.

Nos dias atuais, a incorporação da HFC na educação é, com ressalvas, bem aceita e difundida no meio acadêmico, onde, normalmente, já nos principais eventos¹² que abordem a temática da educação científica, pode-se encontrar uma gama extensa de trabalhos nessa direção.

Entretanto, até essa aceitação acontecer, houve um longo percurso de discussões em torno desse tema. A seguir, serão abordados alguns argumentos históricos a favor e contra o uso da HFC no ensino de Ciências.

1.2.1. Pontos positivos do seu uso

Mesmo com todas as limitações apresentadas, no decorrer de décadas, ao uso da HFC (veja a seção seguinte), ela e a educação científica, através do prisma da aproximação, revelam, nos dias atuais, alguns pontos consensuais, destacados e trabalhados por pesquisadores e professores de ciências. Alguns desses aspectos são abordados por Matthews (1995), Vannucchi (1996), Lombardi (1997), Peduzzi (2001), El-Hani (2006), Martins (2006), Martins (2007a), Silva e Martins (2008), Silva e Martins (2009a), Silva (2009):

¹² Alguns eventos na área de ensino de Física no Brasil, que geralmente abordam discussões e sessões específicas para a HFC são, por exemplo: Simpósio Nacional de Ensino de Física, Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF), financiados pela Sociedade Brasileira de Física (SBF), e o Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências, financiado pela Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciência (ABRAPEC).

- Proporcionar o estudo mais adequado de equações relacionadas a conceitos e teorias que, em algumas ocasiões, vêm se mostrar sem significação aos estudantes. Nas salas de aulas de ciência, muitas vezes as equações são, simplesmente, repassadas aos alunos. Nesses casos, os discentes manifestam apenas uma preocupação em aplicá-las em problemas previamente determinados pelos docentes;
- Servir como uma ferramenta no trabalho das concepções alternativas mostradas pelos alunos. Hoje em dia, a Didática das Ciências já sinaliza a semelhança que existe entre as concepções alternativas mostradas em sala, por alguns alunos, e modelos teóricos criados por cientistas no passado. Acredita-se que a HFC atrelada às concepções alternativas possam não só amenizar o erro dos alunos em sala de aula, como também possam apontar para os docentes caminhos e possibilidade para se trabalhar com esses erros;
- Desmistificar o método científico, possibilitando ao aluno um estudo mais detalhado do trabalho dos cientistas, mostrando, mesmo, que nem sempre é preciso, para a aceitação ou não de uma teoria, finalizar o processo por meio de um experimento com caráter de “verificação” ou mostrando, ainda, que diferentes cientistas se valem de metodologias diferentes para realizar as suas pesquisas, afastando-se, em muitos casos, dos conhecidos passos do famoso método empírico-indutivista;
- Proporcionar o estudo e elaboração de novas estratégias de ensino que possibilitem dar uma maior significação ao estudo de conceitos e teorias físicas;
- Mostrar a dimensão coletiva do conhecimento, mostrando que a ciência, na sua evolução, é (re)pensada por mais de uma pessoa. Dessa forma, desmistificando a ideia de *gênio da ciência* ou *pai da ciência*. Esse ponto é crucial, pois é comum, em sala de aula, os alunos pensarem que a ciência é um produto acabado, em que os cientistas são encarados como heróis ou seres iluminados. Mostrando que os cientistas erram (tópico abaixo), é possível encorajar novos jovens a adentrarem no mundo científico;
- Mostrar tanto os acertos quanto os erros na ciência. Mostrar os problemas, dificuldades e dilemas que rodeiam o cientista na formulação de uma teoria.

- Mostrar a importância de fatores não científicos, como a influência de fatores sociais, políticos e religiosos no desenvolvimento de uma teoria, apontando até a propaganda, o uso de autoridade, a aliança com poderosos e chefes de estados como argumentos válidos na aceitação ou não de uma teoria.
- Mostrar como o pensamento científico transforma-se com o passar do tempo, assinalando que a ciência não é estática nem muito menos acumulativa, mas se vale de momentos de rupturas, quando modelos, ideias e teorias são transformadas.
- Contribuir para o entendimento da relação ciência, tecnologia e sociedade.

Destarte, uma das funções do ensino de ciência que priorize algumas dessas premissas é a de incrementar a cultura geral do aluno, ajudando-o a, dentre outras coisas, elaborar um conceito menos equivocado do que é ciência.

1.2.2. Oposições ao uso da HFC no ensino de ciências

Apesar de os argumentos a favor do uso da História e Filosofia da Ciência, em primeira instância, serem de bases epistemológicas bem sólidas, muitas críticas existiram a tais argumentos, oriundas de diversos autores.

Já no ano de 1970, no Massachusetts Institute of Technology (MIT), ocorreu um simpósio no qual se questionava e discutia sobre o uso da História da Ciência no ensino de ciência. Nesse evento, abordaram-se as inúmeras críticas que permeavam o imaginário de alguns cientistas, historiadores e filósofos da ciência daquela época. Para eles, em alguns casos, o uso de conteúdos históricos com finalidades pedagógicas culminava em uma história simplificada, uma pseudo-história ou em uma história de má qualidade.

Um dos críticos do uso da HC na Física era Klein, como descreve Matthews (1995):

Estamos, em outras palavras, planejando selecionar, organizar e apresentar esses materiais históricos, de forma, definitivamente, não histórica, ou até talvez, anti-histórica. Isto é bastante temerário, se estamos tão preocupados com a integridade e a qualidade da história que ensinamos quanto estamos

preocupados com a física (KLEIN, 1972, p.12 apud MATTHEWS, 1995, p.173).

Ele prossegue, dizendo:

Uma razão pela qual é difícil fazer-se com que a história de física atenda as necessidades do ensino de física é a diferença fundamental que há entre a perspectiva do físico e do historiador. (...) É tão difícil imaginar-se a combinação da riqueza da complexidade do fato, por que anseia o historiador, com o simples corte agudo do fenômeno que a física procura (KLEIN, 1972, p.16 apud MATTHEWS, 1995, p.173).

Como aponta Matthews (1995), outra crítica é direcionada aos professores que, em alguns casos motivados por objetivos pedagógicos, fazem uma abordagem seletiva e parcial da História da Ciência, culminando, quase sempre, em uma má história. Nesse tipo de história, erros podem acontecer por causa de omissões ou a história pode perder o seu padrão de qualidade, acarretando dogmatismo ou ainda criando falsos padrões de verdade.

Lombardi (1997) indaga-se sobre a possibilidade de uma boa história possuir um caráter completo e exaustivo. Para ele, o passado constituiu uma fonte inesgotável de informações e é tarefa do historiador organizá-lo e selecioná-lo. Dessa forma, cabe ao professor a tarefa de utilizar da melhor maneira possível esse material produzido de antemão pelo historiador da ciência, fazendo as intervenções pedagógicas necessárias.

Parece que uma das várias complicações residia na relação do educador com a HC. Seria papel do educador escrever um texto histórico? Acredita-se que não. Mas o educador deverá possuir ferramentas, estas adquiridas em cursos de formação inicial ou continuada, que o possibilitem reconhecer se o texto histórico é ou não de boa qualidade.

Matthews (1995) tenta esclarecer a distinção entre escrever história e utilizá-la em sala de aula. Segundo o autor, pode existir um comprometimento da história escrita com fins pedagógicos. Entretanto, vale ressaltar que o professor de ciências deve ser avaliado com critérios diferentes daqueles com que se avalia o historiador da ciência.

No ano de 1979, outro autor, chamado Whitaker, no seu artigo *História e quase-história no ensino de física*¹³, aprofunda os argumentos de Klein. Nesse trabalho, ele apresenta a História da Ciência baseada numa reconstrução dos fatos históricos,

¹³ WHITAKER, M.A.B. History and Quasi-history in Physics Education. **Physics Education**, v.14, p.239-242, 1979.

posicionando os acontecimentos do passado numa cronologia até o presente. Esse tipo de história da ciência ficou conhecido por *quase-história*.

Nessa abordagem, é comum prevalecer a ideologia científica do autor ou do historiador da ciência, que narra os fatos históricos. Dessa forma, é comum serem renegados ou até apagados da história escorregões de grandes cientistas, como Isaac Newton, Galileu e Einstein, com a finalidade, quase sempre previamente definida, de enaltecer o lado *genial* do cientista.

Para Whitaker, a quase-história é o resultado do sentimento e da necessidade de autores darem vida a fatos, construindo a Física com propósitos próprios: sustentar uma versão metodológica científica. Diante disso, é muito comum ocorrer a falsificação da história, dando a essa nova história reconstruída uma característica de história genuína (MATTHEWS, 1995).

Na História da Ciência (HC), talvez, não exista um personagem tão controverso quanto Galileu (ZYLBERSZTAJN, 1988; MATTHEWS, 1995). A diversidade de perspectiva sobre suas obras, conforme aponta Zylbersztajn (1988), já estimulou e vem estimulando vários debates e vários conflitos. Entretanto, como aponta o mesmo autor, no contexto educacional não é incomum encontrar uma situação monolítica, na qual a versão empirista de Galileu é fortemente cristalizada entre os professores e nas salas de aula. No artigo de Matthews (1995), o autor se vale dos trabalhos de Maclachlan, quem aponta duas das versões galileanas debatidas no âmbito da HC:

O Galileu de Koyré parecia viver num mundo extremamente filosófico: de platonismo, copernicianismo, de racionalismo e de experimentos com o pensamento. O Galileu de Drake, por outro lado, é mais ativo e menos contemplativo (...) um observador atento, um experimentador e um inventor (MACLACHLAN, 1990, p.124 apud MATTHEWS, 1995, p.175).

Parece que é difícil ocorrer uma objetividade absoluta na HC. Toda a construção de um relato histórico implica decisões por parte do historiador a respeito de fatores relevantes para os fatos que deseja apresentar. Essas decisões são encontradas nas suas convicções históricas, sociais, ideológicas e epistemológicas.

A convicção epistemológica do autor é importante na hora da construção de um relato histórico. Os historiadores da ciência, quando escrevem os episódios históricos, manifestam as suas convicções epistemológicas. Por consequência, elas influenciam diretamente na narração dos fatos históricos estudados pelos mesmos. E são justamente esses estudos históricos que, em muitos casos, serão trabalhados pelos professores de ciências em sala de aula.

Será que a formação inicial dos educadores em ciência é capaz de lhes oferecer ferramentas necessárias para que eles possam diferenciar e entender as diferentes versões da HC presentes na literatura? E, ainda, até que ponto isso influenciará na utilização de textos históricos e elaboração de estratégias didáticas pelo docente?

Para Zylbersztajn (1988), no que diz respeito às múltiplas facetas de Galileu, é mais difícil encontrar a adoção de uma postura eclética pelo filósofo e historiador. Entretanto, para os educadores, é bastante salutar o pluralismo de versões. Essas versões podem ser exploradas pelos docentes em sala de aula para se trabalhar as múltiplas facetas do conhecimento científico.

Dessa forma, mesmo o historiador mais especializado na elaboração de um texto histórico não está totalmente isento de contestações, sejam elas por convicções epistemológicas ou ideológicas. Finalmente, este estudo acredita que cabe ao docente saber reconhecer a potencialidade do texto ao usá-lo em sala. Essa capacidade está atrelada à qualidade dos cursos sobre a HFC feitos pelos docentes na sua formação inicial ou continuada. Portanto, o educador com o mínimo de conhecimento sobre a HFC poderá evitar visões equivocadas sobre a HC e sobre a NdC, tanto na sua prática como nos textos selecionados.

Em função dos prós e contras discutidos acima, defende-se, a partir dos argumentos apresentados, que a HFC tem uma potencialidade não só no processo de reestruturação do pensamento docente sobre o que é ciência, mas também como uma ferramenta interessante para desenvolver novas estratégias de ensino que levem em conta, principalmente, as concepções alternativas dos alunos. Em especial, vale-se da HFC para a elaboração de várias atividades e práticas descritas no decorrer da presente pesquisa.

1.3 A HFC como instrumento de construção de unidades didáticas

A HFC possui um potencial pedagógico extremamente favorável ao docente que tenha por ambição lograr melhores resultados em sala de aula. A sua inserção no ensino possibilita a construção de diversas estratégias didáticas que abordem práticas pedagógicas diferentes, por exemplo: construção de textos históricos, peças teatrais, debates, experimentos históricos, entre outras.

Uma unidade didática que apresente, no seu cerne, a HFC pode funcionar como uma boa saída para a constante desmotivação encontrada nas aulas de ciência. No Brasil, desde a criação dos PCN, vários programas relacionados à educação científica tentam elaborar saídas para o pessimismo que aflora nas aulas de ciências. Nesse sentido, estratégias didáticas que envolvam a HFC podem ser mecanismos relevantes para apresentar aos alunos uma ciência mais viva e dinâmica.

Uma das possibilidades que é muito utilizada, nos dias atuais, são os textos históricos com fins pedagógicos. Em muitos casos, eles pretendem mostrar aos alunos uma ciência diferente da que, geralmente, é apresentada nos livros didáticos e nas salas de aula. Espera-se que, diante de materiais dessa natureza, o aluno

[...] discuta de onde veio tal ideia, como ela evoluiu até chegar onde está, ou mesmo questione os caminhos que geraram esta evolução, de certa forma, ele nos dá indícios de que reconhece tais conceitos como objeto de construção e não como conhecimentos revelados ou meramente passíveis de transmissão. Buscar razões, pois, parece indiciar um comprometimento maior com o que se estuda e se, além disso, o aluno argumenta, baseando-se em informações históricas (busca o respaldo para o que diz na fala das “autoridades”) além de estar usando a analogia, ferramenta extremamente útil no estudo das ciências, ele está se reconhecendo também como sujeito construtor de saber (NASCIMENTO, 2006, p.53).

Os textos históricos apresentam, também, vários aspectos da Natureza da Ciência, os quais, atualmente, vêm se mostrando como de suma importância para uma elaboração mais estruturada do que é ciência.

Uma das possibilidades discutidas é a utilização de episódios históricos para a elaboração de textos históricos que possibilitem uma imbricação entre a História da Óptica e aspectos da Natureza da Ciência emergentes de episódios históricos. Hoje, vários trabalhos na literatura (MOURA, 2008; SOUZA, 2008; FORATO, 2009) já apresentam essa perspectiva. Esses e outros trabalhos, tomando como base episódios históricos, realizam uma discussão sobre aspectos da Natureza da Ciência que surgem de recortes da História da Ciência.

Nos dias atuais, essa forma de utilizar a HFC vem sendo constantemente utilizada em todos os níveis de ensino, ocasionando um melhor entendimento de aspectos relacionados à Natureza da Ciência e servindo para a discussão de teorias e modelos científicos.

Outra possibilidade de uso dos textos históricos é utilizá-los em momentos de formação continuada com professores em exercício. Com tal público, esses textos

possuem a finalidade de recriar uma ocasião para o docente repensar suas práticas, gerando melhorias em suas salas de aula (MARTINS, 2007a).

O trabalho com textos históricos apresenta, dentre outras finalidades, o objetivo de aproximar os estudantes de atividades de investigação, para quem são propostos momentos de discussão, argumentação e outros.

Além disso, os textos históricos também podem:

- Propiciar a leitura de textos científicos;
- Servir de ferramenta para a apresentação de situações-problemas de forma aberta;
- Servir de momento reflexivo para os estudantes a partir do momento que muito dos modelos criados por eles podem ser postos em paralelo com modelos pensados por cientistas em épocas passadas;
- Favorecer o debate, a arguição e a argumentação escrita e oral.

Dessa forma, privilegia-se a seleção de episódios históricos que visem à elaboração de textos históricos, pois estes podem favorecer o diálogo e a argumentação em sala de aula, aproximando os alunos de uma linguagem mais científicista, contribuindo com o entendimento de como a ciência evolui com o passar do tempo.

Assim sendo, estratégias didáticas que sejam arquitetadas pela HFC objetivam mostrar aos estudantes uma ciência mais dinâmica e viva, discutindo a transformação de seus conhecimentos científicos, desde sua criação (gênese) até as suas ideias mais atuais, mostrando reformulações, crises e intensos debates.

Essas características de debates e críticas são elementos motivadores de práticas (veja, por exemplo: Silva; Martins, 2009a) nas quais os alunos são convidados a simular debates ocorridos por ilustres cientistas no passado ou até mesmo encenar peças teatrais que revivam momentos históricos importantes do passado.

Essas discussões estão totalmente relacionadas com as ideias desenvolvidas sobre a ciência óptica na época em que era discutida. Nos textos históricos elaborados neste trabalho, ressalta-se a importância de aspectos sociais e culturais na evolução das teorias sobre a Óptica.

A visão da História da Óptica, que se tenta repassar nos textos desta pesquisa, mostra que na evolução do conhecimento científico há momentos de crises e de dificuldades representados pela não aceitação dos modelos ondulatórios e corpusculares no decorrer dos séculos.

Seguindo essa linha de raciocínio, serão desenvolvidos textos contemplados pela História e pela Filosofia da Ciência, fazendo uma discussão de aspectos relacionados à Natureza da Ciência.

Neste trabalho, será apresentada uma prática elaborada para tal finalidade, a que se chama *júri simulado*. Maiores informações sobre essa prática podem ser encontradas no percurso desta investigação.

1.4. A Natureza da Ciência e o ensino de Ciências

Nas últimas décadas, com a consolidação da Didática das Ciências como uma área de pesquisa de corpo robusto e coeso, tanto pesquisadores como professores de ciências vêm presenciando uma revolução no seu campo de trabalho, marcada por uma profunda proliferação de ideias, propostas e materiais inovadores, que visam a estruturar melhoras nos diferentes níveis de ensino (ADÚRIZ-BRAVO, 2005).

Dentre as várias linhas de pesquisa emergentes dessa nova área de pesquisa (por exemplo: resolução de problemas e concepções alternativas), existem algumas que têm por objetivo discutir relações relativas à natureza do conhecimento científico e suas implicações no ensino-aprendizagem das ciências.

De certa forma, como aponta Adúriz-Bravo (2005), pode-se inserir nesse campo a história e a sociologia da ciência no ensino. Essas novas áreas realizam estudos sobre a ciência, guiando-se por aportes os mais diversos possíveis, gerando estudos de diferentes aspectos da atividade científica, tais quais: como o conhecimento científico se transforma com o passar do tempo, os valores levados em conta pelas comunidades científicas na hora da formulação de uma teoria, a relação entre a ciência e a sociedade etc.

Para Adúriz-Bravo (2005), o interesse pelo estudo desse campo advém da relação entre os fatos citados e o ensino de ciências. Isso proporciona, dentre outras coisas, uma reflexão sobre o que é o conhecimento científico, uma ajuda à superação de obstáculos na aprendizagem dos alunos, um favorecimento à elaboração de novas práticas e materiais para o ensino e, por fim, um auxílio à prática da contestação de algumas certezas sobre a ciência, sua metodologia e seus objetivos.

Um das certezas da ciência, hoje muito debatida, é o conceito de *verdade científica*. Esta há muito tempo foi entendida pelas definições e observações advindas

das ciências experimentais, arquitetadas por argumentações de cunho empirista. Esse modelo empírico-indutivista é caracterizado como herança da Revolução Científica, tendo em nomes como Francis Bacon e Isaac Newton alguns dos seus maiores expoentes. Nesse tipo de argumentação, observa-se a necessidade de um método para se fazer ciência. Diante disso, tomando como base o método científico, foi-se delimitando o que era ciência ou não.

Atualmente isso retrata uma discussão epistemológica e, desde a década de 30 do século passado, tornou-se objeto de estudo da epistemologia da ciência. Alguns autores desse campo, como Karl Popper, Gaston Bachelard, Thomas Kuhn e Paul Feyerabend tentaram, do seu modo, contribuir com essa discussão de cunho filosófico.

Essas e outras discussões, que visam a levar ao ensino de ciências debates sobre a ciência, geraram uma linha de pesquisa própria dentro da área da Didática das Ciências: a Natureza da Ciência. Ela é herança da HFC como campo do conhecimento e tem surgido em trabalhos da área de Ensino de Ciências com essa denominação.

Enfim, o que é *Natureza da Ciência*?

Essa linha de pesquisa conhecida por Natureza da Ciência (NdC), proveniente do termo inglês “Nature of Science”¹⁴ (NOS), é entendida como conjunto de conhecimentos sobre a ciência que trata de seus limites, das influências com a sociedade da época, dos seus objetivos, das metodologias, da aceitação ou rejeição de ideias científicas, dos erros cometidos pelos cientistas ao tentar formular uma lei ou teoria e de outros tópicos (MOURA, 2008).

Como destaca Matthews (1995), a ideia de ministrar aulas de ciências com base em tal perspectiva já estava presente no início do século XX. Essas posturas são diferentes de enfoques mais atuais e essa ideia de uma educação científica mais problemática e menos rígida já vem sendo discutida há algum tempo.

Para Adúriz-Bravo (2005), a imbricação da Natureza da Ciência com a história e a sociologia da ciência pode se agrupar em três grandes grupos temáticos, chamados de eixos da Natureza da Ciência, correspondendo a perguntas fundamentais que podem ser elaboradas sobre a ciência:

¹⁴ Neste trabalho, será usada a tradução para o português: Natureza da Ciência.

- (a) o eixo epistemológico, responsável por apontar o que é a ciência e como ela é elaborada;
- (b) o eixo histórico, responsável por mostrar como muda a ciência com o passar do tempo;
- (c) o eixo sociológico, responsável por caracterizar a relação da ciência com a sociedade e a cultura.

Lederman (1992), na sua revisão de textos que abordam tal assunto no ensino de ciência, identifica algumas linhas nessa temática, quais sejam: a investigação das concepções alternativas sobre a NdC apresentadas pelos estudantes e pelos professores, investigação de relações existentes entre a prática do docente e suas concepções sobre a NdC e a relação entre os currículos e a NdC. Para Lederman (1992), um dos primeiros instrumentos utilizados nessa perspectiva foi feito por Wilson¹⁵ em 1954. Valendo-se desse instrumento, Lederman verificou que, entre os estudantes, existia a ideia de conhecimento científico como absoluto, bem como a crença na função do cientista como descobridor de verdades científicas absolutas.

Após os resultados do trabalho de Wilson, vários outros trabalhos, dessa natureza, foram realizados, apontando uma consistência com seus resultados (LEDERMAN, 1992).

Uma das primeiras reformulações nesse direcionamento, como destaca Lederman (1992), foi feita por Klopfer¹⁶. Com base nos resultados de pesquisas sobre esta temática, foram elaborados currículos que visassem a melhorar as concepções dos estudantes sobre a ciência. Esse material se valia de aportes da História da Ciência, que tinha por objetivo construir ideias mais elaboradas sobre a ciência. O material recebeu o nome de *History of Science Cases for High School* (HOSC). Uma das primeiras iniciativas em validar esse material mostrou que os resultados sobre a natureza do conhecimento obtidos por um grupo que não estudou pelo HOSC revelaram-se insatisfatórios quando comparado aos resultados do grupo submetido a ele.

Após o trabalho de Wilson e da experiência com o HOSC, houve uma proliferação de trabalhos nesse sentido. Como aponta Moura (2008), os trabalhos sobre

¹⁵ WILSON, L. A study of opinions related to the nature of science and its purpose in Society. **Science Education**, v.38, n.2, p.159-164, 1954.

¹⁶ Klopfer, L; Cooley, W. The history os science cases for high schools in the development of students understanding of science and scientists. **Journal of Research in Science Teaching**, v.1, n.1, p.33-47, 1963.

a Natureza da Ciência convergiam em torno da defesa de determinados pressupostos, tidos como válidos, e da refutação de outros, considerados não válidos para a NdC.

Elfin e colaboradores (apud Moura, 2008, p.10) listam alguns pontos como consensuais, a saber: o objetivo principal da ciência é adquirir conhecimento científico do mundo natural; há no mundo uma ordem implícita que a Ciência procura descrever da maneira mais simples e compreensível; a ciência é dinâmica, mutável e experimental; não há nenhum método científico único.

Harres (1999), El-Hani (2006) e Gil et al (2001) também convergem para esse argumento de que existe um grau de concordância alto no que diz respeito a aspectos da Natureza da Ciência. Os autores apresentam uma lista de ideias aceitas sobre a Natureza da Ciência, consideradas importantes para uma construção mais elaborada do que é ciência, por parte dos alunos. Algumas delas são:

- O conhecimento científico, embora sólido, tem uma natureza conjectural;
- O conhecimento científico depende fortemente, mas não inteiramente, da observação, da evidência experimental, de argumentos racionais e do ceticismo;
- Não há maneira única de fazer ciência, isto é, não há um método científico universal a ser seguido rigidamente;
- A ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais;
- Leis e teorias cumprem papéis distintos na ciência e teorias não se tornam leis, mesmo quando evidências adicionais se tornam disponíveis;
- Pessoas de todas as culturas podem contribuir para a ciência;
- Novos conhecimentos devem ser relatados abertamente e claramente;
- A construção do conhecimento científico requer registros de dados acurados, crítica constante das evidências, das teorias, dos argumentos pelas comunidades de pesquisadores e replicação dos estudos realizados;
- Observações são dependentes de teorias, de modo que não faz sentido pensar em uma coleta de dados livre de influências e expectativas teóricas;
- Cientistas são criativos;
- A história da ciência apresenta um caráter tanto evolutivo quanto revolucionário;
- A ciência é parte de tradições sociais e culturais;
- A ciência e a tecnologia geram impacto uma na outra;
- Ideias científicas são afetadas pelo meio social histórico no qual são construídas.

Por sua vez, Gil e colaboradores (2001) apresentam alguns aspectos consensuais sobre a ciência, tomando como base estudos de filósofos da ciência e professores de ciências, chegando a algumas ideias que devem ser evitadas – ideias que, comumente, permeiam o imaginário dos alunos – e combatidas em sala de aula. Apresentam-se algumas:

- A ideia de método científico como uma receita ou uma cartilha na qual o cientista orienta-se para fazer ciência;
- A ideia de uma ciência unicamente empirista, aquela que brota exclusivamente de experiências;
- A ideia de pensamento científico individualista e elitista, segundo o qual a ciência é construída por um único nome.

Diante disso, como forma de exemplificação de algumas relações feitas entre a Natureza da Ciência e episódios históricos, apresenta-se, no quadro abaixo, uma conexão entre alguns desses aspectos apresentados acima e aspectos da História da Óptica¹⁷. Vale ressaltar que este quadro servirá de apoio para construção dos textos históricos usados em sala de aula, bem como servirá de aporte para discussões sobre aspectos da NdC com os alunos. A ver:

ASPECTOS DA NATUREZA DA CIÊNCIA	ASPECTOS DA HISTÓRIA DA ÓPTICA
Contribuição de culturas diferentes para o avanço científico.	Os Árabes resgatam e ampliam os estudos sobre a Óptica (reflexão e refração).
As teorias são influenciadas por aspectos políticos, sociais e religiosos.	A autoridade newtoniana à divulgação da Óptica, principalmente na primeira metade do século XVIII, foi relevante para a aceitação do modelo corpuscular para a luz.
A ciência é formada por interpretações ambíguas.	A divergência existente entre Newton e Huygens, Hooke e Descartes na explicação da natureza da luz e alguns de seus fenômenos.
As teorias são formadas por hipóteses e não simplesmente por observações.	Newton formalizou, em alguns casos, hipóteses (estados da luz) encontradas principalmente no livro II do seu livro <i>Óptica</i> para explicar fenômenos ópticos.
Não existem deduções incontestáveis.	Diante de toda blindagem, não exclusivamente de natureza teórica, as ideias de Newton sofrem contestações no século XVIII, em especial na sua segunda metade.

¹⁷ Nesta dissertação, será abordado, em um capítulo específico, o episódio histórico que foi utilizado e tomado como base para construção deste quadro.

O conhecimento científico é dinâmico.	A descoberta de fenômenos como difração e interferência foi importante para o ressurgimento de teorias da luz de natureza ondulatória.
---------------------------------------	--

Tabela 1: Quadro comparativo com aspectos da Natureza da Ciência e sua correlação com fatos históricos referentes à História da Óptica.

O capítulo intitulado “Percurso metodológico” apresentará os textos históricos trabalhados com os alunos. Para cada texto, será apresentada uma tabela específica, como a mostrada acima. Esses quadros servirão como subsídios aos professores que desejem trabalhar aspectos da natureza da ciência com seus alunos.

1.5. Situando-se na problemática

À guisa de uma conclusão para este capítulo, em que foi discutida a inserção da História e da Filosofia da Ciência no ensino de ciência, e, em particular, no ensino de Física, valer-se-á de uma estratégia discursiva, o diálogo, para situar a extensa gama de argumentos apresentados no intenso debate existente sobre essa temática desde o século passado.

Apesar do relativo consenso no que diz respeito à aplicação da HFC no ensino de ciência, a forma como utilizá-la, nos dias atuais, ainda se apresenta de forma bastante debatida, principalmente quanto aos subsídios, favoráveis ou não, que baseiam as práticas desenvolvidas com elementos da HFC.

Neste diálogo que se apresenta abaixo, será discutido o uso ou não da HFC no ensino, bem como a elaboração de estratégias que possuam no seu cerne a HFC. Do diálogo, participam quatro personagens: Mateus (favorável ao uso da HFC no ensino), Kleine (opositor ao uso da HFC no ensino), José Maria (professor de Física recém-formado) e Josélia (professora prestes a se aposentar). Ao diálogo:

Na sala de aula de uma escola estadual, em qualquer lugar, conversam dois professores de Física. O professor José Maria, recém-formado, empolgado com a aprovação no concurso para professor da rede pública, é apresentado para a professora Josélia, prestes a se aposentar.

Professor José Maria - Devemos refletir sobre novas possibilidades para que os nossos alunos despertem o prazer pela Física. Hoje os alunos se mostram

desinteressados pelo estudo das ciências. Eu me formei há pouco tempo e estou com um turbilhão de ideias para que possamos desenvolver na escola.

Professora Josélia – Caro colega, a escola pública, hoje, é falida. Os nossos alunos não possuem interesse por ideias novas. Eles estão acostumados ao quadro negro e ao giz. Não seja visionário, pois você irá se deparar com a realidade. Veja bem, os alunos não compreendem nem o básico, não sabem explicar, por exemplo, por que enxergamos um objeto. A grande maioria nos apresenta um erro *absurdo* que é: para enxergamos, lançamos um raio pelos olhos. Eles acham que são super-homens! (Risos)

Professor José Maria – Amiga Josélia, esse modelo utilizado para explicar o porquê de enxergarmos é semelhante a um modelo utilizado pelos gregos na Antiguidade. Isso não é um erro, é uma concepção alternativa.

Professora Josélia – Concepção do quê? E agora você é historiador? (A professora fala com tom de surpresa) Pensei que você fosse Físico. Ou não é?

Professor José Maria – A senhora não conhece e nem pagou a disciplina de História e Filosofia da Ciência na sua graduação?

Professora Josélia – Na minha época não tinha isso. Física é disciplina de cálculos. No máximo ensinamos, no laboratório, que para ser cientista o aluno deve seguir o método científico! Acho que isso é Filosofia. Mas, qual a relação da História da Física com a Física? Você quer dizer que teremos mais uma disciplina na grade curricular? (Tom de surpresa)

Professor José Maria – A História e a Filosofia da Ciência podem ajudar a nossa vida na sala de aula. Podemos criar novas estratégias de ensino com elas.

Professora Josélia – Parece-me interessante. Fale-me como podemos fazer isso.

Professor José Maria – Eu também não sei. Eu só paguei uma disciplina na universidade e não sei bem como fazer. Mas eu vi que vai ter um curso de extensão ministrado por um professor da universidade. Ele é bastante conhecido na instituição. Ele se chama Mateus. Talvez lá, poderemos ter mais explicações.

Professora Josélia – Então, vamos lá. Mas depois não me diga que eu não lhe avisei que essas coisas novas não funcionam.

No evento, em uma universidade qualquer, localizada em qualquer lugar, o professor José Maria e a sua colega, professora Josélia, conhecem o famoso historiador da ciência Kleine, o qual não enxerga com bons olhos o uso da história e da filosofia no ensino de ciência. No mesmo local, ainda são apresentados ao palestrante, o professor Mateus, que inicia a sua palestra, dizendo:

Professor Mateus – Iniciarei a nossa palestra com algumas frases do famoso físico Mário Schenberg, mostrando como é fascinante a História da Ciência. Espero que possamos transformar esse fascínio em estratégias didáticas para a nossa sala de aula. Vejamos o que ele nos diz:

“A História da Ciência é mais fascinante que um romance policial. (...) O estudo da História da Ciência é muito importante, sobretudo para os jovens. Acho que os jovens deveriam ler História da Ciência porque frequentemente o ensino universitário é extremamente dogmático, não mostrando como a ciência nasceu. Por exemplo, um estudante pode facilmente imaginar que o conceito de massa seja simples e intuitivo, o que não corresponde à verdade histórica.”

No fundo da sala, o Historiador Kleine remexia-se, mostrando insatisfação diante das palavras do colega Mateus. Ele retruca:

Kleine – Eu discordo das palavras do nobre colega e, principalmente, da empolgação representada pelos dizeres do ilustre físico Mario Schenberg. Ilustrando minhas palavras, como o colega assim fez, faço uso da mesma estratégia e trago as preocupações do pensador Thomas Kuhn em utilizar a história da ciência em disciplinas com jovens cientistas. Para ele, esse uso pode ocasionar o enfraquecimento dos futuros cientistas em realizar pesquisas, assim dificultando o avanço da ciência. E, ainda, será que mostrar para um futuro físico nuclear que a ciência é passível de erros e que alguns cientistas do passado, que eles tanto admiram, utilizaram, para validar as suas teorias, argumentos não estritamente racionais, advindos de propaganda, de argumentos políticos, religiosos e sociais, será que isso não irá retirar dos futuros cientistas o brilho em fazer ciência?

Professor Mateus – Pelo contrário. Mostrando que a ciência tem o seu lado social e, principalmente, humano, podemos mostrar aos futuros cientistas que a ciência que ele faz tem imbricações com o meio social e com o tempo em que ele está inserido. Acredito que o cientista que passou por discussões dessa natureza possa ter mais condições de refletir e debater sobre como a ciência evolui. Dessa forma, ele se sentirá mais preparado para discutir suas teorias, sabendo que as verdades que ele ali discute são provisórias, dando-lhe possibilidades de criticar argumentos de grandes cientistas do passado.

Nesse momento, a professora Josélia entra no debate e faz perguntas aos pesquisadores.

Professora Josélia - A discussão está muito interessante, mas como podemos levar estas discussões para o ensino médio e para os nossos alunos?

Professor Mateus – Cara colega, com o uso da História e da Filosofia da Ciência, que apelidamos de HFC, podemos desenvolver inúmeras estratégias didáticas, por exemplo: peças teatrais, debates, o uso de experimentos históricos, entre outros.

Professora Josélia – Podemos utilizar aqueles *boxes* dos livros didáticos que trazem informações sobre a vida e a morte dos cientistas?

Kleine – Veja bem, porque o uso da HFC é prejudicial ao ensino de ciência é que o professor se vale desses arremedos de história em sala de aula. Além de cometer erros esdrúxulos sobre a História da Ciência, os docentes passam uma imagem de ciência totalmente equivocada. Vou ilustrar o que digo com alguns exemplos de equívocos para a professora se situar: o conhecimento científico é estático, a forma de validar uma teoria é exclusivamente por um experimento, a maneira de se fazer ciência de forma correta é pelo método científico, além de outros erros.

Professora Josélia – Mas eu pensava que a ciência era assim. Eu estava enganada? Quando eu fiz meu curso de Física, há algumas décadas, era assim. Os professores me levavam para o laboratório, eles me entregavam uma série de passos para confirmar, dentre outras, as leis de Newton e as leis da conservação do movimento. Eu ficava deslumbrada quando encontrava que a aceleração da gravidade era $9,8 \text{ m/s}^2$, mas ficava muito triste quando encontrava 9,7; 9,6 ou ainda 10, pois sabia que não tinha provado a teoria. Eu faço assim nas minhas aulas de laboratório. Estou errada?

Professor José Maria – Minhas aulas de laboratório também eram assim; e olhe que me formei somente há 2 anos, mas graças a uma disciplina chamada História e Filosofia da Ciência, eu tive a oportunidade de participar de discussões sobre a epistemologia da ciência.

Professor Mateus – Sem dúvida, a formação inicial não dá conta de resolver todos esses problemas, pois tais discussões são feitas somente em uma disciplina, quando são feitas. Dessa forma, não é incomum o futuro professor sair do curso universitário com imagens da ciência equivocadas. E o mais triste é que essas imagens são repassadas para os seus alunos quando vocês ministram as suas aulas de ciências, sejam elas experimentais ou não. Mas hoje já temos uma linha de pesquisa consolidada, chamada de Natureza da Ciência, que procura estudar melhorias nesse sentido.

Kleine – Por essas e outras que o uso da HFC não é benéfico para o ensino de ciência. Os professores não sabem reconhecer se o texto histórico é de confiança e, também, não sabem onde procurar. E, quando tentam montar um texto histórico para usarem em sala de aula, comentem erros, pois se valem de textos sem confiabilidade, devido ao fato de irem beber em fontes não primárias, ocasionando um texto fraco e repleto de erros.

Professor Mateus – Isso pode acontecer devido a problemas da graduação, mas o professor tem de ter em mente que a formação inicial é o ponto de partida e que já existem congressos, eventos, mini-cursos e sites preocupados em mostrar ao professor pesquisas histórias ou materiais que eles possam utilizar em sala de aula. Não se pode esperar do professor do ensino médio que ele seja um historiador da ciência e que realize pesquisas em tal direção, mas um professor bem informado sobre a temática terá todas as condições de, frente a uma pesquisa histórica, fazer as intervenções pedagógicas e as levar para a sua sala de aula.

Kleine – Mas, mesmo assim ele, estará cometendo distorções na História da Ciência e, por consequência, passando ideias equivocadas sobre a mesma.

Professor Mateus – Concordo com você, mas não plenamente. O futuro docente que tiver tido, em sua formação, discussões sobre a epistemologia da ciência pode ter a oportunidade de repensar as suas práticas, passando uma ideia mais adequada sobre a ciência. E, além disso, ele também poderá ter, pelo menos, a noção do que seja um bom texto sobre a História da Ciência.

Professor João Maria – Professor Mateus, poderia me informar algumas fontes confiáveis para nós? Acho que assim podemos adquirir tanto textos históricos como o relato de experiências já feitas nessa direção.

Professor Mateus – Claro! Como já estávamos encerrando esta nossa sessão, eu ia passar pra vocês alguns sites onde vocês podem encontrar trabalhos e textos nessa área. Vejam alguns: Revista Brasileira de Ensino de Física, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Física na Escola, Sociedade Brasileira de História da Ciência, Ciência e Educação, dentre várias outras. Também não podemos esquecer as traduções de livros, diretas dos originais, de Isaac Newton, Galileu, Copérnico, entre outros. Nesse momento, eu agradeço a todos e ao Historiador Kleine, que abrilhantou a nossa discussão.

Professora Josélia – Eu acho que a oportunidade de eventos como este é de suma importância para nos apresentar novas estratégias e discussões na área de ensino de

ciência. Eu acho que uma formação continuada é relevante para a melhoria de nossa prática.

Professor José Maria – Concordo e vou procurar algo nesse sentido com o professor Mateus.

O que se pôde aprender com esse diálogo?

Diante das condições, em alguns casos problemáticas que o ensino de ciências apresenta nos dias atuais e mesmo diante dos argumentos contrários ao uso da História e da Filosofia da Ciência no ensino de ciências, procura-se dar crédito à inserção da HFC no ensino, pois ela pode contribuir de forma satisfatória para a construção de uma cultura mais ampla no aluno, além de oferecer uma aproximação a conceitos científicos de forma menos traumática.

No que diz respeito à inserção de aspectos da natureza do conhecimento científico, a sua discussão em sala de aula pode proporcionar ao aluno melhores argumentos filosóficos que o favoreçam, apresentando-lhe um melhor entendimento em relação a temas científicos, o que lhe dará uma melhor fundamentação filosófica ou, até mesmo, uma reação menos dogmática frente a credices.

Além de todos esses argumentos já descritos, é preciso que o docente que deseje se enveredar nessa temática possua o mínimo de familiaridade com as discussões ressonantes na área. Assim, terá todas as possibilidades de, encarando um texto histórico, ser capaz de inserir as suas intervenções pedagógicas da melhor maneira possível.

Entretanto, um dos problemas enfrentados pela maioria dos docentes, como aponta Martins (2007a), é a falta de preparo condizente à inserção da HFC em suas salas de aulas. No diálogo fictício, observou-se que a presença de poucos momentos na graduação para serem realizadas tais discussões pode refletir nas dificuldades mostradas pelos docentes no manejo com a HFC. No entanto, o intuito aqui é apenas apresentar uma possível causa da falta de articulação entre a HFC e a sala de aula, pois não se caminhará por esse debate neste trabalho.

No próximo capítulo deste trabalho, será feito um levantamento bibliográfico do episódio histórico que serviu como tema para o diálogo, assinalando e analisando as

constantes controvérsias existentes em relação à explicação do que é a luz, bem como de alguns dos fenômenos ópticos ligados a ela.

2- CONFLITOS TEÓRICOS¹⁸

Neste capítulo, será apresentada uma revisão bibliográfica sobre a História da Óptica. Será enfatizada a controvérsia existente em relação à natureza da luz (onda ou corpúsculo), com base na qual serão analisados episódios que dêem ênfase principalmente a essa discordância. Essa controvérsia servirá de ponto de partida para que se possa entender o que é a luz, bem como alguns fenômenos da Óptica, a saber: reflexão, refração, difração e interferência.

Inicia-se nossa caminhada pelo tempo com algumas concepções dos antigos gregos, os quais mostravam interesse por explicações da visão, que, no seu cerne, suscitavam dúvidas relacionadas à natureza da luz.

Percorrendo a Idade Média e chegando aos séculos XVII e XVIII, será demonstrado o embate científico vivenciado pela Óptica e, em particular, as disputas travadas entre os modelos que tentavam explicar a natureza da luz.

Finalmente, este estudo servirá de embasamento para a elaboração das atividades de ensino, destinadas à construção de estratégias criadas para a sua aplicação.

2.1. Antecedentes: a natureza da luz antes do Século XVII

Os estudos sobre a Óptica situados antes do século XVII são baseados nas propriedades da luz (tratamento geométrico) e no desenvolvimento de aparatos ópticos. Já as produções de hipóteses sobre a natureza da luz ficavam em segundo plano. Naquele período, os questionamentos representavam especulações mais de natureza metafísica (CROMBIE, 1980).

Na Antiguidade, a luz, por sua importância para algumas civilizações, foi associada a divindades. Para os antigos hebreus, quem a fez foi Deus, como é visto nas primeiras páginas do livro do Gênesis. Para os egípcios, ela era uma deusa - Maât -, filha do deus Sol - Rá. Somente com os gregos, a luz passa a não mais ser vista sob esse aspecto religioso e ganha uma interpretação mais objetiva com o surgimento de perguntas intrigantes para a sociedade grega antiga. Segundo Bassalo (1986), a pergunta

¹⁸ Partes deste capítulo já foram apresentadas em eventos (XI EPEF – Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física e II ECERN – Encontro Científico de Educadores do Rio Grande do Norte), além de terem sido publicadas em revistas da área de ensino de Física.

básica partia da preocupação dos gregos antigos em compreender o que existe no espaço entre os olhos e o objeto visto.

Para responder a isso, foram criados três modelos distintos: a tese dos raios visuais, segundo a qual os olhos emitiam partículas luminosas; a noção de que os olhos recebiam raios emitidos pelos corpos; e a terceira concepção, formulada pelo filósofo grego Platão (428-348 a.C), de que a visão de um objeto era devida a três jatos (raios) de partículas: um proveniente dos olhos, outro do objeto e o último da fonte iluminadora. De acordo com Bassalo (1986), um feixe de raios luminosos sairia dos olhos até o objeto a ser visto, combinando-se com raios emitidos pela fonte e, por fim, retornando aos olhos. Em contraste com essa ideia de emissão de raios, os estóicos tinham sugerido que a visão se dava por raios de luz que entravam nos olhos desde o objeto.

Em relação à formação das imagens, diz a ideia pitagórica que a imagem era formada por um fluxo emitido pelos olhos. A ideia platonista acreditava no encontro entre feixes dos olhos e os objetos. Todas as concepções filosóficas acima descritas utilizavam a ideia da luz composta por corpúsculos.

Nas visões atomistas gregas, destacam-se as ideias de Leucipo (480-420 a.C) e Demócrito (460-370 a.C), os quais entendiam a luz como sendo composta por átomos arredondados e velozes que se deslocavam no vazio. A visão seria dada por um fluxo de partículas emanado dos objetos e assimilado pelos olhos (ROCHA, 2002). Tanto Demócrito como os atomistas da época detinham um pensamento de percepção sensorial, segundo o qual os objetos emitiam átomos que formavam uma imagem dos objetos, percebida, posteriormente, pelos órgãos da visão para formar, por fim, a imagem (GARCÍA et al., 2007).

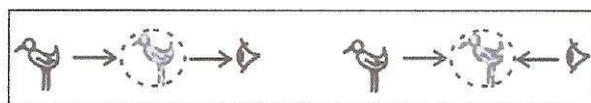


Figura 1: Modelos de visão para Demócrito (à esquerda) e para Platão (à direita), apud García et al., (2007).

Aristóteles (384-322 a.C) entendia que não havia os átomos, mas uma substância diáfana, que preenchia todo o espaço. Ele foi *um* dos primeiros a tentar dar uma explicação não corpuscular para a natureza da luz.

Aristóteles compreendia a natureza vibratória do som, então, tentou usá-la a fim de achar uma resposta para a luz. Para ele, a luz era resultado da atividade de um determinado meio, cuja vibração provocaria o movimento de humores presentes nos olhos (ROCHA, 2002). Para ele, a Óptica estava subordinada à Geometria, tendo sido justamente o conhecimento dos *Elementos*, de Euclides, e das *Cônicas*, de Apolônio, que alavancaria o progresso da Óptica, principalmente na Idade Média (CROMBIE, 1980).

Para Empédocles (435-430 a.C), a luz era um movimento transmitido que necessitava de tempo para se propagar (CROMBIE, 1980). Entretanto, como relata Crombie (1980), Empédocles não conseguiu avançar nos estudos sobre onde (como seria esse meio) a luz se transmitiria.

As contribuições dos gregos aos estudos sobre a natureza da luz se mostraram de cunho metafísico. Contudo, foi um ou outros desses modelos sobre os raios visuais desenvolvido pelos antigos gregos que implicou na definição da trajetória retilínea dos raios de luz. Essa ideia foi adotada por geômetras gregos como Euclides e Ptolomeu e foi a partir desses estudos que a Óptica progrediu a uma posição igual à da Astronomia e da Mecânica, consideradas as ciências físicas mais avançadas da Antiguidade (CROMBIE, 1980).

Tais estudos viriam contribuir para a introdução do conceito de raio de luz (Euclides no século II a.C), possibilitando a descrição de propriedades ópticas, como reflexão e refração, e, também, a formulação das leis da reflexão e refração, mesmo que ainda de forma primitiva.

No início do século II d.C., Cláudio Ptolomeu (85-165) descreve as leis da reflexão e da refração em seu livro *Óptica*. Ele também descreve a refração solar da luz e das estrelas ao atravessar a atmosfera terrestre. Ptolomeu ainda teria realizado o primeiro estudo detalhado da lei da refração (BASSALO, 1986).

As investigações dos cientistas árabes Alhazen (965-1039), Avicena (980-1037) e Averroës (1126-1198) foram seqüências dos trabalhos de Ptolomeu (CROMBIE, 1980; BASSALO, 1986). Depois da queda do Império Romano, cientistas árabes aperfeiçoaram os seus estudos sobre a Óptica, vindo a exercer uma influência significativa sobre os pesquisadores da Idade Média.

Por volta de 1038 d.C., Alhazen estudaria as leis da reflexão e da refração e rejeitaria a ideia de raio visual na explicação da visão, adotando uma postura mais próxima à de Aristóteles (BASSALO, 1986; ROCHA, 2002).

Para Alhazen, a luz, que era considerada uma entidade independente do objeto e do olho, deveria intervir na visão. A visão para Alhazen, segundo García et al., (2007), consistia na formação de uma imagem óptica no interior do olho, que funcionava como uma câmara escura, onde os raios de luz emitidos por cada ponto do corpo atravessaria a pupila e formaria um ponto correspondente à imagem no espelho da câmara.

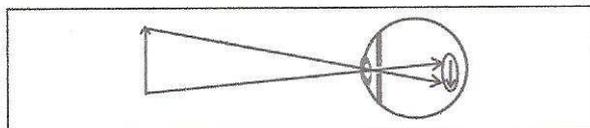


Figura 2: Modelo de visão de Alhazen apud García et al., (2007).

Contudo, os estudos sobre a Óptica ainda permaneciam como uma característica marcadamente filosófica. Para Crombie (1980), os trabalhos de Alhazen serão considerados a fonte principal da Óptica no Ocidente medieval.

Neste período e no seguinte inicia-se uma mudança de visão de mundo. O período inicial da Idade Média é marcado pela substituição dos ideais gregos de compreensão da natureza (do próprio homem) por ideais de analogia com as verdades religiosas e morais.

Das ciências físicas da Idade Média, a Óptica seria a que viria a presenciar os progressos mais notáveis durante os séculos XIII e XIV. O estudo da luz atraiu a atenção especial de quem tendia ao neoplatonismo agostiniano em Filosofia. Isso se dava pela seguinte razão: a luz havia sido, para Santo Agostino e outros neoplatônicos, a analogia com a graça divina e com a iluminação do intelecto humano pela verdade divina, e, ainda, era reduzível a tratamentos matemáticos (CROMBIE, 1980).

Segundo Martins (1995), Santo Tomás de Aquino (1225-1274), que funde as teses da Igreja com a filosofia de Aristóteles, discute a própria noção de luz tanto no seu sentido físico quanto metafísico. Para falar sobre sua imaterialidade, ele se vale de um bom argumento: dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar ao mesmo tempo, porém a luz ou qualquer objeto transparente pode. Portanto, a luz não seria algo material (MARTINS, 1995). Provavelmente, sua aversão à materialidade da luz decorresse das ideias advindas de Aristóteles sobre a sua natureza.

Entre os escritores da Óptica do século XIII, merece destaque Robert Grosseteste (1168-1253). Ele entendia que a luz era a primeira forma corporal das coisas materiais. Segundo Grosseteste, as mudanças no universo poderiam ser

atribuídas, em última instância, à atividade dessa forma corpórea fundamental. Um exemplo disso é que o calor, as influências astrológicas e a ação mecânica deviam-se à propagação dessa forma corpórea fundamental. Essa sua interpretação da luz viria a influenciar Roger Bacon (1214-1294) e outros autores. Todos eles contribuíram para o esclarecimento não só da ação da luz, mas de toda a sua natureza (CROMBIE, 1980).

Todavia, a característica do conflito ainda permaneceria em um discurso filosófico, em que as ideias aristotélicas e as pitagórico-platonistas continuariam a circular até o século XVII.

2.1.2. Mudanças de cenário: revoluções e mais controvérsias

O século XVII é marcado pela Revolução Científica, ligada ao advento da mecânica newtoniana (unificadora da Física com a Astronomia) e da ciência moderna. Embora esteja ligada a temas científicos, essa revolução retrata mudanças na visão de mundo e na organização da sociedade (ROSA, 2005).

Para Rosa (2005), a Revolução Científica mostrou um

[...] avanço na compreensão da natureza e na sua apropriação para fins técnicos abriu o caminho para a civilização científica e tecnológica moderna de base racionalista. Mas, era inegável a influência da metafísica na física nascente. Quando mais não fosse, isso se dava dialeticamente, no confronto da nova visão do mundo com a visão da filosofia escolástica. Muitas justificativas para as hipóteses fundamentais das teorias tinham, por fé convicta, prudência, medo ou interesse, clara conotação religiosa (ROSA, 2005, p.129).

A Revolução Científica critica fortemente as ideias de Aristóteles, que ainda predominavam nas universidades da época. As ciências naturais se consolidavam como um campo independente da Filosofia e da tutela religiosa (ROSA, 2005). A experimentação, por um lado, e a matematização dos fenômenos, por outro, passam a compor o universo dos novos pesquisadores.

Por volta do século XVII, dois modelos viriam a surgir, um favorecendo os corpúsculos e outra, as ondas. O primeiro desses modelos foi associado ao nome de Isaac Newton (vale lembrar que ele não foi o criador da ideia) e sustentava que a luz era composta por minúsculas partículas (corpúsculos). A segunda linha de pensamento, por sua vez, é associada aos nomes de René Descartes, Christiaan Huygens, Robert Hooke. Estes, contrários ao modelo atrelado a Isaac Newton.

Durante o século XVII, o desenvolvimento de modelos explicativos da luz está associado à construção de modelos mecânicos. É nesse cenário oportuno que o debate sobre a natureza da luz deixa sua base puramente filosófica.

Descartes (1596-1650), um dos primeiros a caracterizar a natureza da luz como problema científico, sustentava que a luz tinha uma tendência natural ao movimento ou pressão e que ela era transmitida com velocidade infinita (BASSALO, 1986; PIETROCOLA, 1993). Em *La Dioptrique* (1637), Descartes descreve:

[...] recorde-se a natureza que atribuí a luz, quando afirmei que esta não é mais do que um certo movimento ou ação, no seio de uma matéria muito sutil que enche os poros de todos os corpos (DESCARTES (1637) apud ROCHA, 2002, p.231).

Em virtude de seu descontentamento com ideias precedentes acerca de experiências sobre a Óptica, o holandês Christiaan Huygens (1629-1695) reforça a hipótese ondulatória, proposta anteriormente por Hooke, com a publicação, em 1678, do livro *Tratado sobre a luz*¹⁹. Nessa obra, Huygens se posiciona contra o modelo corpuscular, como se verifica na passagem a seguir:

[...] quando vemos um objeto luminoso, isso não poderia ocorrer pelo transporte de uma matéria que venha do objeto até nós, como uma flecha ou bala que atravessa o ar (HUYGENS, 1986, p.12).

Valendo-se de analogias com o som, ele formula sua hipótese vibracional²⁰ para a luz. Foi destacado o seguinte trecho contido no seu livro:

Sabemos que, por meio do ar, que é um corpo invisível e impalpável, o som se propaga em toda a volta do lugar onde foi produzido, por um movimento que passa sucessivamente de uma parte do ar a outra. A propagação desse movimento se faz com igual velocidade para todos os lados e devem se formar como superfícies esféricas que crescem e que chegam a atingir nossas orelhas. Ora, não há dúvida de que a luz também não venha do corpo luminoso até nós por algum movimento impresso à matéria que está entre os dois, pois já vimos que isso não pode ocorrer pelo transporte de um corpo que passe de um até o outro. (HUYGENS, 1986, p. 12)

Entretanto, surgiria um problema para a analogia de Huygens: a luz se propaga no vácuo, mas o som não. Para resolver esse problema, ele concebe a ideia de um meio

¹⁹ Uma tradução comentada da obra *Tratado sobre a luz* foi realizada por Roberto de Andrade Martins, e é encontrada em Huygens (1986).

²⁰ Hoje em dia, alguns historiadores da ciência consideram as teorias de Hooke, Huygens e Descartes como teorias vibracionais, pois suas teorias não apresentavam características ondulatórias, como período e comprimento de onda. Somente a partir do século XVIII, a teoria da luz seria caracterizada como uma teoria ondulatória.

luminoso, responsável por preencher todo o espaço, que explicaria a grande velocidade da luz. Esta, por sua vez, seria finita, diferente do que afirmava Descartes. Já a sua constância seria explicada pela elasticidade desse meio. O meio propagador seria um fluido chamado *éter luminífero* (ROCHA, 2002). A ideia de éter (Huygens recorre à matéria etérea citando experiências de Boyle e Torricelli) remete à Grécia Antiga. Aristóteles concebia o éter como uma substância eterna e imutável que preenchia o mundo supralunar. No século XVII, o éter assume uma conotação diversa, surgindo outros trabalhos a esse respeito, como os de Descartes e Newton, por exemplo.

Os primeiros artigos de Newton²¹ (1642-1727) sobre Óptica são, provavelmente, inspirados no atomismo da época, representado pela figura de Pierre Gassendi (1592-1655). Neles, Newton apresenta ideias corpusculares, mas não explicitamente (COHEN; WESTFALL, 2002).

Newton refere-se a Hooke, que teria feito várias críticas aos seus trabalhos iniciais sobre a Óptica. Deve-se notar que Hooke era totalmente avesso à ideia de luz composta por corpúsculos. Ele viria a fazer inúmeras críticas à teoria das cores apresentada por Newton. No seu livro *Micrographia*, em 1672, Robert Hooke (1635-1703) afirma que:

A luz é produzida por vibrações de um meio sutil e homogêneo e este movimento se propaga por impulso ou ondas simples e de forma perpendicular à linha de propagação (HOOKE apud ROCHA, 2002, p.230).

Durante o século XVII, discussões relativas a fenômenos como a reflexão, refração e sobre as cores agitariam o cenário da Óptica daquele tempo. É nesse período que Newton publicaria seus primeiros trabalhos sobre Óptica, e, em especial, o seu trabalho *A hipótese da luz*, remetido por ele ao secretário da Royal Society em 7 de dezembro de 1675. Nesse trabalho, podem-se verificar alguns apontamentos e, principalmente, algumas dúvidas suscitadas por Newton em relação à natureza da luz.

[...] A hipótese de a luz ser um corpo, caso eu a houvesse proposto, teria uma afinidade muito maior com a hipótese do próprio autor da objeção do que ele parece perceber. (NEWTON apud COHEN; WESTFALL, 2002, p.31)

Com o objetivo de tentar mudar o foco, pelo menos nesse momento, Newton, ainda no mesmo trabalho enviado a Royal Society, diz:

²¹ Uma tradução comentada do artigo no qual Newton descreve sua concepção sobre a natureza da luz branca e das cores foi publicada em Silva; Martins (1996).

Fosse eu presumir uma hipótese, ela seria esta, se proposta em termos mais gerais, de modo a não determinar *o que é a luz* além de dizer que ela é uma ou outra coisa capaz de provocar vibrações no éter, pois, desse modo, ela se tornará tão geral e abrangente de outras hipóteses, que deixará pouco espaço para que outras sejam inventadas (NEWTON apud COHEN; WESTFALL, 2002, p.31, grifo nosso).

Parece que a ideia de Newton, naquele momento, era de se desvencilhar desse conflito, que, para ele, naquela ocasião, não era conveniente. Possivelmente, Newton enfrentaria um forte embate com Hooke, possuidor do posto de presidente da Royal Society.

Essas críticas aos seus primeiros trabalhos fizeram que o seu livro *Óptica* viesse a ser publicado somente em 1704, curiosamente após a morte de Hooke, o maior crítico de sua produção sobre a Óptica (COHEN; WESTFALL, 2002).

Já no Livro III de *Óptica* constam as famosas questões de Newton. Na questão 28, ele rebate as críticas de Hooke e sua hipótese de que a luz consistiria em uma pressão ou movimento propagado através de um fluido. Newton diz:

Se a luz consiste apenas em pressão propagada sem movimento real, ela não seria capaz de agitar e aquecer os corpos que a refratam e refletem (NEWTON, 2002, p.265).

Na questão 29, em especial, Newton apresenta o caráter corpuscular da luz, na forma de uma indagação:

Os raios de luz não são corpos minúsculos emitidos pelas substâncias que brilham? (NEWTON, 2002, p.271).

Então, Newton demonstrava-se um defensor ferrenho da natureza corpuscular da luz? Como se observa em Staub e Peduzzi (2007), apesar da caracterização corpuscular da luz, ideias ondulatórias não lhe eram alheias. Segundo Bachelard:

A óptica de Newton é corpuscular em sua imagem mais simples e pré-ondulatória em sua teoria mais sábia (BACHELARD apud STAUB, 2005, p.89).

Schenberg, comentador das ideias de Newton, no seu livro *Pensando a Física*, conta que Newton, sendo conhecedor das ideias de Grimaldi sobre a difração, não poderia ignorar o aspecto ondulatório da luz. Schenberg diz:

O homem era terrível, porque achava que de alguma maneira o aspecto corpuscular deveria ser o mais importante. Dizia que havia o aspecto ondulatório, sem dúvida, mas, de certo modo, a luz deveria ser composta de partículas. Isto é o que nós pensamos hoje em dia, que a luz é composta de fótons, o que não quer dizer que eles não tenham propriedades ondulatórias. Newton teve ainda a intuição de que a existência de fenômenos de difração por uma fenda estaria ligada a um acesso do corpúsculo de entrar ou não por uma fenda. Não sei se já existia a palavra probabilidade, mas ele usou a palavra inglesa *fits*. Ele achava que havia ainda outros aspectos não bastante esclarecidos, que deveriam estar ligados a alguma coisa, um certo meio, que seria o éter (SCHENBERG apud ROCHA, 2002, p.227).

Entretanto, Newton não defendeu abertamente a materialidade da luz. Ele fazia algumas das suas principais indagações em formas de perguntas ao seu leitor, mostrando, possivelmente, que ele não poderia ter certeza plena de suas convicções sobre a materialidade da luz (MOURA, 2008). Acredita-se também, neste trabalho, que essa estratégia seja mesmo um jogo retórico para evitar conflitos com os seus críticos da época.

No século XVII, surgiram diversos modelos que procuravam explicar fenômenos relacionados à Óptica e também sanar dúvidas relativas à sua natureza. Mas entre as ideias de dois pensadores daquela época, como Newton e Huygens, existiam muitas controvérsias. Enquanto, por exemplo, Huygens dava conta, perfeitamente, da reflexão e da refração, essa última era explicada com maior esforço pela visão corpuscular. Para Newton, a velocidade da luz aumentaria ao passar do vácuo para os corpos, como destacado na proposição 10 do seu livro *Óptica*:

Se a luz for mais veloz nos corpos do que no vácuo, na proporção dos senos que medem a refração dos corpos, as forças dos corpos para refletir e refratar a luz serão muito aproximadamente proporcionais às densidades dos mesmos corpos (NEWTON, 2002, p.204).

Já Huygens acreditava que ela diminuiria. Contudo, as principais controvérsias em relação aos modelos corpusculares e ondulatórios residiam em dois fenômenos, conhecidos hoje como difração e interferência. A grande influência da autoridade de Newton, adquirida pelo sucesso da publicação dos *Principia*, contribuiu, certamente, para que uma interpretação mecânica da luz, constituída por corpúsculos, prevalecesse. Após a morte de Huygens, as ideias ondulatórias ficaram, praticamente, esquecidas durante o século XVIII.

As primeiras décadas do século XVIII foram marcadas pela maior aceitação das ideias newtonianas sobre a Óptica, e, igualmente, pela aplicação de suas modelos em diversos campos do saber. Todavia, a óptica corpuscular do século XVIII era bem

diferente daquela defendida por Newton. Vários filósofos naturalistas daquela época, como John Harris (1666-1719), Jacob's Gravesande (1688-1742), Robert Smith (1689-1768), John Rowning (1701-1771) tentaram constantemente unir o *Principia* ao *Óptica* no intuito de criar um modelo dinâmico para a luz (MOURA, 2008).

No entanto, as incertezas criadas pelas indagações de Newton relacionadas à defesa do modelo corpuscular, como se observa na *Óptica*, não foram levadas em consideração pelos seus seguidores, como sugere Harris na sua afirmação:

Portanto, os raios de luz são certamente pequenas partículas, realmente emitidas do corpo luminoso e refratados por alguma atração, pela qual a luz e o corpo sobre o qual ela cai agem mutuamente um no outro, pois tais partículas ou corpúsculos serão transmitidos através de meios uniformes em linha reta, sem qualquer inflexão, como os raios de luz fazem (HARRIS, 1723, apud SILVA; MOURA, 2008).

Robert Smith (1689-1789) também defendia a natureza material da luz. Na sua obra *A compleat system of optics*, publicada em 1738, ele diz:

[...] suas partículas serão aceleradas ou retardadas na mesma direção perpendicular, conforme o poder do meio agir a favor ou contra o curso de seus movimentos; e quando as partículas saem daquele espaço, elas prosseguirão com uma velocidade uniforme (SMITH, p.21, 1778 apud MOURA; SILVA, 2007, p.6).

Embora ainda se vivesse o forte obstáculo caracterizado pelas ideias mecanicistas na concepção da natureza da luz, na segunda metade do século XVIII os estudos sobre a Óptica se reiniciam, com destaque para a *óptica vibracional* (ondulatória).

Os trabalhos de Leonard Euler (1707-1783) começam a constatar problemas na concepção corpuscular (por exemplo, o caso dos *anéis de Newton*). Tais problemas (massa e volume das partículas, o conceito de força dos corpos para refletir e refratar, o conceito de inflexão, a influência da gravitação, entre outros) encontrados na perspectiva corpuscular, juntamente com as melhores explicações dos modelos vibracionais, serviram de estímulo para o ressurgimento de modelos ondulatórios para a luz e para o posterior desenvolvimento de novos trabalhos nessa linha.

Abaixo, para esclarecer alguns fatos discutidos nesta análise, será feito um resgate de alguns elementos dos modelos explicativos de Huygens, Newton e Young, devido à relevância para a questão. Objetiva-se mostrar as suas divergências, as defesas

em prol dos seus programas de pesquisas e até mesmo os ataques contra os seus oponentes.

2.2. Aspectos do modelo ondulatório de Huygens

Huygens, inventor de primeira linha, deu contribuições importantes para várias áreas do saber. À Óptica, sua contribuição mais relevante encontra-se no seu livro *Tratado da Luz*, apresentado em 1678 à Academia Real de Ciências, em Paris, e publicado em Leyde, em 1690.

O *Tratado da Luz* era dividido em duas partes. Na primeira, encontravam-se as explicações para as causas da reflexão e da refração, e, no que se refere a essa última propriedade, foi incluído um estudo específico sobre a refração do cristal da Islândia. Já na segunda parte, explicava-se a causa do peso.

Huygens, mesmo demonstrando admiração pelos trabalhos de Newton, mantinha teses contrárias às explicações do jovem inglês em relação ao movimento dos planetas e em relação à Óptica. Quanto a esta, o *Tratado da Luz* tornou-se uma resposta bem fundamentada aos primeiros artigos de Newton.

Pode-se inserir a obra desse estudioso do século XVII no contexto da Revolução Científica. Um dos aspectos daquele período foi a importância dada à experimentação. Nas primeiras palavras do seu livro, Huygens insere-se nesse cenário, quando diz que:

[...] como acontece em todas as ciências nas quais a geometria é aplicada à matéria, as demonstrações relativas à Óptica são fundamentadas sobre verdades tiradas da experiência - tais como a de que os raios de luz se propagam em linha reta; que os ângulos de reflexão e de incidência são iguais; e que não é menos certa do que as precedentes (HUYGENS, 1986, p.11).

A Propagação da Luz

Para Huygens, a luz era um impulso que se propagava em um meio, de forma análoga ao som. Embora estabelecesse várias semelhanças com o som, ele chama a atenção para algumas diferenças, como seus o modo de produção. O som, diz Huygens, ocorria pelo súbito abalo de um corpo inteiro ou de uma parte considerável dele, ao

passo que a luz deve nascer de cada ponto do objeto luminoso. Outra diferença encontrava-se na agitação das partículas, que, na luz, se dava de forma muito mais rápida e brusca do que no som (HUYGENS, 1986).

Huygens não dava à luz uma característica periódica, o que é básico para definição de onda para a ciência atual. Huygens argumentava que:

[...] como as percussões no centro dessas ondas não possuem uma sequência regular, também não se deve imaginar que as ondas sigam umas às outras por distâncias iguais: se essas distâncias o parecem nessa figura, é mais para indicar o progresso de uma mesma onda em tempos iguais, do que para representar várias provenientes de um mesmo centro (HUYGENS, 1986, p.21).

A figura abaixo representa o desenho realizado por Huygens com o intuito de tentar mostrar como seria a propagação da luz por meio de ondas luminosas.

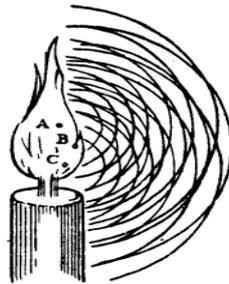


Figura 3: Propagação da luz por meio de ondas concêntricas.

Nessa interpretação, a luz é vista como pulsos independentes, provavelmente inspirada nos trabalhos de Hooke, que já possuía essa visão de pulsos.

O primeiro problema na analogia realizada por Huygens entre a luz e o som surgiria nas experiências realizadas por Boyle e Torricelli. Huygens já conhecia o resultado, que demonstrava que o som não se propagava no vácuo (SILVA, 2007).

Para tentar consertar esse problema que emergia nos seus estudos, Huygens concebe um meio especial por onde a luz deveria se propagar. A esse meio, ele chama de *éter luminífero*.

Com base nesse modelo por ele criado, Huygens foi capaz de explicar algumas propriedades da luz: propagação retilínea, reflexão regular e difusa, refração, entre outras.

Para explicar a propagação da luz por intermédio dos corpúsculos de éter, Huygens cria todo um aparato mecânico baseando-se na figura 4. Com base na figura citada, observa-se o contato da esfera A com as esferas CCC. A esfera A é atingida pela

B, o movimento de *B* é transferido para *A*, que, por sua vez, o comunica às esferas *CCC*. Em seguida, as esferas *A* e *B* permanecem imóveis.

Naquele período, Descartes teria desenvolvido um estudo detalhado sobre o choque de partículas que muito possivelmente foi estudado por Huygens e muito o influenciaria na sua explicação de natureza mecânica da luz. Esse fato era comum, haja vista a mecânica ser a ciência mais desenvolvida da época. Ela serviria como parâmetro de estudo para as demais ciências.

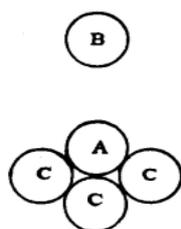


Figura 4: Modelo de propagação da luz proposto por Huygens.

Para Huygens, os corpúsculos²² de éter seriam dispostos de forma desalinhada um após o outro sempre em contato com os vizinhos.

Huygens imaginava, de deduções retiradas da mecânica, que era uma das ciências físicas mais bem desenvolvida daquela época, a possibilidade de recuo dos corpúsculos pelo choque com outro de maior tamanho. Esse fato explicava a sua necessidade de modelar corpúsculos do mesmo tamanho e sempre em movimento.

Entretanto, surgiria um problema no modelo de propagação proposto por Huygens. Seria muito estranho imaginar que pequenos corpúsculos de éter pudessem transmitir ondulações a longas distâncias, por exemplo, do Sol à Terra.

Para Huygens,

[...] a força dessas ondas deve enfraquecer à medida que elas se afastem de sua origem, de modo que a ação de cada uma em particular se tornará sem dúvida incapaz de se fazer sentir por nossa visão (HUYGENS,1986, p.21-22).

As explicações dadas por Huygens a esse problema tentavam solucionar o enfraquecimento das ondas luminosas quando viajavam por longas distâncias. Para ele,

²² A palavra corpúsculo recebe uma denotação diferente para Newton e Huygens. Para o primeiro, a luz era formada por corpúsculos, já para o segundo, não. Para ambos, contudo, o éter deveria ser preenchido por corpúsculos de éter.

uma grande quantidade de ondas se cruzaria, sem ocorrer destruição entre elas. Huygens observou, nos seus estudos, a necessidade do corpúsculo de éter ser um corpo extenso. Isso garantiria a concentração de uma infinidade de ondas em um único ponto, formando uma única onda com seu centro naquele corpúsculo de éter.

Outra possibilidade vista por Huygens seria a ideia de que cada ponto luminoso provia milhares de ondas e não só uma. Esse fato, para ele, poderia ser explicado pela agitação dos corpúsculos no próprio corpo. Tal explicação levaria ao famoso princípio de Huygens, que seria utilizado por ele para explicar todas as propriedades da luz, como as da reflexão e da refração.

Nas palavras do próprio Huygens,

Se DCF é uma onda emanada do ponto luminoso A, que é o seu centro; a partícula B, uma das que estão compreendidas na esfera DCF, produzirá sua onda particular KCL, que tocará a onda DCF em C, no mesmo momento em que a onda principal, emanada do ponto A, tenha chegado a DCF. É claro que a onda KCL tocará a onda DCF apenas no lugar C, que está na reta traçada por A e B. Da mesma forma as outras partículas compreendidas na esfera DCF, como bb, dd, etc, terão cada uma produzido sua onda. Mas cada uma dessas ondas não pode ser senão infinitamente fraca comparada à onda DCF, para cuja composição todas as outras partes contribuem pelas partes de suas superfícies que estão mais afastadas do centro A (HUYGENS, p.22, 1986).

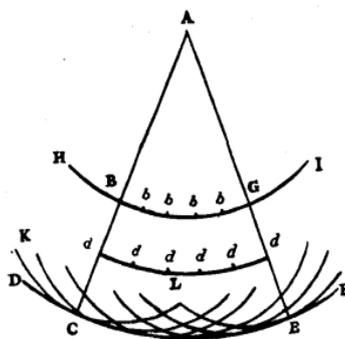


Figura 5: Modelo proposto para formação das ondas luminosas.

A figura acima, feita por Huygens, representa um esquema utilizado por ele para tentar sanar qualquer dúvida em relação à propagação da luz a grandes distâncias. Para que fosse válido todo esse aparato criado por Huygens, as ondas luminosas, ao se chocarem, não poderiam destruir-se uma às outras, o que culminaria na necessidade da explicação da independência das ondas luminosas.

Para Huygens, os “*raios visuais, provindos de uma infinidade de lugares, cruzam-se sem em nada atrapalharem-se uns aos outros*” (HUYGENS, p.11, 1986). Dessa forma, a tarefa de Huygens de tentar construir um modelo robusto baseado em convicções de natureza não material estaria sendo desenhado nas suas ideias. Huygens queria melhorar e ampliar os modelos anteriores ao seu, como, por exemplo, o de Descartes e o de Hooke. Esse modelo encontrado no seu livro *Tratado da Luz* poderia, naquela época, ser encarado como uma resposta bem fundamentada a Isaac Newton e a suas ambições de natureza corpuscular.

Não obstante, engana-se quem pensava que Huygens concordava plenamente com as ideias oriundas dos seus antecessores. Mesmo admirador dos trabalhos do mestre francês Descartes, ele se posicionou de forma contrária a ele. No que diz respeito à velocidade da luz, Huygens entendia que ela deveria ter uma velocidade realmente alta, mas não infinita, conjecturando, pois, diferentemente do seu antecessor, que concebia a velocidade da luz como infinita.

Huygens entendia que existia uma diferença entre as velocidades do som e da luz. Para explicar essa diferença tão extrema entre as velocidades, ele argumenta que a velocidade da luz “*não se tratava do transporte de um corpo com tal velocidade, mas de movimento sucessivo que passa de um aos outros*” (HUYGENS, 1986, p.14). A figura abaixo sistematiza o idealizado por Huygens.

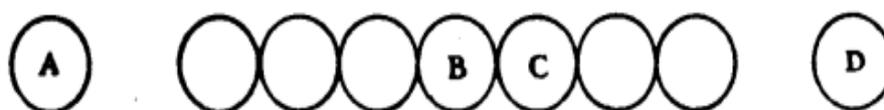


Figura 6: Choque entre os corpúsculos de éter.

Para Huygens, o movimento impresso pelo corpúsculo de éter A seria transmitido integralmente para o corpúsculo B. Ele entendia que a alta velocidade da luz deveria manter-se constante, pois se o movimento não se distribuísse totalmente ao longo do trajeto, a velocidade diminuiria.

Então, para isso, Huygens idealizou um éter duro e de boa elasticidade, que conseguisse transmitir todo o movimento, mantendo a velocidade constante. Já em relação à elasticidade da matéria etérea, ela teria a capacidade de se restituir rapidamente, fosse empurrada de forma forte ou não.

Reflexão e Refração

Huygens demonstrava uma confusão de ideias no que diz respeito à explicação da reflexão e, principalmente, em relação à superfície que separariam os diferentes meios ópticos, como a água e o ar.

Huygens daria várias explicações para esse meio. Inicialmente, para ele, a matéria etérea seria uma superfície ideal, perfeita e unida. Em outro momento, ele admitiu uma continuidade na superfície e a igualdade da matéria etérea, descaracterizando a superfície idealizada por ele. Mais tarde, prestes a explicar a refração, ele conjectura que as partículas da superfície são maiores que as etéreas. Mas, se as partículas da superfície fossem maiores que as etéreas, como se teria o fenômeno da refração?

Huygens mostra uma pequena confusão entre os corpúsculos de éter e as partículas da superfície. Em algumas ocasiões parecem ser as mesmas coisas, em outras não. Contudo, veja-se a explicação dada por Huygens para a reflexão²³ e refração nas próximas linhas.

No capítulo II do seu livro, Huygens explica a reflexão da luz por meio de ondas, mostrando a conservação da igualdade dos ângulos²⁴. A figura²⁵ abaixo foi retirada da obra de Huygens. Nela, ele tenta explicar como seria a reflexão da luz baseando-se na geometria.

²³ No turno da Didática das Ciências, alerta-nos Krapas et al (2007), o modelo utilizado para explicar a refração e a reflexão da luz está totalmente didatizado, incluindo figuras como as feitas por Huygens. Mas, vale salientar, as aulas de Óptica comumente se desvinculam das explicações dadas por esse modelo, dando características de periodicidade ou comprimento de onda aos estudos realizados por Huygens.

²⁴ Geralmente, para explicar a constância dos ângulos no fenômeno da reflexão nas escolas, é utilizada a sentença: *o ângulo de incidência é igual ao de reflexão*. Isso não retrata a dificuldade histórica ocorrida para se alcançar esse conceito. De certa forma, na ânsia de sintetizar os saberes, muitas vezes se obscurece toda a beleza e todo o desenvolvimento intelectual pelos quais o conhecimento teve de passar até chegar ao que se conhece hoje.

²⁵ Hoje o tratamento geométrico dado à reflexão e à refração não condiz à essência das explicações dadas por Huygens. É muito comum, nas aulas de Óptica, o docente representar um conjunto de raios luminosos na explicação desses fenômenos. O que ocorre, em muitos casos, é que os alunos não associam a reflexão e a refração a um modelo ondulatório, mas a um corpuscular oriundo da Antiguidade Grega.

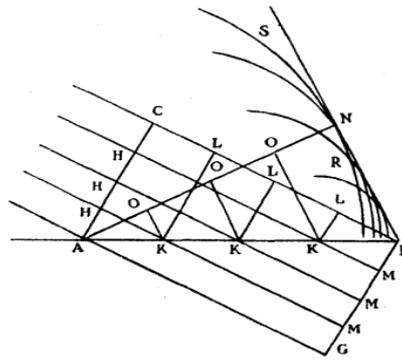


Figura 7: Representação geométrica feita por Huygens para explicar a reflexão.

Na figura 7, a linha AC , inclinada em relação à AB , representa uma parte de uma onda de luz. No seu modelo, Huygens considerou o centro de AC tão longe que ele poderia assim o enxergar como uma linha reta, como observado na figura. Para ele, tudo deveria estar contido em um único plano, pois uma onda totalmente esférica dificultaria muito sua explicação.

Huygens tenta demonstrar o avanço que o ponto C da onda AC teria de fazer até encontrar AB no ponto B . Observa-se que o ponto A da reta AC também possui seu movimento ao longo de AB . Vê-se que o arco de circunferência SNR é a onda esférica particular criada pelo ponto A . Nota-se que os três pontos H , ao longo de AC , também chegarão à superfície AB pelas retas HK , produzindo suas ondas esféricas particulares. Verifica-se, ainda, que todas as circunferências da figuras são tangenciadas pela reta BN .

Sendo os triângulos ACB e BNA retângulos, o lado AB é comum aos dois outros e o lado CB igual ao NA . Com isso, observa-se que os ângulos opostos a esses lados serão iguais e também o serão os ângulos CBA e NAB .

Nota-se que CB perpendicular à onda CA será o raio incidente e NA perpendicular à onda BN mostra a direção do raio refletido. Observa-se, na figura 7, que esses raios estão igualmente inclinados ao plano AB .

Naquela época o uso da geometria nas demonstrações e nas explicações de fenômenos estavam em evidência, e Huygens era considerado um dos maiores geômetras daquela época. Percebe-se que toda a metodologia de Huygens para explicar a reflexão é norteada pela geometrização do fenômeno estudado. Nesse caso, como em quase todos da sua obra, ele não recorre à álgebra diretamente, deixando quase de lado o uso de equações para explicá-lá.

Mas, mesmo assim, Huygens poderia ter tido dificuldades ou dúvidas para explicar outro fenômeno: a refração.

No Capítulo III, ele explica a refração diferentemente da reflexão. Ele daria mais de uma explicação para aquele fenômeno. Nas primeiras linhas do referido capítulo, ele diz:

Da mesma forma que os efeitos da reflexão foram explicados pelas ondas de luz refletidas na superfície dos corpos polidos, explicaremos a transparência e os fenômenos da refração pelas ondas que se propagam dentro e através dos corpos diáfanos (tanto sólidos como o vidro quanto líquidos como a água, os óleos, etc.). Mas para que não pareça estranho supor essa passagem das ondas no interior dos corpos, mostrarei antes que se pode concebê-la como possível por mais do que uma maneira (HUYGENS, 1986, p.29).

Para tentar explicar a penetração da luz nos corpos transparentes, Huygens elucidou que as partículas da superfície são maiores do que as da matéria etérea. Essa dedução sobre a superfície refletora, estando correta, seria um forte argumento contra as ambições de modelos de natureza material, pois seria impossível o corpúsculo de luz atravessar de um meio para o outro.

Huygens parece se confundir em suas explicações ondulatórias para a transparência dos corpos. Para ele, em alguns momentos, são as partículas do éter que devem ser menores do que a superfície do corpo para que ocorra a transparência dos corpos. Mas, nas palavras de Huygens, não ocorria essa confusão, pois, para ele, isso não seria uma dificuldade. Observe-se o que ele diz:

O pequeno tamanho das partículas do mercúrio, por exemplo, é tal que se devem conceber milhões na menor superfície visível que se queira, arrumadas como um conjunto de grãos de areia que se tivesse tornado tão plano quanto fosse possível; sob esse ponto de vista, essa superfície se torna então igual a um vidro polido, e embora ela permaneça sempre irregular com relação às partículas do éter, é evidente que os centros de todas as esferas particulares de reflexão, estão aproximadamente como um mesmo plano contínuo, e assim a tangente comum pode lhes convir de modo suficientemente perfeito para que se dê a produção da luz. (HUYGENS, 1986, p.28).

Huygens aponta três possibilidades para a passagem das ondas no interior dos corpos:

- Mesmo se a matéria etérea não penetrasse nos corpos transparentes, suas partículas comunicariam sucessivamente o movimento das ondas, da mesma forma que o éter (HUYGENS, 1986, p.29);

- As ondas de luz se propagam na matéria etérea que ocupa continuamente os interstícios ou poros dos corpos transparentes (HUYGENS, 1986, p.30);
- As ondas de luz transmitem-se indiferentemente pelas partículas da matéria do éter, que ocupam os interstícios dos corpos, e pelas partículas que o compõem, de modo que esse movimento passa de umas para outras (HUYGENS, 1986, p.31).

A figura abaixo foi feita por Huygens para mostrar a refração.

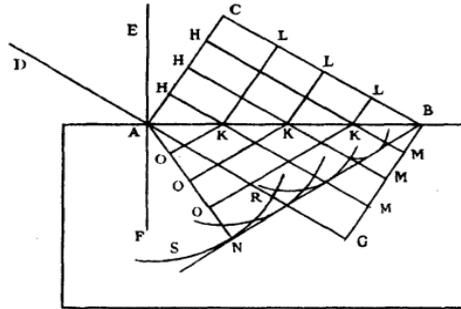


Figura 8: Esquema feito por Huygens para explicar a refração.

Como se pode observar, diferente da reflexão, Huygens apresenta três possibilidades para a passagem de ondas de um meio para outro, o que se pode definir como refração. As explicações de Huygens sobre a refração mostram-se de forma confusa, diferente do que ocorre com os estudos sobre reflexão, o que leva a crer que ele não tinha tanta convicção sobre esse fenômeno. Hoje, o fenômeno da refração encontra-se totalmente didatizado nos livros de ensino médio ou superior, nos quais se pode encontrar, por exemplo, a figura usada por Huygens.

2.3. Alguns aspectos do modelo corpuscular de Newton

Um dos aspectos que influenciou o século XVII foi a Revolução Científica. Ela ficou marcada pela mudança de ideias e ideais. Percebe-se que o ideal religioso, muito característico em alguns estudos anteriores, foi, pouco a pouco, substituído pelo pensamento matematizado e pela experimentação. Nesse período, a ideia de popularizar a ciência começa a ganhar espaço no cenário científico e social (COHEN; WESTFALL, 2002).

Durante as primeiras décadas do século XVIII, os modelos fundamentados nas convicções corpusculares, inspirados em Newton, ganham um maior destaque em relação aos modelos de natureza diferente da corpuscular.

Já nos primeiros anos de seus estudos acadêmicos, Newton se preocuparia em estudar assuntos relacionados à Mecânica, à Óptica, à Matemática e, também, à Teologia. Mas é pela Óptica que Newton teria a sua primeira paixão e, igualmente, a sua grande primeira decepção. Nos anos de 1670 e 1672, Newton foi nomeado professor lucasiano de Matemática da Universidade de Cambridge. Ele resolve, com apenas 27 anos, fazer aulas inaugurais sobre a teoria das cores e da refração. Essa exposição seria a mais abrangente feita por Newton sobre Óptica, servindo inclusive como base para a publicação do livro I do *Óptica*²⁶ duas décadas depois (COHEN; WESTFALL, 2002).

O seu livro viria a se tornar uma obra de grande influência para os estudos da Óptica desenvolvida no início do século XVIII na Inglaterra, pois, diferente do *Principia* (possuidor de uma linguagem matemática extremamente complexa), o *Óptica* era baseado em discussões de experimentos e proposições, o que o tornava uma leitura mais agradável e fácil de fazer, além de estar relacionado com a estrutura e a metodologia que Newton empregara no seu trabalho anterior, *Principia*.

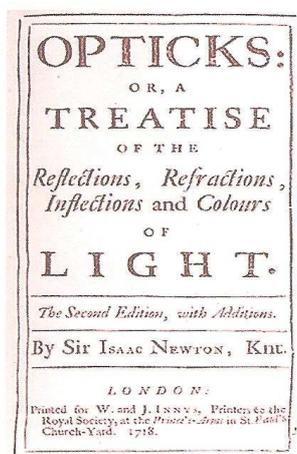


Figura 9: Capa da segunda edição do *Óptica*.

No livro I do *Óptica*, Newton traz uma série de descrições muito bem elaboradas acerca de uma gama de experimentos realizados por ele para demonstrar as propriedades da luz discutidas no livro.

²⁶ O livro *Óptica* de Newton, publicado em 1704, contém três livros, em que ele discute fenômenos ópticos, como reflexão, refração, a sua teoria sobre as cores e outros. Destacam-se na sua obra as suas famosas questões, por meio das quais ele expõe as suas principais ideias sobre a natureza corpuscular da luz.

Nas primeiras linhas do livro I, Newton fala, com propriedade, do seu objetivo naquela obra:

Meu objeto neste livro não é explicar as propriedades da luz por hipóteses²⁷, mas propô-las e prová-las pelo raciocínio e por experiências (NEWTON, 2002, p.39).

Na sua obra *Óptica*, Newton traz várias questões por meio das quais ele apresenta argumentos em relação à natureza da luz. Para os seguidores da materialidade da luz, as questões formuladas por Newton seriam de grande importância para o desenvolvimento de seus modelos.

Os estados de fácil transmissão e fácil reflexão

Newton desenvolveu as noções de estados de fácil transmissão e fácil reflexão com a intenção de tentar explicar, primeiramente, os famosos *anéis de Newton* e expandir, posteriormente, a sua utilização à explicação de outros fenômenos ópticos, a exemplo da reflexão e da refração.

Um dos primeiros relatos do estudo de Newton relacionado aos estados da luz pode ser encontrado em um dos seus artigos, *A hipótese da luz*. Para Moura (2008), o caráter especulativo dessas discussões dificultou a sua aceitação e colocou uma dúvida em Newton em relação ao seu uso no *Óptica*.

Entretanto, no livro II do *Óptica*, ele se utiliza de várias concepções do que seriam os estados da luz. Nas proposições 12 a 20, Newton desenvolve o seu conceito sobre o que seriam os estados de fácil reflexão ou fácil transmissão.

Chamarei de fácil reflexão aos retornos da tendência de qualquer raio ser refletido; aos de sua tendência para ser transmitido, estados de fácil transmissão; e ao espaço que se sucede entre cada retorno seguinte, intervalo de seus estados (NEWTON, 2002, p.212).

Um dos grandes problemas relacionados aos estados da luz, propostos por Newton, residia, justamente, na sua origem. Ele mostrou várias inconsistências relacionadas à sua origem, como é possível observar na proposição 12:

²⁷ Mesmo que, numa primeira vista, Newton pareça avesso a possibilidades de fazer hipóteses, no seu livro, pode-se encontrar uma série de hipóteses formuladas por ele na tentativa de explicar o fenômeno que ele chamou de inflexão. Para tentar explicar esse fenômeno, Newton formula os conceitos de estados da luz.

Todo raio de luz, em sua passagem através de qualquer superfície refratora, assume uma certa constituição ou estado transitório que ao longo da trajetória do raio retorna em intervalos iguais e faz com que em cada retorno o raio tenda a ser facilmente transmitido através da próxima superfície refratora e, entre os retornos, a ser facilmente transmitido por ela (NEWTON, 2002, p.210)

Nas palavras de Newton, é somente ao atravessar a superfície refratora que o raio passaria a apresentar os estados da luz. Como aponta Moura (2008), nesse momento, Newton não caracterizaria os estados da luz como uma propriedade inata do raio. Entretanto, como será notado na proposição 13, Newton denota certa ambiguidade na definição da origem dos estados da luz, conforme se vê abaixo:

O motivo pelo qual as superfícies de todos os corpos espessos transparentes refletem parte da luz que sobre eles incide e refratam é que alguns raios, em sua incidência, estão em estados de fácil reflexão e outros em fácil transmissão (NEWTON, 2002, p.212).

Segundo se lê, Newton assume que os raios, ao serem incididos, seriam possuidores de tal propriedade. Ele diz:

[...] a luz se acha em estados de fácil reflexão e fácil transmissão antes de incidir sobre os corpos transparentes. E provavelmente ela assume esses estados na sua primeira emissão dos corpos luminosos e continua neles durante toda a sua trajetória (NEWTON, 2002, p.212-213).

Com essas afirmações, Newton mostra-se confuso em explicar o que seriam os estados da luz. Ele faz uso de várias hipóteses que se mostram inconsistentes e, algumas vezes, controversas.

Como uma última tentativa de salvar os estados da luz, na Questão 29 do Livro III, Newton tenta explicá-los relacionando-os a um conceito ainda mais controverso e que ele não teve tempo de desenvolver. Ele tentou fazer uma espécie de imbricação entre o conceito de força existente nos corpúsculos, que seria responsável pela reflexão e refração, e os estados da luz, definindo os raios de luz como corpúsculos.

Reflexão e Refração

No Óptica, pode-se encontrar uma série de explicações dadas por Newton na tentativa de entender os fenômenos da reflexão e da refração, algumas das quais utilizavam o seu conceito de estados da luz e outras se valiam de seu sonho de encontrar uma *força óptica*. Mas o que, de fato, se pode observar é que elas se diferem muito entre

si na tentativa de explicar tais fenômenos. Já na proposição 1, Newton busca uma definição para eles:

As superfícies dos corpos transparentes que têm o maior poder refrator refletem a maior quantidade de luz; isto é, nas quais interferem meios que diferem mais em suas densidades refrativas. E não há reflexão nos limites de meios igualmente refratores (NEWTON, 2002, p.189)

Nesse momento, Newton tenta ligar a explicação desses fenômenos à diferença de densidade entre os meios. Para ele,

a analogia entre reflexão e refração ressaltará se considerarmos que, quando a luz passa obliquamente de um meio para outro que refrata a partir da perpendicular, quanto maior for a diferença de suas densidades refratoras, menor obliquidade de incidência será necessária para se produzir uma reflexão total (NEWTON, 2002, p.189)

Outra explicação dada por Newton residia na presença de forças entre a luz e a matéria. Para ele, “*a causa da reflexão não é o choque da luz com as partes sólidas ou impenetráveis dos corpos, como geralmente se acredita*” (NEWTON, 2002, p.199).

Para Newton,

[...] o problema de saber como o vidro polido por substâncias abrasivas pode refletir a luz tão regularmente quanto o faz. E esse problema dificilmente será resolvido não por um único ponto do corpo refletor, *mas por algum poder do corpo que está espalhado uniformemente por toda sua superfície* e pela qual ele age sobre o raio sem contato imediato (NEWTON, 2002, p.202, grifo nosso).

A busca por uma *força óptica*²⁸ ocasionou o enfraquecimento do seu discurso, acarretando uma série de controvérsias não solucionadas por Newton nem por seus seguidores.

²⁸ Newton acreditava que os corpos refletiam e refratavam a luz devido a uma força exercida em variadas circunstâncias. Para ele, as superfícies dos corpos transparentes refratariam o raio mais fortemente estando no estado de fácil transmissão. Quando os raios estivessem no estado de fácil reflexão, refletiriam com maior facilidade. Ele atribuía certo *poder* à superfície dos corpos, sendo esse poder que determinaria a ocorrência de reflexão ou refração dos corpúsculos de luz. De certa forma, a procura por uma força óptica, responsável por atrair os corpúsculos de luz, ocasionou muitos problemas para e dificultou a teoria newtoniana.

Na proposição 9, Newton reforça a existência de uma força responsável por refletir e refratar os corpos. Para ele, *os corpos refletem e refratam a luz em virtude de uma mesma força exercida variadamente em variadas circunstâncias* (NEWTON, 2002, p.203).

Uma última explicação dada por Newton a esses fenômenos está relacionada aos estados da luz. A sua explicação pode ser encontrada na sessão anterior.

A influência newtoniana no século XVIII e a popularização da ciência

O sucesso do *Principia*, publicado por Newton em 1687, obra na qual ele estabelece as leis para a mecânica, foi de grande relevância para que o seu segundo livro, o *Óptica*, fosse bem recebido pela comunidade acadêmica da época. No *Principia*, Newton retrata a Óptica em algumas proposições. No ano da edição do *Óptica*, a mecânica newtoniana era bem famosa, certamente facilitando a aceitação desse seu segundo livro. Depois disso, tornou-se muito difícil não apoiar uma interpretação mecânica para a luz constituída por corpúsculos.

Dessa forma, seria uma missão complicada criticar o recém criado modelo dinâmico da luz baseado nas duas principais obras de Newton. Mas, como os modelos de natureza não material viriam a sobreviver a esses pressupostos? Esses modelos estariam fadados ao esquecimento?

Os modelos sobre a luz, de natureza corpuscular, formulados naquele período foram bem diferentes do que Newton viria a propor no seu livro. Eles constituíam modelos dinâmicos para a luz. Os seus seguidores acreditavam fortemente nas

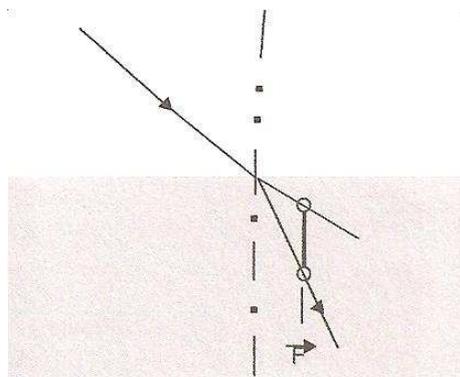


Figura 10: Refração baseada na teoria newtoniana (apud STAUB; PEDUZZI, 2007).

Para Newton, ao passar do ar para a água, a velocidade da luz aumentaria. Como é observado na figura acima, o raio de luz aproxima-se da normal. Para isso ocorrer, era preciso aparecer uma força que aceleraria os corpúsculos para dentro da água, aumentando, assim, sua velocidade.

premissas contidas no *Óptica* e, com base nelas, formulavam seus próprios modelos baseados em pura especulação, fugindo da proposta idealizada por Newton (MOURA, 2008).

O que dever ser perguntado é: a supremacia de modelos ou concepções baseados nas ideias newtonianas ou o próprio modelo de explicação para a luz pensado por ele, durante aquele período, foram plenamente aceitos devido à sua melhor fundamentação teórica? Será que outros fatores viriam a influenciar a aceitação desses modelos? Os modelos de natureza corpuscular não sofreram indagações durante esse período?

Uma das características dos séculos XVII e XVIII foi o desejo de tornar o conhecimento adquirido pelo homem acessível à população. As ciências eram divulgadas por meio de aulas populares, nas quais eram realizadas demonstrações de experiências em praças públicas para a população mais leiga.

Será que durante as aulas populares, a imagem e a autoridade newtoniana colaboravam para que seu modelo corpuscular fosse privilegiado?

No fim do século XVII e início do século XVIII, as universidades ainda eram compostas por professores escolásticos e cartesianos, logo, modelos ondulatórios para a luz tinham adeptos, visto que os escolásticos, baseados em Aristóteles – idealizador de um modelo vibracional para a luz –, seguiam os preceitos do tutor da Grécia.

Naquela época, a sociedade vivia um período de profundas mudanças, período esse marcado fortemente por Newton. A primeira edição do *Principia* foi dedicada ao patrono da Inglaterra, o rei James II. Foi nessa época que Newton foi eleito presidente da Royal Society.

Devido à sua influência, ocorreu uma gradativa substituição, nas principais universidades, de professores escolásticos e cartesianos por newtonianos ortodoxos, ocasionando aulas baseadas nas concepções de Newton (PEDUZZI, 2006).

Para Cohen e Westfall (2002), após Newton assumir a presidência da Royal Society em 1703, produzir o seu livro *Óptica* e trabalhar em conjunto com o filósofo John Theophilus Desaguliers (1683-1744), seria muito difícil contestar a doutrina newtoniana.

Naquele momento, esse fato foi encarado como uma grande conquista de Newton, sendo um registro a seu favor. No caminhar da história, esse acontecimento iria exigir uma reconstrução sobre a controvérsia vivida na óptica daquela época.

Nas conferências desenvolvidas por John Theophilus Desaguliers, defensor ferrenho de Newton, era apresentada a filosofia natural newtoniana como uma verdade

incontestável. Seus cursos eram repletos de demonstrações de fenômenos ópticos, que não necessitavam de conhecimento matemático para a sua explicação. A linguagem de fácil acesso mobilizava um grande número de observadores, desde a nobreza, passando pelo clero e chegando aos plebeus da Inglaterra (MOURA, 2008).

Entretanto, um fato curioso chama atenção, pois fenômenos como os anéis de Newton não eram abordados, muito possivelmente graças a seu alto grau de complexidade. Vale salientar que Newton não viria a formular um modelo robusto que viesse a explicar esse fenômeno.

Os experimentos que divergiam das explicações de Newton, por outro lado, eram descartados. Uma das explicações dada era que seus instrumentos estariam defeituosos (COHEN; WESTFALL, 2002). Atrelado a isso, era costumeiramente mostrado que o modelo vibracional não explicava os fenômenos ópticos de forma correta como o corpuscular assim o fazia. Parece que tudo levava para uma maior aceitação das concepções newtonianas.

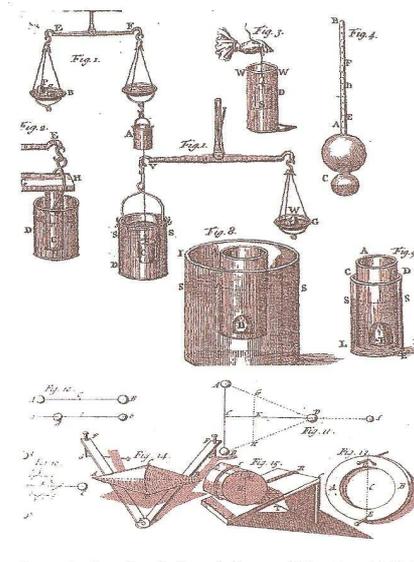


Figura 11: Desenhos de Experimento usados por Desaguliers (apud Silva e Moura, 2008).

Já a presença de algumas hipóteses relacionadas à natureza da luz eram baseadas nos argumentos de Newton encontrados no *Óptica*, especialmente nas questões do livro.

Outro fato marcante, que muito favoreceu a maior aceitação das convicções newtonianas, notadamente na Inglaterra e na França, foi a construção de uma imagem de *herói nacional*, postulada em Newton.

Segundo Moura (2008), era comum se encontrar nos palácios e nas repartições públicas da Inglaterra quadros e imagens de Newton. Atrelado a esse fato, a sua imagem era impressa em moedas e estátuas, fortalecendo ainda mais filosofia mecanicista newtoniana.

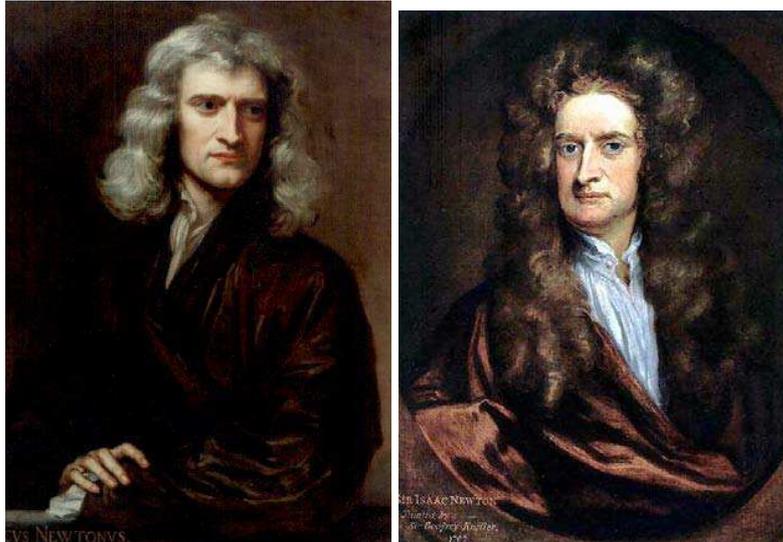


Figura 12: Imagens de Newton pintadas por Kneller nos anos de 1689 e 1702, respectivamente (apud Moura, 2008).

Mas, na segunda metade do século XVIII, os adeptos de modelos ondulatórios começavam a reiniciar estudos nessa perspectiva com destaque para Leonard Euler.

Em contrapartida a isso, os adeptos de uma materialidade para a luz deixam de lado alguns problemas encontrados na visão newtoniana e não discutiam, nas aulas populares, fenômenos que não pudessem ser contemplados pela teoria dinâmica da luz, por exemplo, os estados de fácil transmissão e fácil reflexão. Esses acontecimentos começaram a minar as convicções e as certezas que se tinha sobre os modelos corpusculares da luz.

2.4. Um alerta para o modelo corpuscular da luz

A grande dúvida sobre corroborar com um modelo de natureza corpuscular ou ondulatório também estava presente na abordagem dos fenômenos luminosos que, hoje, se conhece por difração e interferência. Abaixo será feito um resgate de algumas das principais discussões relativas a esse fenômeno nos séculos XVII e XVIII.

Difração

A difração, nos dias de hoje, é entendida como o desvio dado pela luz em relação a um obstáculo ou fenda. Ela foi descrita pelo estudioso jesuíta italiano Francesco Maria Grimaldi (1618-1663), que, na sua obra *Physico-Mathesis de Lumine, Coloribus et Iride*, publicada em 1665, descreve que a luz poderia possuir um fenômeno além dos conhecidos (reflexão, refração e difusão). Grimaldi chamou esse fenômeno de *difração*.

Segundo Bassalo (1987), Grimaldi teria descrito, em uma de suas experiências, que se um feixe de luz branca passasse através de dois estreitos orifícios, situado um atrás do outro, e em seguida atingisse um anteparo branco, haveria, nesse anteparo, uma região iluminada além da que deveria existir se a luz se propagasse em linha reta.

Ainda em 1665, Robert Hooke lançava o seu livro *Micrographia*. Esse trabalho é constituído por sessenta observações realizadas com um microscópio composto, que aumentava de 30 a 40 vezes a imagem. Hooke descreve experiências que mostram a presença de luz na sombra de um objeto iluminado, além de cores produzidas por uma lâmina transparente e fina de faces paralelas iluminadas com luz branca.

Diferente de Grimaldi, que se valeu do nome difração para explicar o fenômeno, Hooke utilizou o nome inflexão, provavelmente inspirando Newton, que estudou amplamente o *Micrographia* de Hooke, usando esse nome, no seu livro *Óptica*, para identificar o fenômeno. Newton mostrou um grande interesse sobre os resultados experimentais de Grimaldi (COHEN; WESTFALL, 2002). No livro III do *Óptica*, ele descreve:

Grimaldi nos mostrou que se deixarmos um feixe de luz do sol entrar em um quarto escuro através de um orifício minúsculo, as sombras das coisas nessa luz serão maiores do que o seriam se os raios passassem pelos corpos em linhas retas e que estas sombras têm três franjas, faixas ou fileiras paralelas de luz colorida adjacentes a elas. Mas se o orifício for alargado, as franjas se

alargarão e se encontrarão umas com as outras, de modo que não será possível distingui-las. Essas sombras e franjas largas têm sido consideradas por alguns como sendo decorrentes da refração ordinária do ar, mas sem o exame adequado do assunto (NEWTON, 2002, p.235).

Newton, provavelmente, é iniciado ao fenômeno da difração em 1672. Nesse mesmo ano, ele publicaria seu primeiro artigo sobre Óptica. Seus primeiros comentários sobre a difração podem ser encontrados no artigo de 1675, chamado *Hipótese da Luz*. Nele, Newton menciona Hooke e Grimaldi como os primeiros a tratar o tema da difração.

A figura 13 mostra a descrição elaborada por Newton para a difração de Grimaldi:

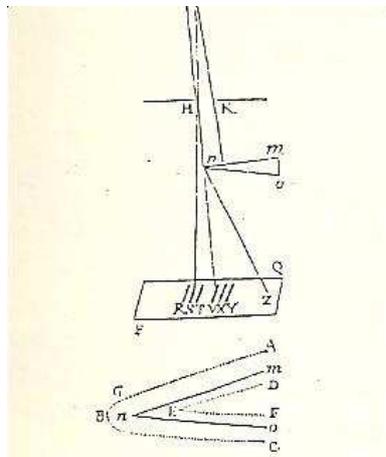


Figura 13: Difração segundo Newton (1675).

Na descrição de Newton, a luz entra pelo orifício *HK* e chega até o papel *PQ*, onde ocorre a interceptação de parte dessa luz por um objeto *mno*, formando seis fileiras de cores *RST* e *VXY*. Nessa figura, é possível notar a diferença da sombra de um objeto que se propaga em linha reta.

A figura 14 representa a descrição feita por Newton de experimentos realizados por ele para estudar o fenômeno descoberto por Grimaldi. Os resultados desses experimentos foram enviados por carta a Boyle em fevereiro de 1679.

Na mencionada carta, ele explica que *ABCD* é um corpo opaco. Ele descreve o comportamento da luz que passa perto da borda de *ABCD*. Para ele, a experiência demonstra que a luz se curva em direção a *T*, mostrando que ela vai para dentro da sombra.

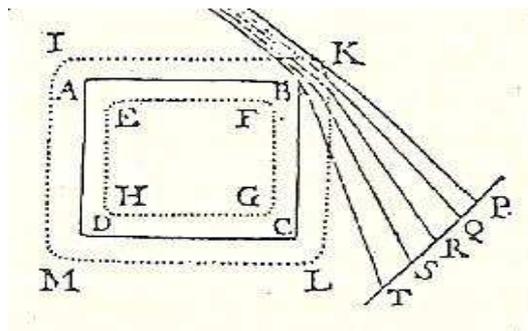


Figura 14: Difração descrita por Newton (1679).

Newton tentava explicar a inflexão (difração) com base em forças mútuas entre os corpúsculos, como as que, para ele, também agiriam na reflexão e na refração.

No trabalho de 1665, Grimaldi já tinha observado a presença de franjas coloridas internas e externas à sombra. Newton discute apenas as franjas externas.

Interferência

Também muito controversa em relação à sua definição, a interferência suscitava, intrinsecamente na sua explicação, escolhas de uma perspectiva corpuscular ou ondulatória. No fim do século XVIII e início do século XIX, explicar e imaginar uma partícula sofrendo interferência era algo muito complicado para a ciência óptica.

Surgia, com esse fenômeno, um grande alerta aos postulantes e defensores do modelo corpuscular de Newton. Do lado contrário, os principais entraves relacionados aos modelos ondulatórios residiam na *determinação experimental* do comprimento de onda, além da própria fundamentação matemática que ela não possuía de forma coesa e sólida.

Nos século XVII, em particular, muitos dos físicos mais ilustres mostraram interesse e um profundo encantamento por esse fenômeno luminoso, como Robert Boyle (1627-1691), Robert Hooke e Isaac Newton.

No livro *Experiments and considerations touching colours*, publicado em 1664, Boyle examina o fenômeno. Para ele, as cores dos corpos não eram qualidades deles, mas eram produzidas por uma luz refratada ou refletida pelos corpos através de modificações da luz branca (MOURA, 2008).

Hooke, por sua vez, no *Micrographia*, estuda profundamente o fenômeno. Ele realiza experimentos com o auxílio de microscópio em vários corpos, como a mica,

superfícies de metais, entre outros. Ele relata ter observado cores produzidas por corpos transparentes finos, iluminados com luz branca, a exemplo de uma bolha de sabão.

Newton já tinha estudado o *Touching Coulour*, de Robert Boyle, e o *Micrographia*, de Hooke. As suas primeiras experiências sobre a interferência são de 1666. Especialmente no seu ensaio *Sobre as Cores*, Newton começa a investigar o fenômeno das cores, tomando como base uma concepção corpuscular para a luz (MOURA, 2008).

As explicações de Newton sobre os anéis coloridos aparecem no Livro II do *Óptica*. Ele faz inúmeras descrições e observações acerca do fenômeno do aparecimento das cores. Para Newton, a luz possui predisposições para ser refletida ou refratada, conforme se percebe no trecho abaixo:

Todo raio de luz, em sua passagem através de qualquer superfície refratora, assume uma certa constituição ou estado transitório que ao longo da trajetória do raio retorna em intervalos iguais e faz com que em cada retorno tenda a ser facilmente transmitido através da próxima superfície refratora e, entre os retornos, a ser facilmente refletido por ela (NEWTON, p.210, 2002).

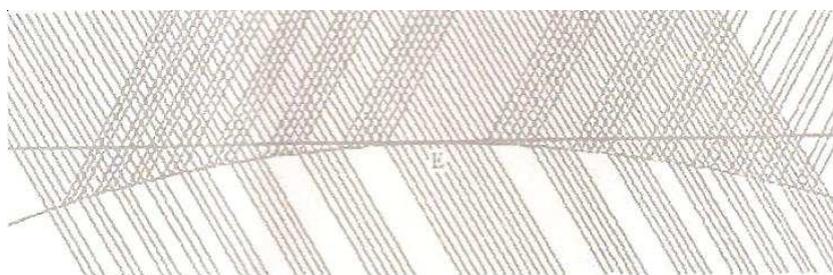


Figura 15: Anéis de cores numa película fina de ar entre a superfície de duas lentes.

A explicação dada por Newton surge devido à necessidade de esse fenômeno possuir dois raios para produzir os anéis de cores, ocorrendo interferência entre esses raios ou feixes de luz.

Futuramente, Newton desenvolveria sua teoria dos estados de fácil transmissão e fácil reflexão para explicar os anéis coloridos, tomando como base um modelo corpuscular para a luz.

Nos próximo tópico, será visto como os estudos sobre esses dois fenômenos viriam a contribuir para o ressurgimento do modelo ondulatório da luz.

2.5 O ressurgimento do modelo ondulatório da luz

A grande aceitação do modelo corpuscular da luz deveu-se, em parte, à forte oposição feita contra seu modelo rival (ondulatória) quanto à medição do comprimento de onda da luz, algo que não conseguia ser determinado experimentalmente e que, também, não possuía uma boa fundamentação teórica.

2.5.1 As ideias de Thomas Young

Thomas Young (1773-1829), físico, médico, linguista e egiptólogo, nasceu em 16 de junho de 1773 na aldeia inglesa de Milverton. Com o seu grande conhecimento linguístico, Young foi de suma importância para decifrar os códigos contidos na *Pedra de Roseta*, descoberta em 1799 pelas tropas de Napoleão. Ela continha o segredo de um corpo ignoto de conhecimentos. Metaforicamente, a questão da natureza da luz também teria, em Young, um perito que encontraria a sua *Pedra da Roseta* e decifraria certos *códigos* da luz, ainda invisíveis para muitos no seu tempo (ROTHMAN, 2005).

Young manifestou interesse em estudar a problemática da natureza da luz em *A syllabus of a course of lectures on natural and experiments philosophy* de 1802, em que se podem verificar comentários feitos por ele:

Desde o tempo de Aristóteles, filósofos foram divididos em seus sentimentos em relação à natureza da luz. A doutrina aristotélica, que afirma que a transmissão da luz ocorre em um impulso através de sucessivas partículas de um meio contínuo, foi apoiada com várias alterações, por Descartes, por Hooke, e por Huygens. Newton tentou combinar ambas as modelos com o intuito de tentar explicar os fenômenos mais gerais, ele se utilizou do sistema de Empédocles da emanção de corpúsculos separados nas suas explicações (YOUNG, 1802, p.114-115).

Young recorre aos gregos para demonstrar as primeiras discussões sobre a temática, com o propósito bem claro de mostrar a origem das ideias sobre o assunto. Na continuação dessa seção, ele viria a se posicionar a favor de uma concepção filosófica, dentre as que ele apresenta.

Embora Young se posicione contra as ideias de Newton, ele demonstra um respeito enorme pelo filósofo inglês. Nas palavras do próprio Young, observa-se a sua tentativa de explicar o que seria a luz.

A luz é uma influência de um meio capaz de entrar no olho, e de afetar a sua visão. *As suas propostas pertencem mais imediatamente à mecânica ou a hidrodinâmica.* É impossível formar um juízo adequado dos méritos comparativos dos modelos respeitando a sua natureza, sem ser primeiro familiarizado com as principais doutrinas relativa aos fluidos elásticos. Newton, *o pai da mecânica óptica*, declarou o seu sistema incompleto sem um meio etéreo (YOUNG, 1802, p.96, grifo nosso).

Nessa citação, pode-se observar que os principais estudos de Young relacionados à natureza da luz estavam contidos nas suas palestras e aulas populares ligadas ao estudo da hidrodinâmica. Nelas, ele desenvolveria um aparato com a finalidade de mostrar a interferência da luz em ondas de água.

Mesmo respeitando Newton, Young se posiciona, cuidadosamente, em uma posição contrária ao mestre inglês. Para ele,

A luz é propagada em linha reta, porque todos os movimentos não perturbados são retilíneos, ou porque, em um meio homogêneo e altamente elástico, todas as ondulações são transmitidas retilinearmente (YOUNG, 1802, p.116).

No século XIX, a interferência em ondas de água e som foi completamente aceita. Young pretendia raciocinar por analogia e explicar de forma mais clara o que os seguidores de Newton, que ignoravam aspectos problemáticos do *Óptica*, não teriam se preocupado em explicar, como o fenômeno dos *anéis de Newton*.

A experiência da fenda dupla

Young teria realizado, no início do século XIX, uma experiência que evidenciou aspectos da natureza da luz, demonstrando que ela pode sofrer interferência, propriedade exclusiva de ondas (BASSALO, 1989). Essa experiência, conhecida como experiência da fenda dupla de Young, abalou os alicerces do modelo corpuscular, pois provava que uma partícula não sofreria interferência.

Uma figura possível que representa a experiência da fenda dupla de Young, a partir da luz solar, encontra-se a seguir (Figura 16). Após o orifício S_0 , verifica-se o fenômeno da difração. A luz, ao atravessar os orifícios S_1 e S_2 , sofre interferência. Figuras e esquemas de interferência, como a demonstrada, são facilmente encontrados nos livros-texto de *Óptica* do ensino médio e superior.

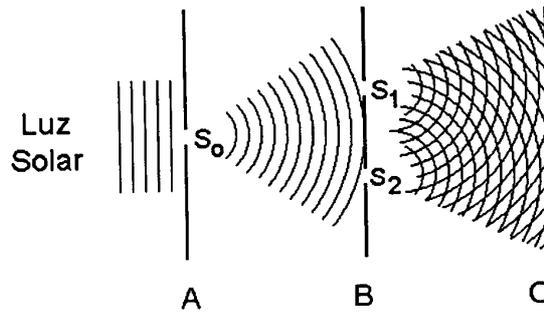


Figura 16: Esquema da experiência de Young. Os pontos S_0 , S_1 e S_2 são orifícios.

A figura efetivamente utilizada por Young foi a que se encontra apresentada a seguir (Figura 17):

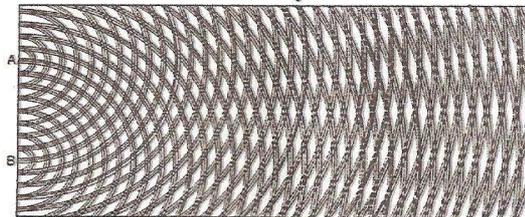


Figura 17: Esquema feito por Young (SHAMOS apud MOZENA, 1999, p.14).

Young apresentou alguns trabalhos na Royal Society com extremo cuidado, destacando que Newton também argumentou sobre a possibilidade da luz possuir algumas características ondulatórias, fato que foi desconsiderado pelos seus defensores.

Entretanto, Rothman (2005) discute se a famosa experiência da fenda dupla de Young foi realizada em 1800, 1801, ou, ainda, 1802. Segundo esse autor (ROTHMAN, 2005, p.39), nas *Philosophical Transactions* e nas *Bakerian Lectures*, Young comenta sua repetição das experiências de Grimaldi e apresenta resultados mais precisos. É possível encontrar nessas obras a explicação para os *anéis de Newton* e, ainda, os valores precisos obtidos para os comprimentos de onda, calculados com base nos valores do próprio Newton. Contudo, não se encontra nenhuma referência à experiência da fenda dupla.

Para Rothman, Young, no período em que lecionou física na Royal Institution, teria proferido, em um período de dois anos, palestras populares que abrangiam o conhecimento científico da época. Em especial, na palestra XXIII (sobre a teoria da hidráulica), Young teria descrito um aparato experimental que hoje se conhece como *tanque de ondas*, com o propósito de demonstrar o padrão de interferência das ondas de

água. Rothman (2005, p.41) declara que, nas *Bakerian Lectures*, o padrão apresentado é o de interferência de ondas de água, o qual ocorre quando se joga duas pedras em um lago. Além disso, os diagramas de interferência, publicados nos *Lectures*, apresentados em alguns livros-texto seriam, portanto, padrões de interferência para a água e não para a luz. Na palestra XXXIX, sobre a natureza da luz e das cores, retorna para a interferência das ondas de água e do som. Segundo Rothman (2005), Young afirma:

Já foi demonstrado que duas séries iguais de ondas, avançando a partir de centros próximos um do outro, podem destruir os efeitos uma da outra em certos pontos, e em outros dobrá-las, e a colisão de dois sons foi explicada a partir de uma interferência similar. Agora, aplicaremos os mesmos princípios à união e a extinção alternada de cores (ROTHMAN, 2005, p.41).

Young, nas suas apresentações na Royal Society, ficou marcado pela suas elaboradas descrições das experiências e, também, por dar crédito a quem, definitivamente, merecia. Volta-se, a seguir, a uma descrição mais extensa do que poderia ser um relato do experimento de Young:

Para que os efeitos de duas porções de luz possam ser assim combinados, é preciso que tenham a mesma origem e que cheguem ao mesmo ponto por diferentes trajetos, em direções que não se desviem muito uma da outra. Este desvio pode ser produzido em uma ou em ambas as porções pela difração, reflexão, refração ou por qualquer desses efeitos combinados; contudo, o caso mais simples parece ser o de um feixe de luz homogêneo, que cai sobre uma tela na qual existem dois orifícios muito pequenos, ou fendas, que podem ser consideradas como centros de divergência, a partir dos quais a luz sofre difração em cada direção. Neste caso, quando dois feixes recém-formados são recebidos em uma superfície posicionada de modo a interceptá-los, sua luz é dividida por faixas escuras, em porções quase iguais, que se tornam mais amplas à medida que a superfície está mais remota das aberturas, de modo a submeter ângulos quase iguais a partir das aberturas em todas as distâncias, e mais amplas também na mesma proporção em que as aberturas estão mais próximas uma da outra. O meio das duas porções é sempre claro, e as faixas claras em cada lado estão em tais distâncias que a luz que chega a elas de uma das aberturas deve ter passado por um espaço maior que aquele que chega da outra, por um intervalo igual à largura de uma, duas ou mais das supostas ondulações. Os espaços escuros intervenientes, de uma diferença de metade de uma suposta ondulação, de uma e meia, duas ou mais ondulações (ROTHMAN, 2005, 42).

Young, realmente, realizou o experimento da fenda dupla?

A descrição acima inicia-se voltada para o som, segundo observado. Entretanto, na segunda parte, ele descreve um relato de algo que poderia ser uma experiência concreta de um experimento parecido com o da fenda dupla. Para Rothman (2005),

Young era reconhecido pela capacidade descritiva de relatar os seus experimentos. Esse em questão difere bastante dos demais realizadas por Young na Royal Society, onde ele era o mais explícito possível no que fazia. No relato acima descrito, ele não admite abertamente ter feito tal experimento, o que, de certa forma, se afasta do seu estilo de descrever as suas experiências.

O autor exemplifica o modo como Young se dirigia ao fazer seus trabalhos:

[...] Fiz um pequeno orifício em uma veneziana e o cobri com um pedaço de papel grosso, que perfurei com uma agulha. [...] Comparei as medidas deduzidas a partir de várias experiências de Newton e de algumas realizadas por mim. (ROTHMAN, 2005, p.43).

A argumentação utilizada por Young difere muito da utilizada nas palestras populares e em outros momentos. Então, o que se pode concluir com a citação do Young? O experimento da fenda dupla pode ter sido apenas um exercício mental? Ou, ainda, diante dos dados de Newton, Young pode ter visto algo que muitos não viram diante da complexidade do problema?

De qualquer forma, o importante para esse belo capítulo da história da Óptica é que os resultados de Young foram de suma importância para o ressurgimento de modelos ondulatórios e que esses dados ainda dariam base para Augustin Fresnel (1788-1827) formular um modelo matemático para a luz, corroborando com os trabalhos de Young e fazendo avançar o modelo ondulatório.

Embora não seja o foco deste trabalho, cabe destacar que a controvérsia continua com Augustin Fresnel (1788-1827), que fundamenta matematicamente o modelo ondulatório da luz. Além disso, ele se consagra vencedor de um concurso promovido pela Academia de Ciências da França, fortemente influenciada pelo modelo corpuscular de Newton. O defensor do modelo corpuscular de Newton lançaria um concurso de monografias sobre a difração, com o intuito de complicar os defensores do modelo opositor e consagrar de vez o modelo corpuscular.

Siméon Denis Poisson (1781-1840), membro da comissão julgadora e defensor ferrenho do modelo de Newton, mostrou, valendo-se de cálculos, que se o modelo de Fresnel estivesse correto, haveria um ponto brilhante no centro de uma sombra projetada por um pequeno disco circular. Ele imaginava que esse fato era ridículo e absurdo.

Todavia, foi Arago (1786-1853), colega de Fresnel, que montou um aparato experimental para mostrar a existência do ponto brilhante de Poisson. Esse fato fez com

que Fresnel saísse vencedor do concurso e que o modelo ondulatório ganhasse ainda mais espaço nos estudos físicos da época.

James Clerk Maxwell (1831-1879), que, no século XIX, ficou famoso com as leis que levam o seu nome, funde a Óptica com o eletromagnetismo, sendo a luz vista como uma onda eletromagnética. Essa possibilidade representou uma mudança radical, pois os modelos anteriores faziam referências às ondas mecânicas, que eram as conhecidas.

No entanto, a aceitação não é definitiva, devido, em grande parte, aos estudos e registros deixados por Heinrich Hertz (1857-1894), quem viria a confirmar as previsões de Maxwell, quando ele demonstrou que as ondas eletromagnéticas eram detentoras de propriedades de ondas luminosas.

Em 1905, Albert Einstein (1879-1955) explica o efeito fotoelétrico propondo uma nova teoria corpuscular, segundo a qual a luz era composta por *partículas* de energia (quanta de energia). Com isso, ele retoma, de certo modo, ideias de Isaac Newton lançadas nos séculos XVII e XVIII, apesar de já serem consideradas fora de uso no século XX. As hipóteses de Einstein foram submetidas a testes experimentais e o fenômeno que ele descreveu foi observado por Robert Millikan em 1916.

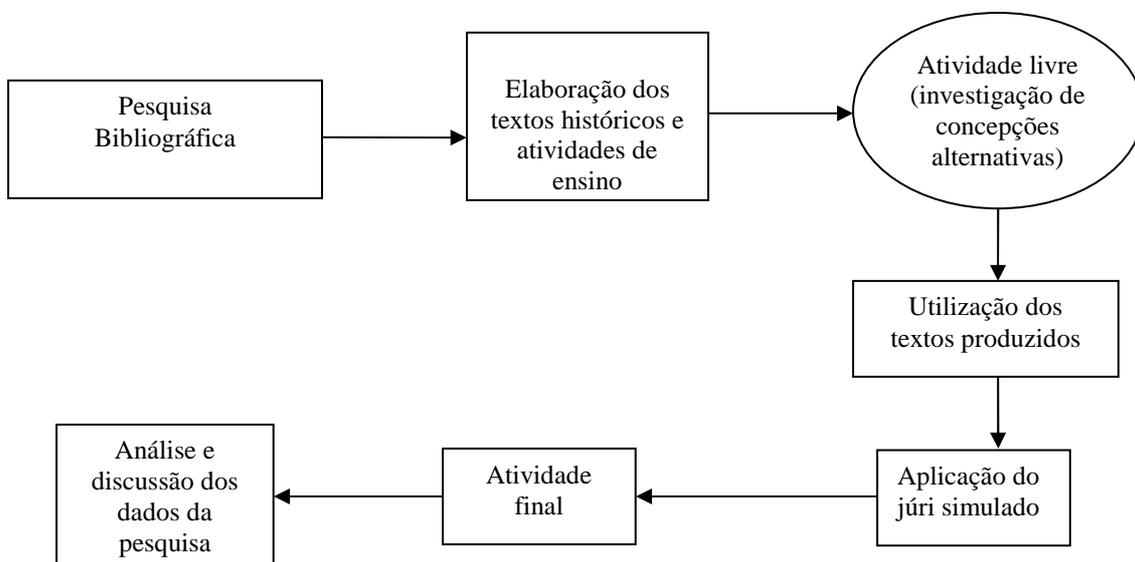
Ao longo do século XX, o comportamento da luz passou a ser considerado *dual*, no âmbito da Mecânica Quântica. A manifestação do caráter ondulatório ou corpuscular dependeria, essencialmente, do arranjo experimental desenhado para favorecer um dos dois pólos da dualidade.

3. PERCURSO METODOLÓGICO

Neste capítulo, será apresentado o desenvolvimento da pesquisa, com ênfase às escolhas metodológicas (instrumentos de pesquisa) elaboradas no decorrer deste estudo, bem como a definição, elaboração e a utilização das atividades e práticas de ensino desenvolvidas no trabalho.

3.1. Apresentando o decorrer da pesquisa

No esquema abaixo, encontra-se um quadro resumo do percurso seguido para a aplicação da estratégia de ensino:



Quadro 1: Resumo da pesquisa.

O estudo desenvolvido caracteriza-se por uma abordagem qualitativa, como define Marconi (2003):

- Ocorre uma preocupação com o processo desenvolvido, e não simplesmente com o produto final;
- Deverá ocorrer o contato direto do pesquisador com o local que está sendo investigado;
- Os dados coletados são, quase exclusivamente, descritivos: gravações, entrevistas, entre outros;

- Deve-se levar em consideração a variedade de pontos de vista.

Trabalhos anteriores (SOUZA, 2008), que se assemelham com este estudo, mostram que:

- O próprio texto construído e as questões respondidas pelos alunos devem ser objeto de análise;
- A tarefa de coletar e analisar os dados é extremamente trabalhosa e geralmente individual, acarretando dispêndio de energia e tempo.

No que diz respeito ao objetivo central desta pesquisa, ele é o de criar, aplicar e avaliar materiais didáticos e práticas educativas fundamentadas na História e a Filosofia da Ciência. Entretanto, vale salientar que a abordagem histórica está inserida dentro de um planejamento maior, contendo aulas experimentais e discussão de filmes sobre a Óptica por exemplo.

Uma primeira etapa da intervenção em sala, que possui uma fundamentação de natureza histórica e filosófica, é uma atividade livre, na qual os alunos responderão às seguintes questões: *Como explicar o que ocorre entre o olho e o objeto visto? Como você define o que é luz?*

A literatura especializada (HARRES, 1993; GIRCOREANO; PACCA, 2001; GARCIA et al, 2007, SILVA, MARTINS, 2009b) comumente se vale de atividades similares a essa para detecção de concepções alternativas dos alunos²⁹. Como comenta Harres (1993), o uso de testes de lápis e papel para tal propósito já vem sendo utilizado no ensino de Ciências, e, em particular, no ensino da Física.

Essa atividade, além de dinamizar o tempo de ação do pesquisador, caracteriza-se como uma boa ferramenta de início de trabalho, pois delimita e aponta ao docente várias informações relevantes sobre o que pensam os alunos em relação aos assuntos que serão abordados em sala de aula.

Uma próxima etapa de aplicação da estratégia de ensino é o trabalho com as leituras, no qual os alunos terão contato direto com os textos históricos construídos nesta pesquisa.

²⁹ Nessa estratégia de ensino, tomam-se como ponto de partida as ideias prévias dos alunos, chamadas, também, de concepções alternativas, relacionadas a tópicos iniciais da óptica, por exemplo, suas explicações sobre como se enxerga um objeto, a qual está intimamente ligada a modelos conceituais, os mais diversos possíveis, sobre a natureza da luz.

Tomando como base a discussão sobre a natureza da luz, apresentam-se no texto conteúdos relacionados ao estudo da Óptica, tais quais a reflexão, a explicação de como se enxerga um objeto, a refração, a difração e a interferência. Também se pretende discutir aspectos relacionados à natureza da ciência retirados dos episódios históricos selecionados.

Portanto, esta pesquisa objetiva verificar não só a aprendizagem de modelos físicos, mas analisar a pertinência e a possibilidade de se usarem discussões sobre a natureza da ciência com base em textos históricos.

Para tal, foi inserido nos textos o instrumento de coleta de dados: as questões, encontradas no fim de cada texto. Essas questões servem para verificar o nível de aprendizagem dos alunos em relação a conteúdos relacionados à Óptica, além de servir para analisar algumas de suas ideias sobre a natureza da ciência.

Para encerrar a etapa de trabalho com os textos, é apresentada uma prática educativa realizada já em outros momentos, que, nesta pesquisa, em especial, recebe o nome de júri simulado. Essa atividade deve ser realizada após a aplicação dos textos históricos.

A prática mostra-se importante para (re)delimitar o perfil da turma, verificar o interesse dos alunos para o uso de textos históricos, e, também, para observar a possibilidade de aplicação de uma dinâmica que utilize a História e a Filosofia da Ciência na sua essência em sala de aula. Além da observação do pesquisador atuante na prática, os registros do júri simulado são feitos a partir da gravação de áudio e vídeo.

Para finalizar o percurso da pesquisa, bem como encerrar a aplicação da nova estratégia de ensino, será criada e aplicada uma atividade final, que se define como uma prova pedagógica, responsável por verificar a aprendizagem dos conceitos estudados.

Vale salientar que as questões ao fim dos textos históricos e o júri simulado serão também objeto de análise. Além das atividades de concepções alternativas, textos históricos e júri simulado, no planejamento (apêndice 1), pode-se encontrar outras práticas, de natureza não histórica, desenvolvidas em sala de aula, como o vídeo e demonstrações experimentais. Essas atividades não foram objeto de análise deste trabalho.

No próximo tópico, serão apresentados os participantes da pesquisa e o contexto no qual se inserem.

3.2. O contexto da pesquisa: a caracterização dos sujeitos e do local da pesquisa

A pesquisa foi realizada em uma escola da rede pública do Estado do Rio Grande do Norte. A escola é situada no centro do município de Parnamirim e, atualmente, conta com três turnos: o matutino, vespertino e noturno. No que diz respeito à pesquisa, a aplicação da estratégia de ensino foi realizada no turno noturno.

A escola é locada na 2ª Diretoria Regional de Ensino do Rio Grande do Norte. Atualmente, possui 14 salas e consta de um corpo docente formado por 16 professores no turno noturno e um total de 60 professores.

A escola é dotada de 03 retroprojetores, 01 data show, recém adquirido, uma biblioteca com um acervo de aproximadamente 300 livros, um salão de eventos com capacidade para 200 pessoas e laboratório de informática com 14 computadores com acesso à internet.

Devido à centralidade da escola, ela recebe alunos do bairro onde ela é situada (Centro de Parnamirim) e também recebe uma demanda de alunos oriundos de bairros vizinhos à escola.

Especificamente no que diz respeito à pesquisa realizada, ela ocorreu em duas turmas do 2º ano do ensino médio do turno noturno. Em geral, as turmas possuem entre 35 e 40 alunos³⁰. Inicialmente, estavam matriculados 38 alunos no 2º ano A e 40 no 2º ano C. Em média, os alunos tinham, por volta, de 20 a 28 anos³¹. Na sua maioria, eram trabalhadores de indústrias e do comércio, que chegavam cansados em sala de aula.

Nos próximos tópicos, será feita uma discussão sobre os instrumentos de coleta de dados usados no decorrer dessa pesquisa, discutindo os seus pontos positivos e negativos.

³⁰ O turno noturno é um turno atípico em relação aos demais turnos. À noite, recebem-se alunos das mais diversas faixas etárias, variando entre 15 e 60 anos.

³¹ Estes dados foram adquiridos com a secretária da escola onde a pesquisa foi realizada.

3.3. Os instrumentos de coleta de dados

Trabalhos anteriores (VANNUCCHI, 1996; SOUZA, 2008) já apontam que o uso de questionários, de preferência com questões abertas, mostra-se como ferramenta útil para a captação de dados. Abaixo, será discutida a aplicabilidade dessa ferramenta neste trabalho.

3.3.1. Questionário: pontos positivos e negativos

Os questionários podem apresentar perguntas fechadas, abertas ou dois tipos de perguntas. Um questionário exclusivamente elaborado com perguntas fechadas facilita o seu preenchimento total, além de auxiliar na codificação das informações por parte do pesquisador. Entretanto, as restritas possibilidades de respostas dadas ao entrevistado podem forçá-lo a escolher uma das respostas propostas pelo pesquisador, o que pode induzir o entrevistado a pensar de uma forma que não lhe seja agradável, deturpando, por fim, os dados obtidos.

Uma vantagem considerável das perguntas abertas é a liberdade autorizada ao entrevistado. Para Richardson (1999), esse grau de liberdade é importante ao pesquisador que apresenta pouca informação sobre o assunto.

As perguntas abertas, contudo, têm se tornado uma barreira aos entrevistados. Como comenta Richardson (1999), existem pessoas possuidoras de maior facilidade de escrita, facilitando o preenchimento dos questionários. Entretanto, é comum encontrar, em questionários constituídos por questões abertas, o não preenchimento de algumas delas. Isso, geralmente, ocorre pela falta de tempo (perguntas abertas requerem um maior tempo de resposta em relação às fechadas) ou pelo desinteresse gerado pelo vocabulário utilizado.

Para Souza (2008) e Forato (2009), sobre a elaboração das questões dos textos históricos, no que diz respeito à investigação da viabilidade de inserção da História e da Filosofia da Ciência, os autores mostram a necessidade do trabalho com questões abertas.

No próximo tópico, será abordado o processo de elaboração dos textos históricos e o modo como se deve proceder a sua aplicação. Além disso, serão apresentadas as novas práticas (júri simulado) elaboradas.

3.3.2 A aplicação dos textos: estratégia de abordagem, discussão em sala e análise das respostas.

Neste tópico, será mostrado como foi construído o material baseado na História e Filosofia da Ciência, bem como as estratégias para a sua aplicação, discussão e análise dos textos históricos usados em sala de aula.

Ainda neste tópico, será apresentada a prática do júri simulado, mostrando a sua elaboração, objetos e metodologia.

A pré-leitura:

Uma das possíveis formas de trabalhar a História e a Filosofia da Ciência é com textos (veja, por exemplo: VANNUCCHI, 1996; SOUZA, 2008). Recomenda-se que antes de qualquer abordagem do docente, seja requerida dos alunos uma leitura prévia individual dos textos, direcionada, se possível, por um questionamento³² que os motive.

Outra possibilidade para a aproximação inicial seria a introdução de uma questão, que servirá como ponto de partida (deve-se lembrar que essa questão deverá suscitar a curiosidade dos alunos). É importante uma atividade que vise a despertar interesse nos alunos, evitando a ocorrência de um maior distanciamento da leitura e do objetivo esperado pelo docente.

Para Souza (2008), a solicitação de resumos é de suma importância para os estudantes terem a oportunidade de sistematizar e organizar pontos importantes da sua leitura.

A leitura em grupo:

Uma próxima etapa da aplicação do material produzido (textos históricos) é a leitura em grupo dos materiais. Nesse processo, o docente assumirá o papel de observador, cabendo a ele direcionar para alunos a discussão do texto. Cabe salientar que o papel do docente é de sistematizar somente a leitura do texto, pois ainda não é aconselhável a aplicação das questões por parte do professor, uma vez que o docente

³² Neste trabalho, a leitura dos textos é motivada pela atividade que foi realizada antes de os alunos tomarem contato com o texto, que é chamada de atividade livre. Essa atividade tem justamente a finalidade de despertar a curiosidade do aluno sobre o que seria a luz e também sobre a explicação científica do por que enxergamos um objeto.

pode direcionar os alunos às respostas da atividade de ensino, mascarando, assim, e comprometendo o resultado da pesquisa.

Resolução das questões referentes ao texto histórico: discutindo o texto

A etapa seguinte será a resolução das questões referentes a cada texto histórico. Os textos possuem discussões relacionadas à evolução de conceitos básicos da Óptica, como os de reflexão e refração. Em segundo plano, os textos oferecem a possibilidade de discussões relacionadas à natureza da luz. Essas e outras discussões serão feitas tomando como pano de fundo a controvérsia histórica relacionada à natureza da luz.

Na tabela abaixo é feito um resumo dos conceitos e argumentos relacionados à Natureza da Ciência que podem ser abordados nos textos:

TEXTO	CONTEÚDOS FÍSICOS ABORDADOS	ASPECTOS RELATIVOS À NATUREZA DA CIÊNCIA
Texto 1	Explicação do por que se enxerga um objeto/ Introdução à discussão relacionada à natureza da luz.	O conhecimento científico é dinâmico/ A ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais/ Pessoas de todas as culturas contribuem para a ciência/ A ciência é parte de tradições sociais e culturais/ Ideias científicas são afetadas pelo meio social e histórico no qual são construídas/ Há controvérsias relacionadas aos modelos que pretendiam explicar a visão, mostrando, muitas vezes, a falta de um consenso.
Texto 2	Velocidade da luz/ Reflexão / Refração/ Discussão sobre a natureza da luz.	O conhecimento científico é dinâmico/ A ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais/ A ciência é parte de tradições sociais e culturais/ Ideias científicas são afetadas pelo meio social e histórico no qual são construídas/ Existência de modelos teóricos mais diversos na formação de uma teoria/ Há controvérsias relacionadas aos modelos que pretendiam explicar a luz, mostrando, muitas vezes, a falta de um consenso.

<p>Texto 3</p>	<p>Velocidade da Luz/ Difração/ Interferência/ Discussão sobre a natureza da luz.</p>	<p>O conhecimento científico depende fortemente, mas não inteiramente, da observação e da evidência experimental/ A ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais/ A ciência é parte de tradições sociais e culturais/ Ideias científicas são afetadas pelo meio social e histórico no qual são construídas/ Existência de modelos teóricos mais diversos na formação de uma teoria/ Novos conhecimentos devem ser relatados de forma aberta e clara/ A construção do conhecimento científico requer registros de dados acurados, crítica constante das evidências, das modelos, dos argumentos pelas comunidades de pesquisadores e requer também replicação dos estudos realizados/ Há controvérsias relacionadas aos modelos que pretendiam explicar a visão, mostrando, muitas vezes, a falta de um consenso.</p>
----------------	---	--

Tabela 2: Relação dos conteúdos físicos abordados nos textos e das possibilidades de discussões relacionadas à Natureza da Ciência.

Nos quadros abaixo, apresentam-se possibilidades para trabalhar aspectos da Natureza da Ciência extraídos diretamente dos textos históricos sobre a História da Óptica. Essas informações possuem o objetivo de oferecer subsídios ao docente que deseje discutir aspectos e questões relacionadas à NdC.

ASPECTOS RELATIVOS À NATUREZA DA CIÊNCIA	ASPECTOS RELATIVOS À HISTÓRIA DA ÓPTICA
<p>O conhecimento científico é dinâmico.</p>	<p>No decorrer da história da Óptica, sobretudo neste episódio, é observada a pluralidade de ideias, que coexistiram e fizeram alavancar os estudos sobre a visão.</p>
<p>A ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais.</p>	<p>Na Antiguidade, percebe-se a constante iniciativa dos gregos em tentar explicar um dos fenômenos mais intrigantes da natureza naquela época: por que se enxerga.</p>
<p>Pessoas de todas as culturas contribuem para a ciência.</p>	<p>Contrariamente ao que é disseminado em uma visão mais ocidental da ciência, pode-se observar que os árabes, de cultura oriental, foram determinantes para o desenvolvimento da ciência óptica, fazendo ressurgir e ampliando os estudos</p>

	dos gregos antigos.
A ciência é parte de tradições sociais e culturais.	No recorte do episódio que se estuda neste texto, pode-se destacar a herança e a influência dos gregos para estudos na Idade Média. Esse fato deveu-se muito ao resgate dos estudos helênicos feito pelos árabes e à divulgação desses estudos no ocidente por eles
Ideias científicas são afetadas pelo meio social e histórico no qual são construídas.	Na Idade Média, mormente devido à influência da Igreja, alguns estudiosos, dentre os quais se pode citar Santo Tomás de Aquino, tentaram unir teses de cunho religioso a teses de cunho filosófico para explicar fenômenos naturais.

Tabela 3: Relação entre aspectos relacionadas à Natureza da Ciência e aspectos relativos à História da Óptica extraídos do Texto 1.

ASPECTOS RELATIVOS À NATUREZA DA CIÊNCIA	ASPECTOS RELATIVOS À HISTÓRIA DA ÓPTICA
O conhecimento científico é dinâmico.	As recorrentes idas e vindas de ideias de natureza material ou não na explicação do que seria a luz.
A ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais.	Tentativas de explicação de fenômenos como reflexão e refração, além da busca pelo que seria, exatamente, a luz.
A ciência é parte de tradições sociais e culturais.	Com uma análise histórica, pode-se perceber que a ideia de explicar o que é a luz remonta a Antiguidade, ocasionando escolas filosóficas que influenciariam as explicações dos cientistas do século XVII.
Ideias científicas são afetadas pelo meio social e histórico no qual são construídas.	A cultura da experimentação, que foi herança da Revolução Científica. Os estudos de natureza corpuscular de Gassendi, que eram disseminados no século XVII, influenciaram os estudos de Newton e posteriormente a sua formulação de uma teoria da luz de natureza material
Existência de diferentes modelos na formação de uma teoria.	Na explicação do que seria a luz, percebe-se a coexistência de diferentes modelos, desmitificando a ideia que a ciência é formada por uma única ideia.

Tabela 4: Relação entre aspectos relacionadas à Natureza da Ciência e aspectos relativos à História da Óptica extraídos do Texto 2.

ASPECTOS RELATIVOS À NATUREZA DA CIÊNCIA	ASPECTOS RELATIVOS À HISTÓRIA DA ÓPTICA
O conhecimento científico depende fortemente, mas não inteiramente, da observação e da evidência experimental.	Verifica-se que a experiência de Young, por si só, não foi capaz de atestar a validade da teoria ondulatória. Faltava-lhe uma fundamentação matemática.
A ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais.	Tentativas de explicação de fenômenos como difração e interferência, além do que seria, exatamente, a luz.
A ciência é parte de tradições sociais e culturais.	Observa-se que Newton se fundamentou em Grimaldi e mesmo Young, que seria um personagem importante na derrubada das ideias de Newton, fundamenta-se nos seus dados para explicar a interferência da luz.
Ideias científicas são afetadas pelo meio social e histórico no qual são construídas.	Houve um cuidado extremo de Young ao apresentar resultados na Royal Society contrários ao de Newton. Nessas apresentações, Young utiliza argumentos de Newton nas suas

	explicações, mostrando a rigidez e a solidez da imagem newtoniana.
Existência de diferentes modelos na formação de uma teoria.	Na explicação do que seria a luz, é perceptível a coexistência de modelos, os mais diversos possíveis, desmitificando a ideia que a ciência é formada por uma única ideia.
Novos conhecimentos devem ser relatados de forma aberta e claramente.	Verifica-se, da história da luz, em especial no século XVIII, que a popularização atrelada à divulgação das ideias de Newton criou uma forte barreira para a divulgação de ideias de natureza não corpuscular.

Tabela 5: Relação entre aspectos relacionadas à Natureza da Ciência e aspectos relativos à História da Óptica extraídos do Texto 3.

Discussão das respostas pelo professor

Por se tratar de uma estratégia de ensino, é interessante que o professor, em um momento posterior, realize a discussão das questões³³ em sala de aula.

Tratando-se de uma abordagem histórica, é interessante que se realizem paralelos entre as principais respostas dos alunos e as respostas encontradas no decorrer da História da Ciência. Nesse momento, será feita uma análise das questões elaboradas e encontradas no final de cada texto.

Portanto, a ideia, aqui, é mostrar o objetivo de cada questão e a sua conexão com o texto histórico estudado, mostrando uma possibilidade dentre as várias que podem ser sugeridas pela discussão e abordagem das questões.

QUESTÕES	OBJETIVOS	HABILIDADES ESPERADAS
Questão 1	Introduzir o aluno à discussão relacionada à explicação da visão e sobre o que é a luz.	Percepção da existência de ideias de naturezas distintas na formação de uma teoria.
Questão 2	Verificar o modelo teórico de visão apresentado pelo aluno e o confrontar com o apresentado na atividade de pré-intervenção.	Percepção da semelhança ou não de suas ideias com os modelos formados por cientistas influentes no passado.
Questão 3	Construir um modelo teórico relacionado à explicação do por que se enxerga.	Percepção da existência de modelos teóricos diferentes no que diz respeito à explicação da visão.
Questão 4	Confrontar os modelos dos alunos relacionados à luz e à visão com os dos filósofos e estudiosos, que tentaram explicar o que é a luz.	Percepção da existência de modelos teóricos diferentes no que diz respeito à explicação do que é a luz.
Questão 5	Verificar as ideias relacionadas à	Percepção da existência de

³³ As questões podem ser encontradas no final de cada texto histórico contido neste capítulo.

	natureza da luz.	modelos de natureza material ou não no que diz respeito à explicação do que é a luz.
--	------------------	--

Tabela 6: Análise das questões do Texto 1.

QUESTÕES	OBJETIVOS	HABILIDADES ESPERADAS
Questão 1	Verificar como o aluno enxerga o desenvolvimento do conhecimento científico (linear ou rupturas).	Percepção da existência de modelos diferentes no que diz respeito à natureza da luz.
Questão 2	Verificar qual é a ideia que os alunos têm sobre o cientista (mito do gênio).	Perceber que o cientista erra e que existe um intenso debate filosófico na formação de uma teoria.
Questão 3	Apresentar a inserção de fatores não racionais na formulação de uma teoria.	Percepção da existência de fatores sociais, políticos e econômicos na formação de uma teoria.
Questão 4	Apresentar a influência da imagem de Newton na formação de uma teoria.	Percepção de como a imagem e a autoridade de Newton serviu como obstáculo para desenvolvimento da teoria ondulatória no século XVIII.

Tabela 7: Análise das questões do Texto 2.

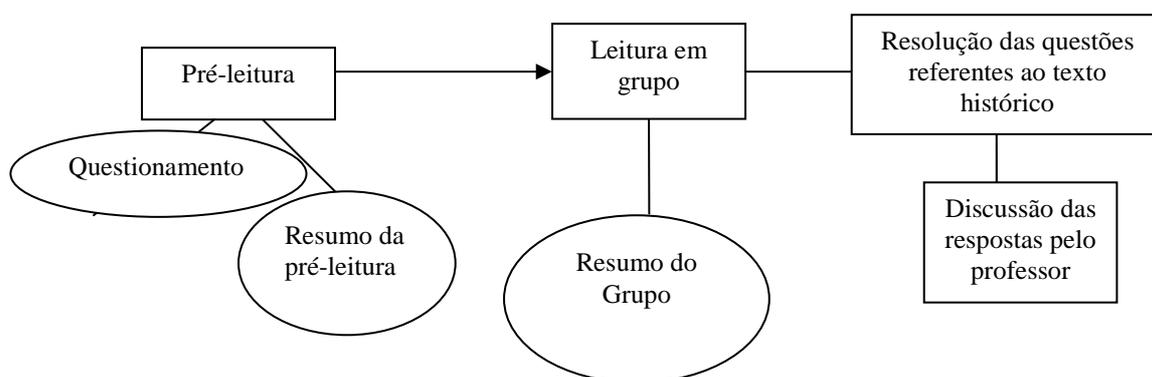
QUESTÕES	OBJETIVOS	HABILIDADES ESPERADAS
Questão 1	Discutir os fenômenos da difração e da interferência.	Reconhecer os fenômenos da difração e da interferência.
Questão 2	Apresentar aos alunos os critérios exigidos pela comunidade científica da época para validar ou não uma teoria.	Percepção da existência de outros fatores na aceitação ou não de uma teoria.
Questão 3	Desmistificar a ideia de que, para comprovar (validar) uma teoria, “sempre” é necessário realizar uma experiência no final do processo de validação dessa teoria.	Percepção de que nem sempre uma teoria é validada por um experimento.
Questão 4	Verificar como o aluno enxerga o desenvolvimento do conhecimento científico (linear ou rupturas).	Percepção de que, no decorrer do desenvolvimento de um conceito científico, existem períodos de constantes desentendimentos entre os cientistas, quando a ciência passa por verdadeiras revoluções.
Questão 5	Verificar o papel do erro dado pelos alunos na construção de uma teoria.	Percepção de que o erro, na ciência, nem sempre é um fator negativo.

Tabela 8: Análise das questões do Texto 3.

Nota-se que, de forma geral, todas as questões relacionadas aos três textos objetivam criar no aluno a ideia de que, para a aceitação de uma teoria, pode existir o embate de diferentes modelos. Embora, por exemplo, o primeiro texto crie nos alunos uma expectativa não respondida de como seria a explicação do por que se enxerga um

objeto e onde estariam os erros relacionados aos modelos apresentados, as discussões realizadas em sala das podem sanar essas e outras dificuldades, evitando a ideia de que qualquer explicação é a correta.

O quadro abaixo sintetiza o processo de aplicação dos textos históricos em sala:



Quadro 2: Resumo da aplicação dos textos históricos.

A tabela abaixo apresenta uma estimativa de tempo (aulas) necessário para a aplicação dos textos históricos. É importante dizer que esse tempo é estimado para a aplicação de *um* único texto e que a pesquisa desta dissertação valeu-se de três textos.

ETAPAS	AULAS (60 min)
Leitura em Grupo	½
Elaboração do Resumo do Grupo	½
Resolução das questões dos textos	1
Discussão das respostas pelo professor	1 ou 1 + ½

Tabela 9: Estimativa de tempo para aplicação dos textos históricos.

Destaca-se, da tabela acima, que a pré-leitura e o seu resumo não são contabilizados como hora-aula, pois a solicitação dessa etapa da atividade é de caráter extraclasse.

3.3.3. O júri simulado³⁴: O que é? Por quê? Como fazer?

Hoje, a literatura especializada (GUERRA; REIS; BRAGA, 2002) já aponta outras possibilidades, além do uso de textos históricos, para se trabalhar a HFC no ensino de ciências, como a encenação teatral, as feiras de ciência, debate, entre outras.

Neste trabalho tenta-se inserir conteúdos de HFC no ensino de Ciências, criando materiais com tais características para o seu uso no ensino médio. Uma das atividades usadas para tais finalidades é o *júri simulado*. Ela consiste, basicamente, de uma dinâmica de grupo a ser utilizada, preferencialmente, quando se pretende abordar temas potencialmente geradores de polêmicas. Neste estudo, a prática do júri simulado é desenvolvida no ensino médio. Entretanto, ela pode ser realizada nos mais diversos graus de ensino.

Em particular, as controvérsias geradas em torno da natureza da luz (onda ou partícula?), na História da Óptica, tornam a elaboração do júri simulado uma ótima estratégia didática para investigar a pertinência e as contribuições de uma abordagem que priorize as dimensões históricas e filosóficas da ciência. Essa prática também pretende ser de fundamental importância para a construção de conceitos científicos da Óptica (reflexão, refração, difração e interferência) por parte dos alunos em sala de aula.

Enfim, como se estrutura a prática do júri simulado³⁵?

Antes da realização da atividade propriamente dita, no caso em questão, foram trabalhados textos históricos que tinham por finalidade dar uma fundamentação teórica aos alunos. Durante todo um bimestre letivo, foram distribuídos e discutidos com os alunos textos contendo discussões referentes ao episódio histórico debatido.

Essa dinâmica possui uma necessidade intrínseca: a necessidade de temas que problematizem e que mostrem contradições em suas definições.

A prática simula um júri, como os júris dos tribunais da lei encontrados em todo mundo, onde os participantes terão funções determinantes no transcorrer da prática.

³⁴ Uma primeira experiência de aplicação do júri simulado pode ser encontrada em SILVA; MARTINS, 2009a.

³⁵ A prática do júri simulado foi adaptada a partir de experiências de outras atividades vivenciadas pelo autor desse trabalho em sua trajetória como estudante.

Os Participantes:

Os participantes da prática são divididos em três grupos: dois grupos de debatedores e uma equipe responsável pelo veredicto (o júri popular).

É aconselhável que cada grupo de debatedores possua a mesma quantidade de pessoas. O grupo do júri popular deve conter um número menor de componentes (entre 2 e 6 alunos, para uma sala com 30, por exemplo). O papel do professor é o de coordenar a prática, delimitando o tempo para cada grupo defender sua tese e atacar a tese defendida pelo grupo oponente.

No caso desta pesquisa, participaram da prática 18 alunos no 2º ano A e 22 alunos no 2º ano C. O júri popular foi formado por dois alunos em cada grupo. Em razão de algumas afinidades em sala de aula, permitiu-se que os alunos formassem seus grupos de debatedores. No 2º ano A, o grupo que defendia a luz como onda continha 7 alunos e o grupo opositor (defensor da luz como partícula) tinha 9 alunos. Já no 2º ano C, o grupo que defendia a luz como onda era formada por 12 alunos e o seu opositor, por 8 alunos.

Objetivos:

- Humanizar o ambiente escolar;
- Favorecer o trabalho em grupo e o diálogo entre os estudantes;
- Socializar as concepções apresentadas pelos estudantes, identificando semelhanças com visões históricas;
- Problematizar questões relativas à Natureza da Ciência;
- Favorecer a argumentação, o trabalho com hipóteses e a comunicação em Física;
- Aprender conceitos e temas científicos.

Desenvolvendo o júri simulado: da teoria a prática

Antes de qualquer júri simulado, é indispensável que o professor já tenha desenvolvido o tema da prática de outra forma. É papel do professor explicitar para seus alunos, em atividades anteriores, os pontos conflitantes do assunto que será debatido, com o máximo cuidado em não direcionar os alunos para esse ou aquele ponto de vista.

Tudo é iniciado com o lançamento do tema proposto pelo professor, por exemplo: a luz é onda ou partícula? A preparação prévia dos alunos deve propiciar que eles cheguem à atividade em condições de desenvolver argumentos em favor das teses opostas. É preciso, no entanto, dar um tempo inicial para que os alunos socializem suas informações no grupo, antes do início do debate.

A partir daí, cada grupo lança a sua tese inicial, defendendo seu ponto de vista à medida que surjam *réplicas* e *tréplicas*. O professor, como coordenador da atividade, também pode lançar perguntas que motivem o debate, evitando fornecer respostas ou apoiar alguma das posições.

Por fim, cada grupo tem um tempo para suas considerações finais. O júri popular, então, reúne-se para socializar seus apontamentos, feitos ao longo da atividade, e decretar o veredicto. O quadro a seguir sistematiza as etapas do júri simulado, sugerindo a duração (aproximada) de cada uma delas:

Etapas	Tempo (aula de 60 min)
Socializar as ideias nos grupos	10 min
Defesa da tese inicial	10 min (5 min para cada grupo)
Debate entre grupos	20 min
Considerações finais	10 min (5 min para cada grupo)
Veredicto	5 min

Tabela 10: Etapas e tempo do júri simulado.

Essa atividade objetivou medir a recepção dos alunos diante das atividades de ensino desenvolvidas em sala, verificar se houve melhorias em relação a alguns aspectos relacionados à natureza da luz, bem como verificar a aprendizagem de alguns conteúdos relacionados à Óptica. Depois do júri simulado, ocorre a aplicação da atividade final, encontrada no próximo tópico.

3.3.4. Os textos históricos e a atividade final

Abaixo constam os textos históricos que foram trabalhados em sala de aula pelos alunos. Cada atividade contém um texto de natureza histórico-filosófico com perguntas ao seu final. Vale salientar que os textos, inicialmente, devem ser entregues aos alunos sem as questões. Também será apresentada nesta seção a atividade final, que foi aplicada como fechamento do trabalho.

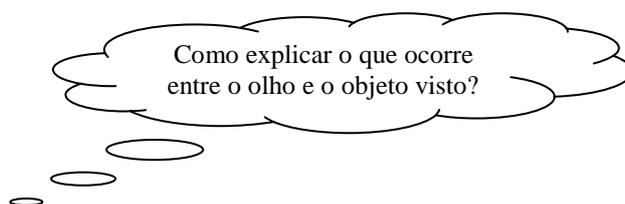
TEXTO 1

Antecedentes: a natureza da luz antes do Século XVII

Iniciamos o estudo da Óptica, que se preocupa em explicar os fenômenos luminosos em geral. As mais antigas civilizações já se preocupavam em estudar os fenômenos físicos envolvendo a luz e discutir a sua natureza. Isso se deu pelo fato de a maior parte do conhecimento sobre o meio que nos cerca ter sido adquirido pelo sentido da visão.

Na Antiguidade, a luz, por sua importância para algumas civilizações, foi associada a divindades. Para os antigos hebreus, quem a fez foi Deus, como é visto nas primeiras páginas do livro do Gênesis. Para os egípcios, ela era uma deusa – Maât -, filha do deus Sol – Rá.

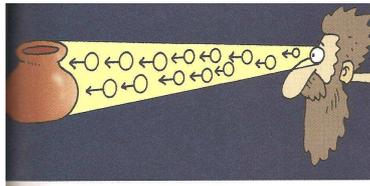
Com os gregos, surgem perguntas intrigantes, que fariam alavancar o estudo da Óptica. Os gregos demonstravam uma preocupação em explicar o que ocorre no espaço entre os nossos olhos e o objeto visto.



Vários filósofos gregos tentaram dar respostas a essa e a outras perguntas básicas, como o que era a luz, por exemplo. Entre eles, Platão (428-348 a.C.) acreditava que a visão de um objeto era devida a três jatos (raios) de partículas: um proveniente dos olhos, outro do objeto e o último da fonte iluminadora.

Havia outras ideias entre os filósofos: a de que os olhos apenas emitiam partículas luminosas ou, ainda, a noção de que os olhos apenas recebiam raios emitidos

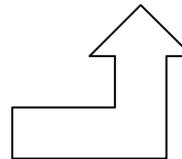
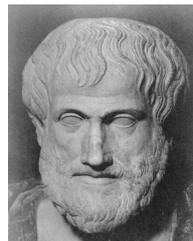
pelos corpos. Pitágoras (571-497 a.C.) acreditava que a imagem era formada por um fluxo emitido pelos olhos.



Modelo idealizado por Pitágoras.

Dentro das concepções gregas, destacamos, ainda, as ideias de Leucipo e Demócrito, os quais entendiam a luz como sendo composta por átomos arredondados e velozes que se deslocavam no vazio. Segundo esse modelo, a visão *poderia* se dar devido a um fluxo de partículas emanado dos objetos e assimilado pelos nossos olhos.

TODOS OS MODELOS DE VISÃO APRESENTADOS
CONSIDERAVAM A LUZ COMO PARTÍCULAS.
OPS!! ALGUÉM PENSAVA DIFERENTE?!

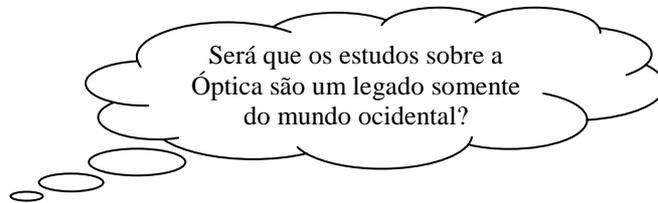


Aristóteles (384 – 322 a.C.)

Aristóteles (384 – 322 a.C.) considerava a luz como um fluido imaterial que se propagava entre o olho e o objeto visto. Para ele, a luz não podia ser uma “coisa” (substância), porque a luz passa pela luz sem nenhum impedimento. Ele foi um dos primeiros a tentar dar uma explicação não corpuscular (sem considerar partículas) para a natureza da luz.

Aristóteles foi um estudioso de diversas áreas do conhecimento, tais como Geometria, Lógica, Botânica, História Natural, Medicina, Estética, Filosofia, Ética, Astronomia e Física. Suas ideias permaneceram ignoradas na Europa durante vários séculos, só vindo a dominar o pensamento ocidental pouco antes da Revolução Científica, ocorrida no século XVII.

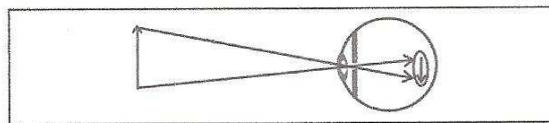
Apesar de as contribuições dos gregos para estudos sobre a natureza da luz se mostrarem de caráter metafísico, elas contribuíram para o estudo da Óptica de forma muito significativa.



Já Euclides (século II a.C) e Ptolomeu (século II d.C), com base no já formulado conceito de raio de luz formulado pelos gregos, vão além do caráter metafísico, dando descrições de propriedades ópticas, como reflexão e refração, e, também, formulando as leis da reflexão e refração, mesmo de forma incipiente.

As investigações de antigos cientistas árabes – Alhazen (965-1039), Avicena (980-1037) e Averroës (1126-1198) – deram sequência aos trabalhos de Ptolomeu. Depois da queda do Império Romano, os estudiosos árabes aperfeiçoaram os seus estudos sobre Óptica, exercendo influência significativa sobre os estudiosos da óptica da Idade Média.

Segundo Alhazen, a visão consistia na formação de uma imagem óptica no interior do olho, que funcionava como uma câmara escura, onde os raios de luz emitidos por cada ponto do corpo atravessariam a pupila e formariam um ponto correspondente da imagem no fundo da câmara:



Modelo de visão idealizado por Alhazen.

O período inicial da Idade Média, de certo modo, é compreendido pela substituição dos ideais gregos de compreensão da natureza (e do próprio homem), baseados na racionalidade, pelo uso de analogias com as crenças religiosas e morais.

Aristóteles voltaria à cena com Santo Tomás de Aquino (1225-1274), que retoma as ideias do filósofo grego e as funde com as da Igreja. Para falar sobre a imaterialidade da luz, Santo Tomás de Aquino vale-se de um bom argumento: dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar ao mesmo tempo, porém a luz pode. Portanto, a luz não seria algo material. Provavelmente, sua aversão à materialidade da luz decorresse das ideias advindas de Aristóteles sobre a sua natureza.

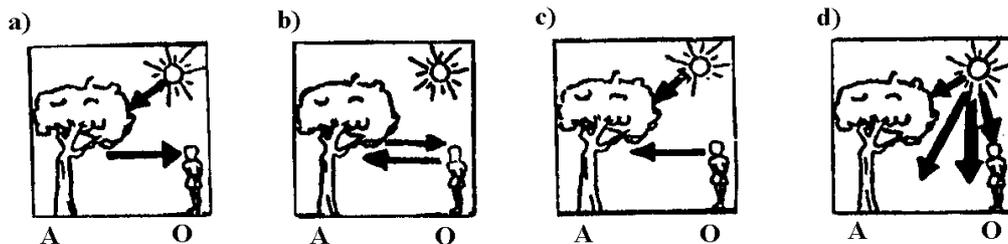
Esse período ficou fortemente marcado pela explicação baseada nos sentidos, mais tarde esta linha de pensamento ficou chamada de física sensorial, posto que os sentidos, como a visão, seriam de fundamental importância. Contudo, a característica do

conflito acerca da natureza da luz ainda permaneceria com um cunho filosófico, pois as ideias aristotélicas e as pitagórico-platonistas continuariam a circular até o século XVII.

Seria a luz constituída por um fluido imaterial ou por partículas?

QUESTÕES

1. Quais as principais dúvidas relacionadas ao estudo da luz, desde a Antiguidade?
2. As figuras abaixo nos mostram quatro maneiras diferentes para representar o modo como podemos enxergar um objeto.
 - a) Qual das opções se assemelha com o seu modelo de explicação? Explique.
 - b) Você vê semelhanças com os modelos apresentados no texto?



3. Compare os modelos de visão de Platão e de Alhazen. Você é capaz de dar argumentos em defesa de um ou de outro?
4. Ainda que de forma filosófica, iniciam-se na Grécia Antiga estudos para tentar explicar o que seria a luz. Aponte as principais correntes filosóficas que divergiam na tentativa de responder a esta pergunta.
5. De que forma Santo Tomás de Aquino defende a imaterialidade da luz? Você concorda com esse argumento?

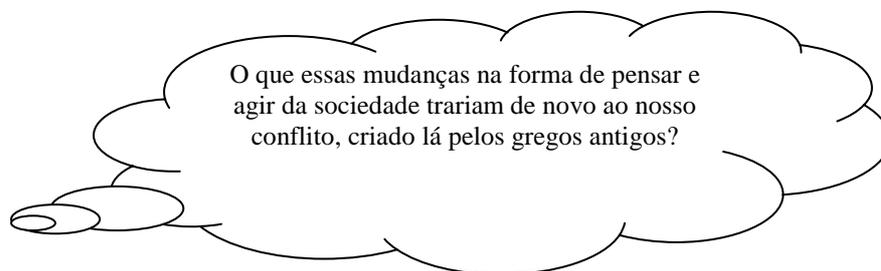
TEXTO 2

Mudanças de cenário: revoluções e mais controvérsias

O século XVII foi um período de grandes transformações na ciência. A chamada “Revolução Científica”, ligada ao advento da mecânica newtoniana, marca o surgimento da ciência moderna. Embora vinculada a temas científicos, ela retrata mudanças na visão de mundo e na organização da sociedade.

Entretanto, muitas justificativas para as hipóteses fundamentais dos modelos tinham, ainda, por fé convicta, prudência, medo ou interesse, clara conotação religiosa, muito provavelmente por medo da Inquisição, que estava em cena na época.

Durante a Revolução Científica, muitas das ideias de Aristóteles foram rebatidas e muitos dos professores aristotélicos foram, aos poucos, perdendo influência nas universidades. Vivia-se um período ímpar da sociedade ocidental: as ciências naturais começavam a se consolidar como um campo independente da Filosofia e da tutela religiosa. A experimentação – não a sensorial, como a de Aristóteles – e a matematização passariam a fazer parte do universo dos novos pesquisadores.



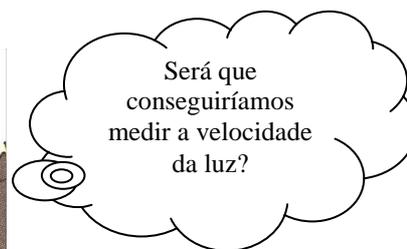
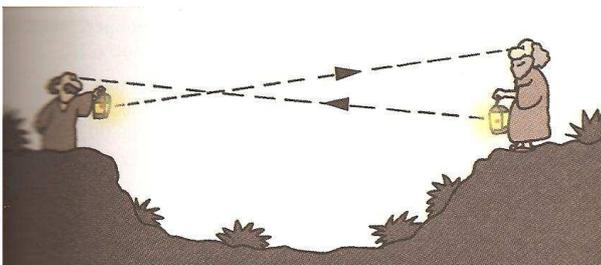
Por volta do século XVII, dois modelos viriam a surgir, um favorecendo as partículas e outro bem próximo das ideias abordadas por Aristóteles. O primeiro desses modelos é associada ao nome de Isaac Newton (vale lembrar que ele não foi o idealizador da ideia), que sustentava que a luz era composta por minúsculas partículas (corpúsculos).



Newton estudando fenômenos luminosos.

Já o segundo modelo é associado aos nomes de René Descartes, Christiaan Huygens e Robert Hooke. Para eles, a luz era transmitida da mesma forma que o som, ou seja, por meio de “vibrações” num meio material.

Havia um ponto de desacordo em relação às velocidades da luz nos diferentes meios. Para Newton, representante do modelo corpuscular, a velocidade no vidro deveria ser maior que na água. Huygens pensava o contrário, que no vidro a velocidade era menor. Parece-nos que a questão, aqui, estava em como medir a velocidade da luz tanto no ar quanto no vidro.

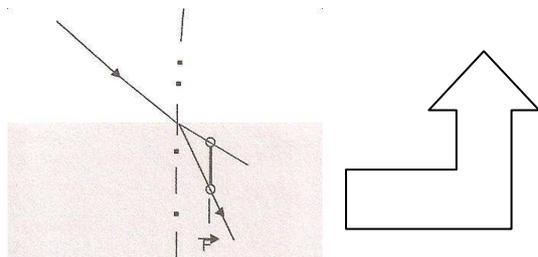


Um dos primeiros a tentar medir a velocidade da luz foi Galileu. Antes do século XVII, acreditava-se que a velocidade da luz era infinita (como também defendia René Descartes). Galileu investigou a velocidade da luz, mas ele não conseguiu resolver o problema do nosso conflito em questão, pois não foi medida a velocidade da luz em meios diferentes.

Outros estudiosos também tentaram realizar experimentos para medir a velocidade da luz, entre os quais, citamos Foucault e Fizeau. Essa foi uma questão que se arrastou por vários séculos.

Para Newton, a velocidade da luz deveria ser maior no meio mais denso (vidro), pois se verifica uma aproximação do raio de luz da linha perpendicular à superfície (chamada “NORMAL”). Para ele, isso ocorria devido a uma força que era exercida

sobre os corpúsculos, acelerando-os. A ação dessa força causaria, portanto, um aumento na velocidade das partículas, alterando suas trajetórias, como se observa na figura abaixo:



A Óptica sempre foi uma das maiores paixões de Newton e foi justamente sobre ela que ele inicia seus estudos científicos. Entre os anos de 1666 e 1667, inspirado em Gassendi, que possuía ideias atomistas, Newton publica artigos sobre a luz e as cores, nos quais tenta explicar algumas de suas propriedades.

Os artigos de Newton sofrem duras críticas de seus contemporâneos, pois, aparentemente, ele defendia ideias corpusculares e isso era inadmissível para muitos estudiosos naquela época:



A luz é produzida por vibrações de um meio sutil e homogêneo e esse movimento propaga-se por impulso ou ondas simples.

Robert Hooke, ferrenho opositor de Newton.



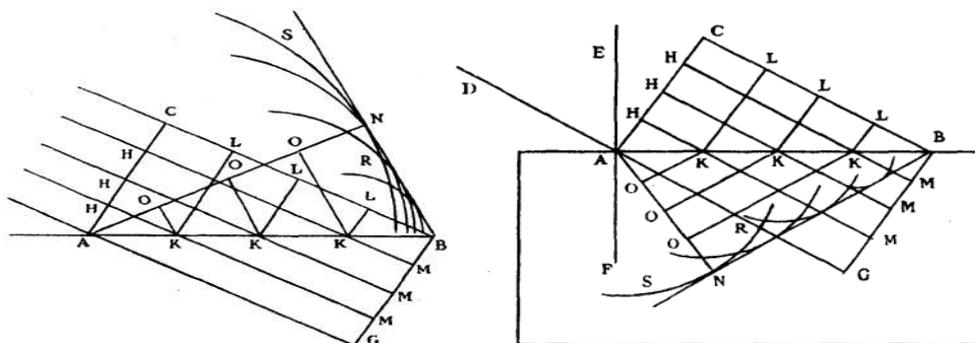
[...] os raios luminosos atravessam quando vemos um objeto luminoso. Isso não poderia ocorrer pelo transporte de uma matéria que venha do objeto até nós, como uma flecha ou bala que atravessa o ar.

Christiaan Huygens (1629-1695).

Huygens reforça a hipótese ondulatória, proposta anteriormente por Hooke. Ele faz uma analogia com o som, que se propaga no ar, e conclui que a luz também deveria se propagar por meio de ondas em um meio, que ele chama de “éter luminífero”.

Vale salientar que essa ideia de éter não foi adotada somente por ele. Outros estudiosos também a usariam.

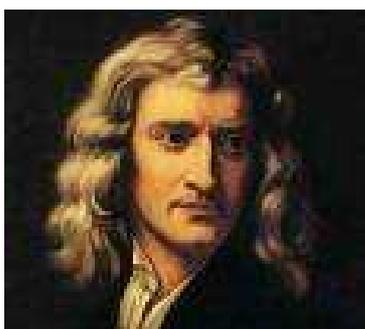
De acordo com a sua teoria, Huygens conseguiu explicar o processo de propagação retilínea da luz e alguns fenômenos bastante conhecidos na época, como a reflexão e a refração.



Figuras representativas da reflexão e da refração para Huygens.

Para Newton, essas críticas o entristeceram muito, fazendo com que ele abandonasse um pouco o seu interesse pela Óptica. Isso o levou a adiar a publicação do seu livro *Óptica*, que só veio ao público em 1704, logo após a morte de seu maior desafeto, Hooke. Nessa obra, Newton só fez uma breve menção a Hooke.

Mas será que Newton não rebateria as críticas feitas por Hooke?!



É verdade que, a partir de minha teoria, argumento pela corporeidade da luz. Contudo, faço isso sem qualquer certeza, como a palavra talvez deixa implícito; e o faço, no máximo, como uma consequência muito plausível da doutrina, não como uma suposição fundamental.

Newton não defendia abertamente a natureza corpuscular da luz. Mesmo no seu livro, ele o faz em forma de uma pergunta. Na questão 29 do *Óptica*, ele diz: “Os raios de luz não são corpos minúsculos emitidos pelas substâncias que brilham?”. Contudo, para ele, a natureza corpuscular teria de prevalecer no final.

Já para contestar a ideia de Huygens, Newton argumentaria que é possível escutar o som de uma orquestra por trás de um vale, mas não seria possível ver a

orquestra. Então, como a luz poderia ser uma onda no éter se ela não contorna os obstáculos, como o som e as ondas na água?

Mas Newton não foi homem de uma única obra. Além da Óptica, ele estudou sobre a Mecânica, alquimia, gravitação e, também, a Teologia. Já na Mecânica, com a publicação do seu livro *Principia* (antes do *Óptica*), em que ele faz uma síntese da mecânica e apresenta as três leis do movimento, ele ganharia notoriedade e ficaria conhecido em toda a Inglaterra e na Europa continental.

Tudo isso, aliado ao fato de Newton ter sido eleito presidente da Royal Society, bem como ser apadrinhado pelo Rei James II (Newton dedicou a 1ª edição do *Principia* ao Rei), colaboraram para que o modelo corpuscular de Newton prevalecesse frente ao ondulatória que, após a morte de Huygens – defensor do modelo ondulatório –, foi quase que completamente esquecido durante quase todo o século XVIII.

No século XVIII, houve tentativas de se popularizar a ciência. Naquela época, muitas demonstrações populares não apenas enalteciam o modelo corpuscular, mas também evidenciavam os pontos fracos do modelo ondulatório da luz.

Entre os estudiosos da época, o que se via no século XVIII era uma preocupação de unir o *Principia* ao *Óptica*, o que resultaria numa teoria dinâmica para a luz, algo que Newton não desejava quando lançou suas obras.

Vários de seus seguidores acreditavam cegamente nos preceitos formulados por Newton e não pensavam em melhorar alguns pontos fracos encontrados em sua teoria, como, por exemplo, os “anéis de Newton”, que estudaremos na próxima atividade.

QUESTÕES

1. No século XVII, o conflito iniciado lá na Grécia Antiga muda de cara, deixando um âmbito filosófico e ganhando uma roupagem científica. Neste período, surgem modelos rivais, que tentavam explicar o que seria a luz. Apresente estas ideias. Você vê semelhanças entre estas ideias e as ideias dos gregos? Explique.

2. Comente a frase a seguir:

Em relação à explicação do que seria a luz, onde estaria a incerteza? Na cabeça dos cientistas ou na natureza?

Questão 3 - O início do século XVIII foi marcado pela superioridade do modelo corpuscular (partículas). O modelo corpuscular foi realmente superior ao ondulatório, no que diz respeito as suas explicações teóricas? Ou outros fatores foram importantes para a aceitação do modelo corpuscular? Explique.

4. Após a publicação do seu livro *Óptica*, em 1704, os seguidores de Newton passam a ver suas conclusões como verdades absolutas, que deveriam seguir para desenvolver as suas pesquisas. Você vê a postura dos seguidores de Newton como positiva ou negativa? Explique.

TEXTO 3

Difração e Interferência: o ressurgimento da teoria ondulatória

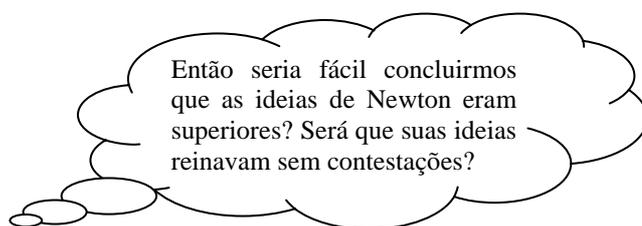
As primeiras décadas do século XVIII vivenciaram, especialmente nas sociedades inglesas e francesas, a supremacia da filosofia newtoniana. A ideia de popularizar a ciência influenciou muito a divulgação das ideias de Newton. Atrelado a esse fato, especificamente na Inglaterra, percebe-se a construção de um verdadeiro herói nacional, representado por Newton.

Naquela época, era comum encontrarmos pinturas e gravuras de Newton em castelos e repartições públicas, além da sua própria imagem gravada em moedas e em estátuas. As figuras abaixo representam algumas dessas imagens desenhadas de Newton:



Retratos de Newton pintados em 1689 e 1702 por Kneller.

No meio da população mais educada da Inglaterra, as ideias newtonianas, que já eram bem aceitas, foram difundidas em enciclopédias e em textos da época, fundamentando e disseminando ainda mais as suas concepções.



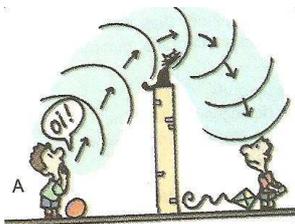
A história e a situação não são bem assim. O meio científico torna-se diferente em meados de 1750. Nesse período, devido aos problemas encontrados em aspectos do modelo newtoniano, reiniciam-se os estudos sobre o modelo ondulatório. Vimos que uma das divergências encontrada entre o modelo ondulatório e o corpuscular residia na determinação da velocidade da luz ao passar de um meio menos denso para outro mais

denso, por exemplo, do ar para água. Para o modelo corpuscular, a velocidade aumentaria; para o ondulatório, não.

No século XIX, Louis Fizeau (1819-1896) e Leon Foucault (1819-1869) realizaram experiências que mediram o valor da velocidade da luz em meios diferentes. Por essas experiências, eles evidenciam que, na água, a velocidade da luz é menor, suposição diferente da que Newton formulou.

Entretanto, os principais problemas no modelo newtoniano encontravam-se nos conceitos chamados, nos dias atuais, de difração e interferência. Hoje, esses conceitos já são muito bem definidos. Mas, não foi sempre assim... Esses dois fenômenos foram decisivos para a aceitação de um ou outro modelo, como veremos no desenrolar deste texto.

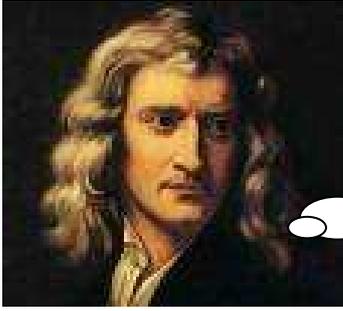
A difração, nos dias de hoje, é entendida como desvio dado pela luz em relação a um obstáculo. Ela foi descrita pelo estudioso jesuíta italiano Francesco Maria Grimaldi (1618-1663), que, na sua obra *Physico-Mathesis de Lumine, Coloribus et Iride*, publicada em 1665, descreve que a luz poderia possuir um fenômeno além dos conhecidos (reflexão e refração). Grimaldi chamou esse fenômeno de difração.



Na figura, vemos um exemplo da difração de uma onda sonora, fenômeno semelhante ao que ocorre com a luz. A difração é a propriedade que a luz possui de contornar um obstáculo ao ser parcialmente interrompida.

Ainda em 1665, Robert Hooke lança o seu livro *Micrographia*, no qual descreve o fenômeno da difração. Mas, diferente de Grimaldi, ele chama o fenômeno de inflexão da luz, provavelmente inspirando Newton, que estudou o *Micrographia* de Hooke, a também usar esse nome no seu livro *Óptica*.

Newton mostrava um grande interesse sobre os trabalhos de Grimaldi, segundo podemos observar:



Grimaldi nos mostrou que se deixarmos um feixe de luz do sol entrar em um quarto escuro através de um orifício minúsculo, as sombras das coisas nessa luz serão maiores do que o seriam se os raios passassem pelos corpos em linhas retas.

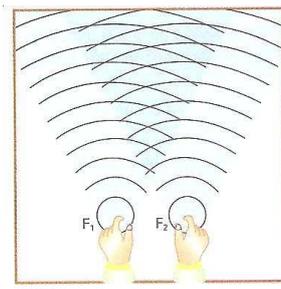
Newton afirmava que a falta de um exame mais adequado sobre as sombras e franjas largas decorrentes da refração ordinária do ar dificultava muito o desenvolvimento de estudos relacionados a esse assunto. Para ele, isso não decorria da refração, como muitos diziam, mas da inflexão, que, hoje, chamamos de difração.

No seu artigo de 1675, Newton daria créditos a Hooke e Grimaldi, como sendo os primeiros a realizar observações sobre esse novo fenômeno. Nesse mesmo artigo, ele rebate as críticas feitas por Hooke ao seu primeiro artigo sobre as cores. Dizia Newton, com intenção de se afastar da ideia de possuidor de ideias corpusculares relacionadas à luz, que a hipótese da luz ser um corpo é mais verificada no modelo de Hooke do que no dele. Newton não queria entrar em uma batalha com Hooke naquele momento, mas não deixava barato as críticas feitas às suas hipóteses.

A explicação de Newton para a inflexão (difração) era baseada em forças mútuas entre os corpúsculos, como as que agem na refração. De certa forma, a intensa procura por uma força “óptica” geraria muitos incômodos para o seu modelo corpuscular.

Assim como a difração, a interferência, principalmente nos séculos XVII e XVIII, foi um fenômeno luminoso também muito controverso em relação à sua definição.

No século XVII, em particular, muitos dos estudiosos daquela época mostravam interesse e um profundo encantamento por esse fenômeno luminoso. Estudiosos como Robert Boyle, Robert Hooke e Isaac Newton desenvolveram inúmeras explicações para esse brilhante fenômeno luminoso.



Hoje, a interferência é analisada como sendo a superposição de ondas luminosas, conforme pode ser visto na figura ao lado. Entretanto, não foi sempre assim. Esse fenômeno, em especial, mostrou-se um grande problema para a teoria corpuscular da luz, pois a sua explicação não era tão sutil.

Newton, para tentar explicar esse fenômeno luminoso, argumentava que os raios luminosos possuíam estados de fácil transmissão (refração) e fácil reflexão. Segundo ele, em alguns pontos, o raio luminoso estaria disposto a ser transmitido e, em outros, a ser refletido, como se a superfície possuísse um poder especial, que Newton não conhecia. Ele se valeria dessas hipóteses para explicar não só os anéis de Newton, mas todos os fenômenos ópticos.

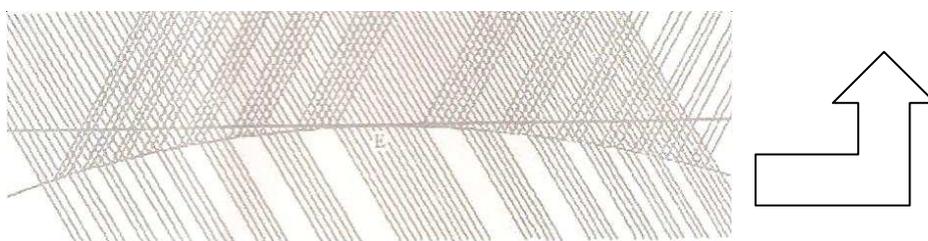


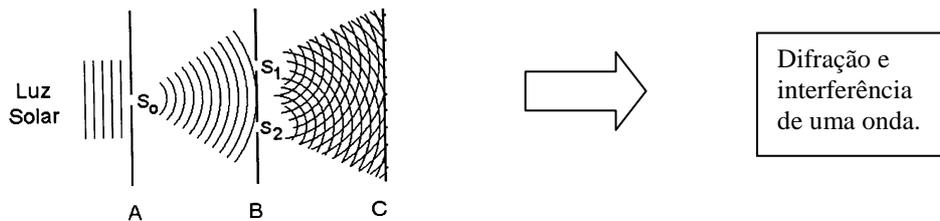
Figura elaborada por Newton para explicar o fenômeno dos anéis de Newton (interferência).

Newton desenvolveu sua teoria dos estados de fácil transmissão e fácil reflexão para tentar explicar a formação de anéis coloridos partindo de um modelo corpuscular da luz. O modelo corpuscular da luz de Newton foi aceito em sua época.

Contudo, a procura por uma força óptica e a falta de maiores estudos sobre os estados da luz por seus seguidores criavam brechas e inúmeros problemas a modelos de natureza corpuscular para a luz. Esses temas críticos serviriam como ponto de partida para os estudos sobre a luz. Alguns estudiosos, valendo-se de ideias de natureza ondulatória, entrariam nessa discussão. Vejamos o que ocorreu...

A grande aceitação do modelo corpuscular da luz deveu-se, em parte, à forte oposição feita contra seu modelo rival (ondulatório) quanto à medição do comprimento de onda da luz, algo que não conseguia ser determinado experimentalmente e que, também, não possuía uma boa fundamentação teórica.

Na figura abaixo, podemos verificar a emissão de um raio luminoso aproximando-se do orifício S_0 , que serve como um obstáculo à luz. Percebemos que, entre os pontos A e B, ocorreu o fenômeno da difração. A seguir, na tela B, encontramos os orifícios S_1 e S_2 . O raio de luz, ao ultrapassá-los, sofre um emaranhado, que chamamos de interferência.

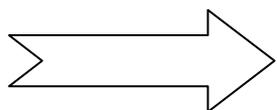


Na interferência luminosa, o que se percebe é uma alternância de claros e escuros formados no anteparo C. A teoria corpuscular, por sua vez, não conseguia realizar experimentos, nem muito menos possuía explicações convincentes, para esse fenômeno. A sua explicação era baseada nas hipóteses dos estados da luz propostos por Newton.

Já o modelo ondulatório, por sua vez, não possuía uma fundamentação matemática, nem tão pouco conseguirá medir o comprimento de onda da luz. Vale lembrar que conceitos como comprimentos de onda, amplitude, frequência de onda só surgiriam no século XVIII. Portanto, estudiosos do modelo ondulatório da luz, a exemplo de Hooke e Huygens, não desenvolveram tais conceitos nos seus modelos.

Hoje, entende-se, por comprimento de onda, a distância observada entre duas ondas consecutivas.

Um dos estudiosos do modelo ondulatório e, em especial, do conceito de interferência foi Thomas Young (1773-1829). Ele foi físico, médico, linguista e egiptólogo, nascido em 16 de junho de 1773 na aldeia inglesa de Milverton. Ele foi de uma importância significativa para que a teoria ondulatória ressurgisse.



Mediu o comprimento de onda da luz...

Young deve ter feito, no século XIX, uma experiência verificando o comprimento de onda da luz e apresentado os seus resultados à Royal Society. Contudo, ele tinha de ter o maior cuidado, pois ainda se vivia sob grande influência newtoniana. O próprio Young tinha, em Newton, a imagem de um *pai da Mecânica Ondulatória*, consideração herdada da popularização das ideias de Newton no século XVIII.

Portanto, nas suas apresentações, Young teve o cuidado em demonstrar que o próprio Newton também possuía anseios em relação ao modelo ondulatório. Claro que Young foi fortemente contestado pelos newtonianos.

Todavia, os dados disponibilizados por Newton 100 anos antes foram utilizados por Young para verificar a existência do comprimento de onda. Esses dados ajudariam a fazer com que o modelo corpuscular perdesse mais espaços.

Hoje, discute-se se o experimento da fenda dupla de Young foi feito em 1801, 1802 ou até 1803. Nos seus relatos, ele não deixa claro se realmente realizou essa importante experiência, que é uma das mais famosas de toda a história das ciências.

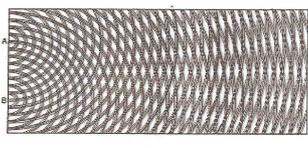


Figura utilizada por Young para explicar a interferência em ondas de água.

Young, valendo-se de analogias com o som e água, que já possuíam, naquela época, conceitos de interferência bem definidos, pretendia fundamentar o conceito de interferência luminosa. Ele poderia ter verificado a interferência em ondas de água e, como já se conhecia a interferência em ondas sonoras, Young, em comparação com outros resultados, teria expandido a noção para a luz.

A figura acima foi demonstrada por Young em uma de suas palestras para evidenciar a interferência em ondas de água. Agora, se Young realizou ou não o experimento da fenda dupla, isso é outra história...

Podemos concluir que as controvérsias entre os modelos ondulatórios e corpusculares acabariam com a determinação do comprimento de onda da luz pelo experimento da fenda dupla?

Não é bem assim... Somente a experiência para determinar o comprimento de onda da luz não seria suficiente para derrubar o modelo corpuscular. Lembre-se de que faltava uma fundamentação matemática, que Young não propôs. Então, que seria responsável por isso?



Fresnel matematizou o modelo ondulatório da luz, valendo-se dos dados propostos por Young.

Mas vale lembrar que os resultados encontrados por Young foram de suma importância para que Fresnel fundamentasse matematicamente o modelo ondulatório da luz, fazendo com que o modelo corpuscular perdesse ainda mais espaços.

QUESTÕES

1. Com base no texto como você explicaria os fenômenos de difração e interferência. Aponte exemplos do seu dia-a-dia onde você vivencia estes fenômenos.

2. A segunda metade do século XVIII foi marcada pelo reinício dos estudos em relação à teoria ondulatória. O que impedia que este modelo fosse aceito pela comunidade científica? Que fatores foram determinantes para que o modelo ondulatório ressurgisse e o corpuscular perdesse espaço?

3. No desenrolar da história da óptica, que presenciamos nos textos estudados, podemos verificar que inúmeros experimentos foram realizados no estudo de fenômenos luminosos como a reflexão, refração, difração e interferência. Você acha que estes experimentos foram decisivos para validar ou invalidar os modelos que tinham por ambição explicar o que era a luz? Explique.

4. Tomando como o episódio da história da óptica estudado, responda a questão abaixo:

Podemos afirmar que a ciência é construída de forma cumulativa, onde os conhecimentos novos somente são somados aos anteriores, ou passa por períodos de quebras e rupturas?

5. Neste estudo histórico sobre a história da óptica evidenciamos em vários momentos que mentes ilustres como a de Isaac Newton tiveram sérias complicações na explicação de muitos fenômenos, ou ainda, deram explicações não tão convincentes para outros. Que importância você credita a questão do erro na História da Óptica? Os erros foram importantes para o desenvolvimento da ciência ou são equívocos para serem esquecidos e lamentados pelos futuros cientistas? Explique.

Atividade Final

1. Como enxergamos um objeto? O que é necessário para que possamos ver uma caixa, por exemplo? Faça um desenho que ilustre a sua opinião. Em seguida, explique, com suas palavras, o que você desenhou.

2. No estudo da História da Óptica, verificamos que estudiosos, como Hooke, Newton e Young, se valeram de experimentos nas suas explicações sobre a luz. Você acha que os modelos desses estudiosos foram formuladas a partir dos resultados desses experimentos? Justifique sua resposta.

3. Na História da Óptica, percebemos o duelo entre dois modelos que tinham por pretensão explicar o que era a luz (modelo corpuscular e modelo vibracional - ondulatório). Você é capaz de dar argumentos em defesa de um ou de outro? Você acredita que algum dos modelos é mais correto do que o outro?

4. O que podemos aprender sobre o desenvolvimento da ciência a partir do estudo da História da Óptica?

5. Nas aulas de Física deste bimestre, realizamos estudos sobre a História da Óptica. Em sua opinião, quais foram os aspectos positivos e negativos dessa abordagem?

4. ANÁLISE DOS DADOS

Neste capítulo, serão analisados os dados coletados pelas atividades e práticas elaboradas no curso sobre a Óptica. A análise segue a sequência das atividades³⁶ propostas na metodologia.

Para que se mantenha o anonimato dos participantes da pesquisa (os alunos), será feita a seguinte re(distribuição) de nomes, a saber: o primeiro aluno do diário escolar do professor do 2º ano C recebe o código C-1, o segundo, C-2, o terceiro, C-3 e daí por diante. Quanto aos alunos do 2º ano A, o primeiro será A-1, seguindo o mesmo esquema de distribuição usado no 2º C.

4.1. Primeiros passos: uma breve interpretação de todo o caminho

A proposta de trabalho aflorou da iniciativa de desenvolvimento de um curso de Óptica que pudesse se tornar mais significativo para os alunos, proporcionando possibilidades de um melhor aprendizado sobre seus fenômenos básicos e também sobre a Natureza da Ciência, provocando-os em alguns momentos a desconstruir ideias, em alguns casos equivocadas, sobre o que é a ciência.

Para tentar lograr melhores resultados na aprendizagem da Óptica e construir ideias mais coerentes sobre a Natureza da Ciência, a experiência foi utilizada pensando na perspectiva do professor e, posteriormente, do professor-pesquisador. Desse modo, foi possível, com o auxílio da literatura específica da área, repensar uma prática vivenciada nos bancos acadêmicos que poderia levar a pesquisa a repetir procedimentos fortemente criticados pela literatura, como, por exemplo, o desprezo pelas ideias primeiras dos alunos. No turno da Didática das Ciências, essas ideias primeiras são conhecidas como concepções alternativas. A Didática das Ciências mostra que uma boa iniciativa de elaboração de estratégias de ensino é tomar como ponto de partida as concepções alternativas dos alunos (SILVA; MARTINS, 2009a; SILVA; MARTINS, 2009b).

³⁶ Vale ressaltar que a atividade do filme e a experimental, mesmo fazendo parte da estratégia usada, não foram analisadas profundamente. Serão analisadas, preferencialmente, as atividades de cunho histórico e filosófico. Entretanto, não se descartará a influência dessas duas atividades nas respostas dadas pelos alunos.

É justamente nesse sentido que se procura, neste trabalho, elaborar uma estratégia e todo um planejamento que contemplasse esse requisito inicial. Dessa forma, considerando tudo que foi feito no percurso deste estudo, teve-se, por fim, a possibilidade de definir o desenvolvimento do curso da seguinte forma: analisar a luz no contexto de evolução das ideias que foram desenvolvidas no decorrer da história da Óptica, dando ênfase aos séculos XVII e XVIII e, concomitantemente, também retratar o processo de visão, reflexão, refração, difração e interferência que afloraram nas discussões históricas sobre a natureza da luz.

Imagina-se que dessa maneira será possível realizar uma discussão sobre fenômenos científicos ao mesmo tempo em que será possibilitada outra discussão sobre a evolução dessas teorias estudadas.

Diante disso, elaborou-se uma atividade inicial, um teste diagnóstico³⁷, cujas questões abordavam o processo de visão e o imaginário do aluno sobre o que seria a luz. Esse teste inicial foi de suma relevância, pois propiciou a manifestação das concepções alternativas dos alunos.

O teste diagnóstico permitiu ao aluno ter um momento próprio para elaborar suas ideias iniciais sobre o tema que iria ser estudado, mesmo que suas repostas, em muitos casos, não estivessem consoantes à concepção científica atual, pois os discentes, em quase todos os casos, não tiveram um contato anterior com a temática. Para o professor-pesquisador, esse momento mostrou-se como uma oportunidade adequada para conhecer a forma com que os alunos pensam sobre a temática a ser discutida.

Da aplicação à análise (ver o próximo tópico), aprofundada através das discussões em sala de aula, pôde-se concluir que o teste foi adequado ao fim para o qual ele foi inicialmente idealizado: promover os alunos ao contato inicial com a temática.

Em seguida, desenvolveu-se uma série de atividades (a descrição de todas pode ser encontrada no planejamento do curso localizado no apêndice) que permitiu estudar e explorar as mais diversas concepções alternativas mostradas pelos alunos. Essas atividades obedeceram a uma sequência histórica relacionada às controvérsias sobre a natureza da luz, mas vale ressaltar que, na medida em que o apogeu do embate ocorreu nos séculos XVII e XVIII, também foram enfocadas as atividades nesse período nos textos históricos construídos neste trabalho.

³⁷ Vale ressaltar que também tomamos como ponto de partida o referencial teórico sobre as concepções alternativas sobre Óptica. O nosso instrumento foi direcionado para partes específicas da Óptica, por exemplo: a explicação da visão e o conceito de luz.

No que diz respeito às discussões em sala de aula, em alguns momentos, sobretudo nos iniciais, influenciados pelo contato com a gravação em áudio e vídeo, foram encontradas algumas resistências em criar um *clima* propício às discussões, mas, logo que os primeiros alunos foram expondo suas convicções, a motivação acabou sendo transferida aos demais alunos, proporcionando um ótimo momento de reflexão em grupo.

Dessa maneira, procurou-se incentivar a participação dos alunos nas discussões, criando um clima de profundo interesse nas próximas etapas do curso. Diante das explicações dos alunos, o professor-pesquisador teve a oportunidade de realizar correções em argumentos dados, que refletiam as concepções alternativas mostradas, por alguns, nas questões dos textos históricos. Além disso, as discussões mostraram-se como um momento fundamental para reconstruir algumas ideias equivocadas sobre o que é a ciência, promovendo discussões sobre a tríade ciência-tecnologia-sociedade.

Esse momento de discussões no curso mostrou-se importante para que os alunos tivessem a oportunidade de expor, ouvir e discutir as ideias dos colegas, interagindo entre eles e tomando consciência da gama de argumentos e pensamentos contrários aos seus.

Uma das atividades que vale ressaltar (uma das que não era de natureza histórica) é a atividade experimental, na qual os alunos presenciaram e realizaram experimentos com prismas, lentes, lupas e espelhos. Nessa atividade, em especial, com o auxílio de um prisma, os alunos realizam a decomposição da luz branca (oriunda de uma lanterna) em um prisma. Em especial, o aluno C-2 trouxe à tona discussões relacionadas à História da Óptica antes mesmo de ter contato com os textos históricos. Para o aluno, “Newton mostrou-se sabido, pois conseguiu mostrar que a luz branca não é pura. Newton era um cara esquisito, mas sabia fazer as coisas certas”.

O relato é interessante, pois mostra a influência de outros meios não diretamente ligados ao ambiente físico escolar. Posteriormente, em conversa com o professor-pesquisador (com o auxílio do diário de campo), o aluno C-2 indicou que a presença do canal *TV ESCOLA* na sua residência já teria lhe proporcionado contatos anteriores com o assunto, mas que ele nunca tinha visto nada relacionado com a temática na escola.

Ainda nesse mesmo relato do aluno C-2, pode-se acessar uma possível visão sobre o cientista que é muito comum e foi encontrada em outras falas no curso: o cientista como uma pessoa *esquisita*, que não tem família, chato, que sabe tudo ou, ainda, uma pessoa que fala umas coisas que não se entende. Todas essas visões, ao

aparecer nas discussões, foram trabalhadas pelo professor-pesquisador, tentando, na medida do possível, construir uma ideia de ciência e de cientista mais afastada do senso comum.

Entretanto, este trabalho quer deixar em evidência que a finalidade e o objetivo do curso não foram deixar os alunos insatisfeitos com suas respostas e convicções, mas apresentar aos discentes uma ideia mais elaborada sobre a ciência.

Dessa forma, não se pretendia, em nenhum caso, que os alunos simplesmente aceitassem a resposta do professor, pois ela seria a correta, senão que o discente enxergasse que existem opiniões divergentes³⁸ à dele e que, raciocinando sobre elas, pudessem ser capazes de reelaborar suas próprias ideias e teorias quando necessário ou quando elas não explicam os fenômenos para os quais são exigidas.

Contudo, em alguns casos, ocorre o regresso dos alunos às concepções alternativas. Mesmo que o aluno mostrasse ter aprendido, suas falas mostravam que eles retomavam as ideias mostradas no teste inicial, o teste diagnóstico. É justamente nesses momentos que a intervenção do professor-pesquisador, às vezes, se tornou necessária para (re)formalizar as explicações em sala de aula, objetivando sanar essas incompreensões dos alunos.

Em um momento posterior, os alunos eram preparados para a atividade do júri simulado, na qual seriam convidados a realizar um debate sobre o que é a luz, defendendo posturas contraditórias sobre o assunto (maiores esclarecimentos no tópico em que se analisa o júri simulado).

Essa atividade de debate, de júri simulado, é difundida na área de ensino de ciência, tornando-se uma ferramenta significativa para a formalização dos conceitos referentes a teorias científicas, bem como o processo de evolução de uma teoria (SILVA, MARTINS, 2009a).

A atividade do júri simulado mostrou-se um momento ímpar por vários motivos, pois, dentre outros resultados, difundiu e socializou os diferentes pontos de vista dos alunos e harmonizou o ambiente escolar.

Para fechar o curso, foi aplicada uma atividade final que tinha por finalidade reavaliar as concepções dos alunos sobre o processo da visão, sobre a luz, sobre as suas ideias sobre a ciência, bem como sobre a receptividade a um curso de fundamentação

³⁸ É claro que, em alguns casos, mostrou-se extremamente complexa a formalização das ideias científicas pelos alunos. É conveniente, como percebido, que, nesses momentos, essa formalização fosse feita pelo professor-pesquisador.

histórico e filosófico. Entretanto, essas discussões serão realizadas no tópico e que se analisa essa atividade.

4.2. A atividade inicial

A análise inicia-se pela atividade de diagnóstico. Dessa atividade inicial, fizeram-se presentes e participaram quarenta e quatro (44) estudantes das turmas de 2º ano. Verificou-se que as repostas encontradas entre os estudantes das duas turmas não apresentaram diferenças significativas. Em razão disso, não se percebeu a necessidade de realizar análises por turmas.

Algumas das dificuldades conceituais levantadas com a aplicação desse instrumento estão diretamente relacionadas com as recorrentes concepções alternativas apresentadas pela literatura especializada no que diz respeito ao processo de visão e também à natureza da luz³⁹.

Será feita uma análise detalhada das duas questões que compõem o teste de diagnóstico.

Questão 1 – Como você enxerga um objeto?

Na tabela que segue abaixo, é mostrada a porcentagem de respostas dadas à pergunta acima.

Modelo Explicativo	Quantidade de Alunos
Para enxergar, miramos o objeto	20 (45%)
O olho emite um raio visual	14 (31%)
O olho recebe um feixe luminoso vindo direto do objeto a ser visto (sem a presença de uma fonte luminosa)	5 (12%)
O olho recebe e emite luz	5 (12%)
Modelo científico atual (a luz sai da fonte, reflete no objeto e chega aos olhos)	0 (0%)
Total	44 (100%)

Tabela 11: Modelos de visão apresentados pelos alunos.

³⁹ Para maiores esclarecimento, ver: Goldberg; Mcdermott, 1986; Goldberg; Mcdermott, 1987; Gircoreano; Pacca, 2001; Dedes, 2005; Silva; Martins, 2009b.

A tabela mostra, de forma sucinta, a quantidade de respostas dadas à questão inicial. Como se observa, a maioria dos alunos, quando indagados sobre por que se enxerga, apresenta que, para enxergar, é preciso somente, de certa forma, focalizar o objeto que se deseja ver. Em segundo lugar, para os alunos, enxerga-se, pois se emite um tipo de raio visual que atinge o objeto a ser visto, totalizando 31% das respostas. Já em menor porcentagem (5%), mas de grande relevância, há outras duas categorias: o olho recebe um feixe luminoso vindo direto do objeto, mas, sem a presença de uma fonte luminosa e, por fim, o olho recebe e emite luz. Um dado que chama a atenção é que nenhum dos quarenta e quatro alunos possuía ou apresentou a explicação científica para a pergunta lançada a eles.

Ainda, tomando como referencial a tabela acima, se vai aprofundar a análise nas duas categorias mais referendadas pelos estudantes: “para enxergar, miramos o objeto” (45%) e “o olho emite um raio visual” (31%). Neste momento, esta análise vai se deter a essas duas categorias, mostrando que existe muito por trás das respostas mostradas pelos alunos. Abaixo, será feita a reconstituição dos desenhos representativos dessas duas categorias.

Esta interpretação começará pela categoria mais citada pelos alunos: “para enxergar, miramos o objeto”.

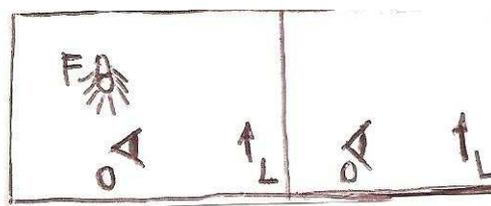


Figura 18: Desenhos representativos da categoria “para enxergar, miramos o objeto”, feitos pelos alunos C-15 e A-22.

No desenho acima, F é a fonte luminosa, em alguns casos, citada como o sol, uma lâmpada ou uma vela. A letra O representa o observador, já a letra L representa um lápis a ser visto pelo observador O .

Do desenho acima, pode-se perceber que, para alguns alunos, o uso de fonte não se faz necessária. Esse fato é relatado também em outras pesquisas e por outros pesquisadores. Como relatam Goldberg e Mcdermott (1986), não é incomum, quando

indagado sobre por que se enxerga, o aluno não citar a necessidade de uma fonte luminosa.

Abaixo, serão mostrados desenhos representativos da 2ª categoria. Deve-se que novamente, em alguns casos, o uso de uma fonte luminosa não se faz necessária.

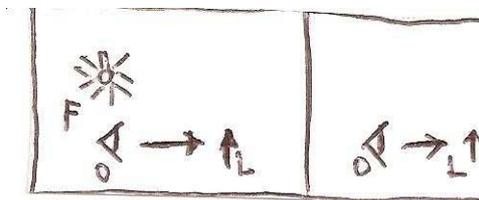


Figura 19: Desenhos representativos da categoria “o olho emite um raio visual”, feitos pelos alunos C-18 e A-33.

Dessa categoria, é possível abstrair que, para os alunos, enxerga-se porque sai dos olhos *algo* que vai de encontro ao objeto que se deseja enxergar.

Miramos o objeto		O olho emite um raio visual	
Não se necessita de fonte	Necessita-se de fonte	Não se precisa de fonte	Precisa-se de fonte
13 (65%)	7 (35%)	11 (79%)	3 (21%)

Tabela 12: Necessidade ou não de luz para se enxergar um objeto.

Como observado na tabela acima, o número de estudantes que descaracteriza a necessidade de uma fonte luminosa é bastante elevado, chegando a 24 alunos. Vale salientar que esse número de 24 alunos corresponde ao conjunto das duas categorias mais citadas que representam, juntas, um total de 34 alunos, logo, representa 70% dos alunos desse conjunto.

Abaixo, são transcritas algumas frases utilizadas pelos alunos. Em alguns casos, elas serviram de respostas, posto que os mesmos não se valeram de desenhos. É importante ressaltar que essas frases remetem às categorias citadas na tabela. As respostas abaixo fazem referência à categoria mais citada: “para enxergar, miramos o objeto”.

A-12: Quando estou focado em objeto, consigo vê com clareza e detalhe. Para isso preciso dos meus olhos [...]

C-44: Fixando o olhar de frente para o objeto [...]

Nota-se que, nesses casos, os alunos se valem de palavras-chaves para responder à pergunta, quais “mirar”, “fixar” e “focar”.

Em alguns casos, para alguns estudantes, não há nenhuma relação entre luz, objetos e os olhos; a luz serve apenas para iluminar os objetos. Para outros, a luz apresenta a relação visão-luz (*Enxergamos com a visão e também através da luz, porque se não houvesse luz, nós não enxergaríamos objeto nenhum...* (A-23)). Para eles, a luz é necessária para a iluminação dos objetos a serem vistos.

A segunda categoria mais representativa, neste estudo, é demonstrada pelos dois estudantes abaixo:

A-05: Eu enxergo o objeto quando a minha visão vai de encontro com ele [...]

A-25: Ocorre a transferência da luz do olho para o lápis [...]

Observa-se que, para os estudantes, as pessoas são capazes de enxergar um objeto porque os olhos emitem raios visuais, os quais vão ao encontro do que se pretende enxergar. É característico, nesse grupo, acreditar que podem ver sem qualquer fonte de luz. Segundo Gircoreano e Pacca (2001), essa crença, provavelmente, está ligada a uma das concepções alternativas mais marcantes na área da Óptica: a concepção dos *raios visuais*. Para esses alunos, a visão é entendida como um processo em que o olho é ativo, não somente como detector, mas como emissor que busca e alcança o objeto a ser visto.

Outra possibilidade de resposta à pergunta inicial (3ª categoria) reflete diretamente outra concepção alternativa relacionado ao processo da visão, chamada por Dedes (2005) de *emissão estimulada*. Segundo o autor, esse sistema exige a passagem de luz direta desde o objeto até o olho, sem a presença de uma fonte luminosa. Abaixo, mostra-se um exemplo dessa categoria dada pelos alunos.

A-37: Enxergamos porque o olho recebe luz vinda direto do objeto [...]

C-43: O olho recebe luz direto do objeto [...]

Vale salientar que, nesse como nos outros modelos de explicação, foi percebida a falta da menção a uma fonte de luz em algumas respostas dadas pelos alunos, fato observado também nos alunos A-37 e C-43.

A última categoria presente na análise é representada pelas duas respostas abaixo:

A-30: Eu só consigo ver este lápis quando meu olho recebe luz e depois emite no lápis.

A-24: Eu vejo algo quando meu olho recebe e lança luz.

Nessa categoria, o olho precisa receber e emitir luz para que se possa enxergar um objeto, como deixam claros os alunos acima citados.

Considerações relativas às ideias dos alunos sobre a luz

Outra parte da atividade inicial foi relacionada às ideias dos alunos sobre o que seria a luz (Como você define o que é luz?). Segue-se o mesmo modelo de análise usado na primeira questão, que era relacionada ao mecanismo da visão.

Modelo Explicativo	Quantidade de alunos
Luz é algo presente em todo ambiente	26 (60%)
A luz como energia	7 (16%)
Luz como uma entidade física	4 (8%)
Outras explicações	7 (16%)
Total	44 (100%)

Tabela 13: Respostas a questão 2 do teste diagnóstico.

Abaixo, serão transcritas algumas frases utilizadas pelos alunos. Essa questão difere da primeira, pois não possibilita ao aluno responder por intermédio de um desenho.

A-29: Um objeto eletromagnético que nos ajuda a enxergar melhor outros objetos e paisagens.

A-45: A luz na forma que a conhecemos é uma gama de comprimentos de onda a que o olho humano é sensível l...]

C-36: Luz é como uma espécie de onda magnética que se propaga no ar.

Observando as explicações dos alunos citados acima, percebe-se que eles já tiveram contato com alguns conceitos da Física e, especialmente, de elementos constituintes da Óptica, a exemplo do comprimento de onda. Vale salientar que, antes dessa atividade, nenhum aluno tinha passado por procedimentos formais na escola, como aulas expositivas, aulas experimentais ou filmes educativos.

Entretanto, em conversa⁴⁰ com o discente A-45, houve o esclarecimento de que o aluno já tinha ouvido falar do assunto em filmes e revistas que ele possuía. Dessa forma, pode-se concluir, que, em alguns casos, em virtude do convívio sócio-cultural, os alunos trazem para a sala de aula informações relevante sobre o assunto que será estudado.

Outra categoria citada é expressa pelos alunos citados abaixo. Para esses alunos, a luz é um tipo de energia que, em alguns casos, pode iluminar o ambiente ou, em outros, pode aquecê-lo.

C-04: Luz seria toda energia que ilumina.

C-17: Uma força, uma energia...

A-34: Em minha opinião, luz seria tudo que tem energia.

A categoria mais citada pelos alunos faz referência à luz como uma propriedade do ambiente, como é explicitado pelo aluno A-3. Veja-se o que diz o aluno A-03: *Luz seria tudo o que vemos claro em qualquer ambiente.*

Uma última categoria, que diverge das explicações acima, é mostrada pelas citações dos alunos abaixo.

A-42: Definição da luz pra mim seria uma coisa muito importante, porque sem a luz a gente ia viver na escuridão.

C-01: A luz são imagens refletidas com clareza.

Para eles, a luz seria algo importante, de que se necessita para viver, ou ainda, de forma mais filosófica, a luz se tornaria um caminho a ser trilhado para se ter sucesso na vida.

Outras considerações sobre a atividade inicial

A atividade inicial focou-se no mapeamento das concepções alternativas dos participantes da estratégia de ensino, os alunos. Esse ponto inicial mostrou-se relevante, pois serviu para delinear as futuras atuações do docente no manejo de tais concepções, bem como da conscientização dos próprios estudantes, no momento que suas concepções sobre a luz e a visão eram afloradas e discutidas em sala de aula.

⁴⁰ Essas informações foram recolhidas pelo professor-pesquisador em momento posterior à aplicação do instrumento e armazenadas no diário de campo do professor-pesquisador.

Sobre o processo de visão, pode-se abstrair das respostas que uma parcela dos alunos não faz relação entre o processo da visão e a sua dependência a uma fonte luminosa, descaracterizando o binômio visão-luz. Outro fato que vale ser ressaltado é que nenhum aluno possuía a explicação científica para o problema proposto. Portanto, para ser mais preciso, não houve nenhuma resposta correta para a questão 1 da atividade inicial.

Pode-se observar, contudo, conforme foi observado na atividade, que várias das respostas dos alunos para a questão 1 (Como você enxerga um objeto?) apresentam correlações ou paralelismos elucidados pela literatura da área.

Observando a História da Ciência, ela mostra que a resposta à questão acima, ou até mesmo algumas mudanças dela, foi feita e defendida por filósofos na Grécia Antiga, como Pitágoras, Platão, Leucipo e Demócrito, Euclides e Aristóteles. Os antigos gregos procuravam compreender o que ocorria entre o espaço do olho e o objeto visto, chegando a propor alguns modelos⁴¹ que tinham a ambição de responder à questão. Serão vistas, a seguir, alguns deles e suas relações com as explicações dadas pelos alunos.

De fato, várias das concepções alternativas possuem paralelismos⁴² com a História da Ciência; entretanto, uma das explicações dada pelos alunos (“para enxergar miramos o objeto”) não possui, de forma direta, uma correlação com modelos anteriores. Esse modelo, hoje na literatura da área (GIRCOREANO, 1997), é chamado de *banho de luz*, no qual a fonte luminosa ilumina tanto o objeto como o olho do observador, bastando ao observador mirar o objeto a ser visto.

Como observado, muitas dessas explicações são reflexos do convívio dos alunos no seu dia-a-dia. Dessa forma, para os alunos, essas explicações são dotadas de racionalidade. No entanto, as concepções alternativas podem aflorar até mesmo de outros meios. Para Gircoreano (1997), a explicação da visão como a emissão de um raio de luz que sai dos olhos aparece, mesmo, nas histórias em quadrinhos, por exemplo. Nelas, é normal o super-homem emitir raios na direção dos objetos que quer atingir.

⁴¹ No capítulo sobre a história da Óptica, pode-se encontrar uma revisão das principais explicações dadas pelos antigos gregos ao problema.

⁴² Nas atividades de História da Óptica, o professor-pesquisador procurou, quando necessário, estabelecer paralelismo entre as concepções dos alunos e as ideias presentes na História da Ciência. Além disso, foi mostrada a potencialidade e limite de cada explicação apresentada pelos alunos. Essa etapa mostrou-se importante para que os alunos não saíssem com a ideia que qualquer modelo é o correto ou que dá conta de explicar o fenômeno. Vale ressaltar que a explicação científica foi trabalhada nesse momento.

Termina-se aqui a análise da atividade inicial. Na próxima seção, será feita uma análise da aplicação dos textos históricos trabalhados em sala de aula.

4.3. A aplicação dos textos históricos

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos por meio da aplicação dos textos históricos. Tais resultados são fruto das respostas dadas dos alunos às questões de cada texto, bem como do registro das observações do professor-pesquisador, sejam eles escritos ou gravados via áudio e/ou vídeo.

Todas as três atividades procuraram abordar as controvérsias existentes em relação à natureza da luz, juntamente com a explicação de alguns fenômenos ópticos, por exemplo, o processo de visão de um objeto, reflexão, refração.

Será iniciada a reflexão pelo primeiro texto: **Antecedentes: a natureza da luz antes do Século XVII**. Dessa atividade, participaram 33 alunos. Foi observado que as respostas apresentadas pelos estudantes das duas turmas não apresentaram diferenças significativas. Por causa desse fato, não se vê a necessidade de confrontar os dados das duas turmas participantes.

O modelo de análise desta pesquisa é reflexo de outro trabalho similar a este. Souza (2008) recorre à análise de cada questão do texto apresentada aos alunos. Dessa maneira, para o autor, é possível verificar a aprendizagem do assunto discutido e estudado, bem como perceber algumas relações com a natureza da ciência apresentada pelos alunos nas suas respostas.

Portanto, será feita, também, a análise reflexiva de cada questão desse e dos demais textos trabalhados em sala de aula.

Questão 1 - Quais as principais dúvidas relacionadas ao estudo da luz, desde a Antiguidade?

Corresponde à chave de resposta	21 (65%)
Não corresponde	12 (35%)
Total	33 (100%)

Quadro 3: Respostas à questão 1 da atividade 1.

Nessa questão, em especial, as respostas apresentaram um alto índice de correlação com a chave de resposta. Muitos dos alunos localizaram a presença de elementos centrais (transcrevendo partes dos textos em vários casos), que serviam de resposta à questão. Nesse momento, é esperado o uso de recortes, pois, nessa pergunta, não é objetivado um momento de maior reflexão dos alunos, mas a apresentação ao problema: *como explicar o que ocorre entre o olho e o objeto visto ou o que é a luz* (essa temática é referendada nos demais textos e é colocada como problema central desse primeiro texto da unidade didática).

Finalmente, para elucidar a chave de resposta dessa questão, vão se tomar como referência as respostas dadas pelos alunos abaixo:

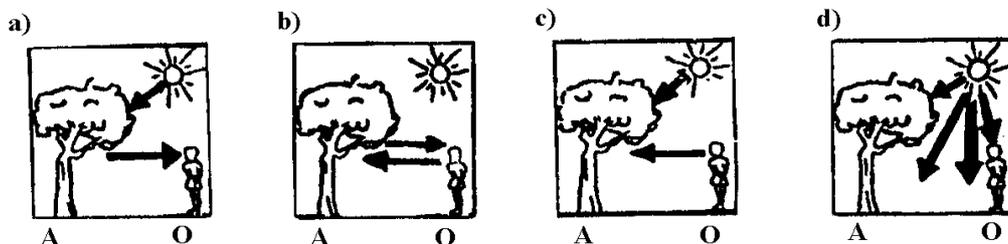
C-24: A dúvida era identificar o que ocorre no espaço entre os olhos e objeto visto.

C-15: Seria a luz constituída por um fluído imaterial ou por partículas?

Questão 2 - As figuras abaixo nos mostram quatro maneiras diferentes para representar o modo como se pode enxergar um objeto.

a) Qual das opções se assemelha com o seu modelo de explicação? Explique.

b) Você vê semelhanças com os modelos apresentados no texto?



Opções	Quantidade de alunos
A (Modelo científico)	16 (48%)
C (Objeto como epicentro, recebe luz da fonte e do observador)	7 (20%)
D (Banho de luz)	6 (18%)
B (O objeto e o observador emitem algo (luz, raios	4 (14%)

visuais e feixes luminosos)	
Total	33 (100%)

Tabela 14: Repostas dos estudantes à questão 2 da atividade 1.

A questão 2 tratava da explicação do por que se enxerga um objeto. Ela faz referência direta à atividade de diagnóstico, em que também era proposta uma pergunta nessa direção (Como você enxerga um objeto?). Na primeira ocasião, percebe-se que nenhum aluno apontou a resposta científica nas suas discussões. Entretanto, com o auxílio do texto, na questão 2, verifica-se que houve um aumento significativo de alunos que apontaram o modelo científico como a resposta correta.

Embora não represente a completude dos alunos, esse fato pode indicar que o uso somente do texto histórico, sem nenhuma explicação do docente, surtiu resultados, como é apontado por Silva e Martins (2009b).

Mesmo que esse aumento não reflita, fielmente, a aprendizagem dos alunos ao problema solicitado, pois, em alguns casos, somente foi assinalada a questão correta sem nenhuma justificção, esse aumento significativo pode referendar o uso de textos históricos como *uma* das possibilidades, encontradas nas pesquisas em ensino de ciências, de se trabalharem as concepções alternativas em sala de aula.

Na tabela abaixo, será feito um balanço dos alunos que apontaram a resposta científica como correta, mostrando, também, o modelo anterior usado qual resposta pelo aluno.

Alunos que apresentaram mudanças para a explicação científica	
Mudou do modelo “miramos o objeto” para o científico.	C-35, C-45, C-32, C-26, A-23, A-25, A-43, A-42 [8 alunos]
Mudou do modelo “emite um raio visual pelo olho” para o científico.	C-16, A-11, A-5, A-35, A-21, A-26 [6 alunos]
Mudou do modelo “o olho emite e recebe luz” para o científico.	C-9 [1aluno]
Mudou do modelo o “olho recebe luz (sem a fonte luminosa)” para o científico.	C-15 [1aluno]

Tabela 15: Explicação científica dada pelos alunos.

Vale ressaltar que não se trabalhou na perspectiva efetiva de mudança conceitual, conforme mostrada na década de 80 do século passado por pesquisadores que apresentavam essa perspectiva para o ensino de ciências. A verdadeira intenção é de mostrar a funcionalidade do texto histórico trabalhado em sala, que, por si só, teve a capacidade de fomentar uma reflexão da questão nos alunos. Observa-se que do teste diagnóstico participaram 44 alunos, dos quais nenhum apresentou a explicação científica. Mas a intervenção somente do texto, que foi aplicado para 16 alunos, pode reverter esse quadro de 0% para 48% de alunos que apontaram a explicação científica como a correta.

Embora o valor acima referido não represente a totalidade dos alunos, esta pesquisa acredita que, após a intervenção do docente e a posterior discussão dos demais textos históricos, a resposta científica possa ser assimilada por mais estudantes. Abaixo, são destacadas algumas respostas dadas pelos alunos para cada uma das alternativas da questão.

C-16: Porque o Sol vai refletir luz sobre a árvore e depois ela reflete luz para a pessoa que está presente perto desta árvore.

C-02: Em minha opinião é a 'b', porque a luz do Sol transmite seu calor e bate na árvore, e transmite do homem para a árvore.

C-04: 'C', porque o Sol ilumina a árvore, que ilumina o homem e vemos melhor.

C-39: 'D', porque eu vejo o Sol, a Terra e a árvore na minha frente.

Vale ressaltar que, até aquele momento, não houve nenhuma intervenção do professor com o fito de explicar qualquer um desses modelos nem de apresentar a resposta e o modelo científico aceito atualmente.

Questão 3 - Compare os modelos de visão de Platão e de Alhazen. Você é capaz de dar argumentos em defesa de um ou de outro?

Explicação	Quantidade de alunos
Concorda com Alhazen	19 (58%)
Concorda com Platão	9 (29%)
Discorda de ambos	2 (6%)
Concorda com ambos	2 (6%)
Respostas em branco	1 (3%)
Total	33 (100%)

Tabela 16: Respostas dadas a questão 3.

Na tabela acima, observa-se que a predominância de respostas está relacionada ao modelo de Alhazen, que se aproxima mais da explicação científica dada hoje. Esse dado é interessante, pois converge com o que foi apresentado na tabela anterior, na qual a mudança para a explicação científica foi mais expressiva. Abaixo, são apresentadas algumas das respostas dadas pelos alunos à questão 3. Inicialmente, podem-se ver alguns alunos que concordam com o que foi mencionado por Alhazen:

A-05: Eu acho que o mais provável é a de Alhazen, porque ao ver um objeto existe uma formação óptica no interior do olho.

C-15: Não que Platão esteja errado, mas Alhazen, em minha opinião, é que se aproxima do que eu penso: a luz do Sol, por exemplo, bate na árvore e os raios são emitidos aos nossos olhos pela pupila, formando uma imagem no fundo da câmara.

A-06: Eu acho que Alhazen tem razão que o nosso olho é como uma câmara, pois quando estamos de olhos fechados não enxergamos nada. Do mesmo jeito é a câmara: ela está desligada, não filma nada.

Abaixo alguns alunos que justificaram que ambos os modelos são semelhantes:

C-32: Comparando os dois modelos, praticamente os dois modelos estão iguais, porque eles têm o mesmo raciocínio, com isso os modelos ficam muito parecidos.

C-17: O de Platão e o de Alhazen recebem raios emitidos pelos corpos.

Por último, para exemplificar, o aluno abaixo que utilizou Platão na sua resposta:

C-04: Platão, porque é como ele diz: vemos por causa da iluminação do Sol, que vemos melhor a imagem.

Vale destacar a explicação da aluna C-32, para quem os dois modelos são iguais. Retornando às respostas anteriores dessa aluna (teste diagnóstico⁴³), verifica-se que, conforme suas ideias, para se enxergar, o olho necessita receber um raio de luz. Portanto, esse fato esclarece a resposta da aluna, já que, tanto nos modelos de Platão como no de Alhazen, chega um feixe luminoso ao olho do observador.

⁴³ Vale ressaltar que, na questão 2, a aluna C-32, na sua resposta, observou a explicação científica como a alternativa correta à questão (veja a tabela **Alunos que apresentaram mudanças para a explicação científica**). Entretanto, segundo observado, ela não observa diferenças nos modelos de Alhazen, mais próximo da explicação científica, e de Platão. É importante destacar que esses alunos, para a resolução dessas questões, não tiveram nenhum tipo de influência do professor-pesquisador. Essas e outras incoerências foram sendo sanadas nas discussões em grupo.

Questão 4 - Ainda que de forma filosófica, iniciam-se na Grécia Antiga estudos para tentar explicar o que seria a luz. Aponte as principais correntes filosóficas que divergiam na tentativa de responder a essa pergunta.

A questão acima tinha a finalidade de fazer os alunos entrarem na discussão sobre a natureza da luz. Essa questão, por seu caráter, favorece a retirada de elementos direto do texto para a sua resolução. Como resposta, foi observado que os alunos perceberam a diferença existente entre os modelos contraditórios, como os de Aristóteles (vibracional) e os demais, que apresentavam explicações de natureza corpuscular, segundo observado na tabela abaixo:

Explicações dadas pelos alunos	
Corresponde à chave de resposta	27 (82%)
Não corresponde	6 (18%)
Total	33 (100%)

Quadro 4: Respostas à questão 4 da atividade 1.

Questão 5 - De que forma Santo Tomás de Aquino defende a imaterialidade da luz? Você concorda com esse argumento?

Como a questão 4, essa questão também serve para introduzir os alunos às discussões que viriam a seguir (textos 2 e 3) sobre a natureza da luz. Em particular, ela servia também já para verificar, mesmo que de forma inicial, o posicionamento dos alunos frente à dúvida que será plantada (a luz é onda ou partícula?) nos demais textos.

No que se refere à resolução dessa questão, em especial, um fato chama a atenção: a ampla maioria de aceitação pelos alunos do que foi argumentado por Santo Tomás de Aquino. Pelo que parece, o argumento dele foi decisivo (dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar ao mesmo tempo, porém a luz pode) para a ampla aceitação, nessa questão, de um modelo vibracional para a luz.

Mesmo que de forma prévia, vale ressaltar que os alunos ainda não tinham sido inseridos nas discussões dos textos 2 e 3. Contudo, somente um dos alunos participantes, a aluna C-4, discordou do argumento. Veja-se o que ela diz: “*Não. Porque duas luzes ligadas, ao mesmo tempo e ao mesmo lugar, embaçam e não vejo nada. E, no texto, na minha opinião, ele diz que dá pra ver*”. Diante da resposta da aluna C-4, observa-se que ela não argumenta a favor da natureza corpuscular da luz, embora não concorde com o argumento de Santo Tomás de Aquino.

Continuando a reflexão sobre a aplicação dos textos históricos em sala de aula, se irá para o texto 2, **Mudanças de cenário: revoluções e mais controvérsias**. Desta atividade, participaram 35 alunos. Será mantida a mesma linha de análise que foi apresentada no texto 1.

Questão 1 - No século XVII, o conflito iniciado lá na Grécia Antiga muda de cara, deixando um âmbito filosófico e ganhando uma roupagem científica. Neste período, surgem teorias rivais, que tentavam explicar o que seria a luz. Apresente estas ideias. Você vê semelhanças entre estas ideias e as ideias dos gregos? Explique.

Geralmente, nas questões iniciais de cada texto, procura-se apresentar aos alunos questões que possam ser resumidoras de cada episódio histórico desenvolvido naquele texto. De forma geral, essas questões, pela sua característica, não exigem uma maior reflexão dos alunos, terminando em respostas que, em alguns casos, refletem recortes do texto. Em particular, essa primeira questão resume bem a situação descrita.

Nessa questão, como em outras da mesma natureza, espera-se dos alunos uma aproximação da chave de resposta proposta na atividade. No quadro abaixo, observa-se o que ocorreu nessa questão, em especial.

Explicações dadas pelos alunos à questão 1	
De acordo com a chave de resposta	31 (88%)
Discorda da chave de resposta	4 (12%)
Total	35 (100%)

Quadro 5: Respostas à questão 1 da atividade 2.

Observa-se que houve uma boa porcentagem de alunos que mostrou uma explicação adequada para a questão solicitada (88%). Algo interessante é que os alunos das respostas divergentes da chave de respostas possuíam uma tendência na solução da questão. Pode-se ver um exemplo para elucidar: “*Sim. Porque acreditava-se que a velocidade da luz era infinita.*” (A-29).

Não se acha, no texto, fonte para essa resposta, mas pode-se imaginar que os alunos em questão, talvez, não possam ter realizado uma leitura satisfatória e tenham selecionado uma parte, essa em destaque, para as suas respostas.

Em contrapartida, a aluna A-23 resume a chave de resposta, dizendo: “*Doas teorias viriam a surgir, uma favorecendo as partículas e outra bem próxima das ideias abordadas por Aristóteles.*” Ainda, complementando a questão, a aluna A-35 diz: “*Eu vejo só semelhanças apenas na primeira [relacionada a partícula] ideia a qual fala sobre as partículas, pois assim os gregos pensavam*”.

Todas as questões que abordavam semelhanças destacam uma maior aproximação com as ideias de natureza corpuscular da luz.

Questão 2 - Comente a frase a seguir:

Em relação à explicação do que seria a luz, onde estaria a incerteza? Na cabeça dos cientistas ou na natureza?

Categorias	Quantidade de alunos
A incerteza está nos cientistas	33 (97%)
Outros	2 (3%)
Total	35 (100%)

Tabela 17: Respostas a questão 2.

Essa questão reflete uma discussão ontológica: “onde estaria a incerteza: na natureza ou na cabeça dos cientistas”?

Deve-se notar que houve uma ampla aceitação de que a incerteza estaria na cabeça dos cientistas. Conclui-se que esse fato pode estar diretamente relacionado à narrativa do próprio episódio histórico discutido no texto. Nele, mostra-se a constante corrida entre as duas correntes que viriam a surgir na tentativa de explicar o que seria a luz. Abaixo, serão analisadas algumas explicações dadas pelos alunos. Há algumas respostas dos alunos que entendem que a incerteza está nos cientistas:

A-35: Em relação à explicação do que seria a luz, acredito que a incerteza estaria na cabeça dos cientistas, pois surgiram muitas teorias para explicar o que seria a luz. Então, por isso, no pensamento deles nunca tinha uma explicação exata do que seria a luz. Então, com isso, gerava a incerteza do que seria a luz.

A-11: A incerteza está na cabeça dos cientistas, pois cada um tem uma maneira de pensar diferente e isso pode confundir um pouco.

A-05: Eu acho que a incerteza estaria na cabeça dos cientistas, porque eles procuravam de todas as formas mostrarem o que é a luz.

A-31: A dúvida estava na cabeça dos cientistas, por sempre estarem querendo descobrir algo diferente.

Abaixo, pode-se ler a resposta de dois alunos que foram contrários à ampla maioria que apontou para a incerteza dos cientistas.

C-10: Nem um nem outro naquela época não tinha equipamentos adequados para estudar a luz. Foi falta de equipamentos avançados.

C-36: Acho que em ambas as partes, pois os cientistas ainda enfrentavam certos mitos religiosos e as críticas da sociedade, e de outro lado era difícil arranjar materiais e ferramentas adequadas para provar as teorias.

Dos dois grupos acima, podem-se retirar várias observações interessantes relacionadas à Natureza da Ciência. Quando se vê as explicações dadas pelos alunos A-35 e A-11, nota-se que, para ambos, havia a presença de várias teorias para explicar um fenômeno, afastando a ideia de unicidade na ciência ou que há uma maneira única de fazer ciência.

Quanto aos alunos A-31 e A-5, as suas explicações deixam transparecer que o papel da ciência seria uma tentativa de explicar fenômenos naturais (“[...] *estarem querendo descobrir algo diferente* ou [...] *eles procuravam de todas as formas mostrarem o que é a luz.*”). Observa-se que, para os alunos, o papel do cientista seria o de descobrir ou mostrar o que é a ciência.

Note-se que, para todas as explicações acima, as incertezas estariam na cabeça dos cientistas. Inicia-se, agora, a análise das respostas dos alunos C-10 e C-36, que não abordam de forma exclusiva a culpabilidade dos cientistas.

Para o aluno C-10, a ciência daquela época não era capaz de resolver o problema da natureza da luz, pois o aparato tecnológico da época não dava conta de solucionar a controvérsia em questão. Nota-se que, para o aluno, a dúvida não estaria em nenhum dos lados, pois faltavam instrumentos para resolver a questão.

O argumento do aluno C-36 complementa o argumento do aluno C-10. Para ele, o conhecimento científico depende fortemente, mas não inteiramente, da observação e da evidência experimental. Para o aluno C-10, as influências religiosas e da sociedade também seriam decisivas nos estudos sobre a luz.

De forma geral, a o principal aspecto sobre a NdC é a ideia de que há uma verdade objetiva e é preciso *descobri-la*, negando a existência de modelos.

Questão 3 - O início do século XVIII foi marcado pela superioridade da teoria corpuscular (partículas). A teoria corpuscular foi realmente superior à ondulatória, no

que diz respeito as suas explicações teóricas? Ou outros fatores foram importantes para a aceitação da teoria corpuscular? Explique.

O objetivo da questão é apresentar a inserção de fatores não estritamente racionais na formulação de uma teoria. Nessa questão, esperava-se que os alunos observassem a existência de fatores sociais, políticos e econômicos na formação de uma teoria. De forma geral, esse objetivo foi alcançado. Todas as respostas apresentavam argumentos de natureza não estritamente racional na formulação e aceitação do modelo corpuscular.

Nessa questão, foram elaboradas várias categorias apresentadas em forma de tabela.

Categoria	Quantidade de alunos
Influência de outras obras de Newton	11 (32%)
Uma melhor fundamentação teórica dos modelos corpusculares	9 (26%)
Influências das aulas populares	6 (15%)
A morte de Huygens	4 (12%)
Em branco	2 (6%)
Influência de aspectos políticos (nomeação de Newton como presidente da Royal Society)	2 (6%)
Não teve influências	1 (3%)
Total	35 (100%)

Tabela 18: Respostas à questão 3 da atividade 2.

Abaixo, são destacadas algumas falas dos alunos que são representativas das categorias apresentadas na tabela acima. Nessas falas, percebe-se a influência de outros argumentos, como sociais, políticos, culturais e econômicos, na aceitação do modelo corpuscular.

Um dos fatores que mais chamou a atenção dos alunos foi a influência de outros estudos de Newton sobre a Óptica. Pode-se observar que esse foi o fator mais citado. Lê-se abaixo o que diz um aluno:

A-08: Newton fez uma ótima teoria corpuscular, mas não foi só isso que foi tão importante no seu conhecimento. Teve também a mecânica, alquimia, gravitação e a teologia.

Conforme observado pelo aluno, os estudos anteriores de Newton, como, por exemplo, os estudos sobre a mecânica, favoreceram e ajudaram muito a aceitação de seu

segundo livro, que continha seus estudos sobre a luz e, posteriormente, colaboraram para uma melhor recepção ao seu modelo de cunho corpuscular para a luz.

Abaixo, outras respostas dadas pelos alunos, as quais remetem à categoria “uma melhor fundamentação teórica dos modelos corpusculares”:

C-36: Newton provou que a velocidade deveria ser maior no meio mais denso e isso ocorria devido a uma força sobre os corpúsculos, acelerando-os.

A-43: Foi essa teoria criada por Newton, pois, que era superior a ondulatória.

C-15: Sim, pelo fato de que a teoria corpuscular tem sido muito melhor na explicação do que é a luz. O fato é que foi um dos primeiros a dar uma resposta concreta sobre o assunto. Sua teoria não deixava muitas dúvidas, conquistando outras mentes.

Para esse grupo de alunos, o modelo corpuscular, a Newton muito direcionada, por si só, já teria totais condições de explicar o que seria a luz, sobressaindo-se, dessa forma, em face ao modelo ondulatório e ganhando novos adeptos, segundo aborda a aluna C-15.

C-15: O fato é que foi um dos primeiros a dar uma resposta concreta sobre o assunto. Sua teoria não deixava muitas dúvidas, conquistando outras mentes.

Esse fato, realmente, condiz com o episódio histórico estudado, pois os seguidores de Newton acreditavam nas suas ideias como verdades absolutas, que não precisavam de maiores esclarecimentos.

Outro argumento que foi relatado pelos aprendizes está relacionado às aulas populares ministradas, em muitos casos, pelos discípulos ou seguidores de Newton. Dessas aulas, participavam não só estudiosos, mas também membros da nobreza, do clero e da população menos rica. A seguir, algumas respostas dadas pelos alunos:

A-05: Naquela época muitas demonstrações populares não apenas enalteciam a teoria corpuscular como também evidenciavam os pontos fracos da teoria ondulatória da luz.

A-29: Houve tentativa de se popularizar a ciência.

C-45: Eu acho que foi envolvida, porque naquela época ele apresentou várias demonstrações populares que enalteciam a teoria corpuscular.

Nessas aulas, costumeiramente, eram apresentados os pontos em que o modelo corpuscular era superior ao ondulatório e também escondidos os pontos fracos das ideias corpusculares⁴⁴.

Um próximo argumento, apontado pelos alunos, foi a morte de Huygens – um dos maiores defensores da teoria vibracional – como fator determinante para a maior aceitação de seu modelo rival: o corpuscular. Leia-se o que dizem os alunos:

C-11: A morte de Huygens colaborava para que a teoria corpuscular de Newton prevalecesse frente à ondulatória, que, logo após, foi quase completamente esquecida.

C-16: Sim, porque a teoria ondulatória foi esquecida após a morte de Huygens e, com isso, a teoria corpuscular se prevaleceu à frente da ondulatória, após a morte de seu defensor.

Esse fato mostra que ideias científicas são afetadas pelo meio social e histórico no qual são construídas. A morte de Huygens acarretaria o interrompimento, mesmo que não total, de estudos mais detalhados sobre o modelo ondulatório. Atrelado a outros fatores, que aconteciam naquela época, o modelo corpuscular viria a ganhar mais espaços no cenário científico daquela sociedade.

Outro fato destacado pelos alunos, e que também foi usado por Newton, foi a sua influência como presidente da Royal Society. Abaixo, a resposta de uma aluna:

C-17: Sim. O fato de Newton ter sido presidente da Royal Society, apadrinhado pelo rei James II, ele exercia forte influência sobre a população.

Esse cargo daria a Newton possibilidades de despedir os professores escolásticos-aristotélicos, contratando professores que se valiam de suas próprias ideias. Dessa forma, esse cargo poderia oferecer ferramentas para modificar os estudos daquela época. Por fim, esse argumento remete-nos à conclusão de que a ciência é parte de tradições sociais, políticas e culturais.

Um último argumento que vale destacar é o seguinte: “*Eu acho que não, porque os cientistas, cada um fala da forma diferente e nunca chegam a uma conclusão certa*”. Observa-se que o aluno C-25 aponta que os cientistas apresentam uma pluralidade de ideias para explicar o que é a luz. Para ele, essa variedade de argumentos dificultaria a conclusão do que seria a luz.

⁴⁴ Vale salientar que, nessa época, surgiu a pretensão e a vontade de unir o *Principia* ao *Óptica*, formando assim um modelo dinâmico para a luz. Para maiores esclarecimentos, ver o capítulo 3 desta dissertação.

Questão 4 - Após a publicação do seu livro *Óptica*, em 1704, os seguidores de Newton passam a ver suas conclusões como verdades absolutas, que deveriam seguir para desenvolver as suas pesquisas. Você vê a postura dos seguidores de Newton como positiva ou negativa? Explique.

A última questão também remete ao imaginário dos alunos sobre como a ciência é arquitetada. Nessa questão, o objetivo era apresentar a influência da imagem de Newton na formação de um modelo para a luz. Ainda, mas não menos importante, pretendia-se mostrar como a imagem e a autoridade de Newton serviram de obstáculo para o desenvolvimento do modelo ondulatório no século XVIII.

Abaixo, mostra-se uma síntese das principais respostas apresentadas pelos alunos a essa questão.

Encara como uma postura negativa	21 (60%)
Encara como uma postura positiva	14 (40%)
Total	35 (100%)

Quadro 6: Respostas à questão 4 da atividade 2.

Irão se observar as seis falas escolhidas para serem analisadas. Foram selecionadas três falas representativas para cada grupo. A análise inicia-se pelo grupo que encara a postura dos seguidores de Newton como negativa.

Para esse grupo, no geral, a explicação para uma postura negativa dos seguidores de Newton dava-se muito devido à incompletude das teorias do cientista⁴⁵ inglês. Nas falas dos alunos C-39 e A-35, verifica-se a ideia de verdade científica como uma verdade provisória, em que o recorrente estudo e pesquisa é a marca da ciência, que se preocupa em se aproximar cada vez mais dessa chamada verdade científica. Ainda, no aluno C-39, nota-se a necessidade de *provar* uma teoria, bem próximo de verificar a sua aplicabilidade. Lêem-se as respostas de alguns alunos que encaram a postura dos seguidores como negativa:

C-14: Negativa, pois seus seguidores acreditavam nos preceitos formulados por Newton e não pensaram em alguns pontos fracos encontrados em suas teorias.

⁴⁵ Naquela época, era mais comum utilizarem a imagem de filósofo natural.

C-39: Errada, pelo fato que teoria é algo para melhorar principalmente em uma teoria nova, tendo como princípio que nenhuma verdade é absoluta enquanto não é posta em prova.

A-35: Eu vejo como uma postura negativa, pois eles poderiam pensar mais, poderiam também tentar melhorar algumas explicações de Newton e pesquisarem mais, e mais, para que obtivessem mais descobertas.

Já o outro grupo, que encaravam a postura de Newton como positiva, enxerga que, para os estudiosos da época, as ideias de Newton eram *perfeitas*, logo, não necessitariam de maiores esclarecimentos e estudos. Para eles, a teoria de Newton, por si só, serviria como paradigma – em uma linguagem kuhniana – ou ponto de partida para os demais estudos sobre a luz, prescindindo de aprimoramentos. Vêem-se a seguir algumas respostas dadas pelos alunos:

C-26: Eu acho que positiva, porque eles viram que não conseguiriam ganhar das conclusões de Newton e começaram a segui-lo.

C-16: Sim, porque os seus seguidores não se empenharam e não tinham certezas das coisas que iam fazer.

A-27: Positiva, porque Newton foi um dos maiores cientistas daquela época e criador de teorias que mudariam muitas coisas na nossa história.

Para encerrar as análises sobre os textos históricos, serão mostrados os resultados ao questionário realizado para o último texto, **Difração e Interferência: o ressurgimento da teoria ondulatória**. Participaram dessa atividade 22 alunos.

Questão 1 - Com base no texto como você explicaria os fenômenos de difração e interferência. Aponte exemplos do seu dia-a-dia onde você vivencia estes fenômenos.

Como nos demais textos, foi seguido o mesmo padrão: a primeira questão é facilmente retirada do texto, proporcionando respostas caracterizadas por fragmentos selecionados das leituras dos alunos do texto em questão.

Em especial, essa questão solicitava aos alunos mostrarem o que entenderam dos fenômenos de difração e interferência luminosa. Como se verá, nos resultados abaixo, a definição do fenômeno, embora não mostrando a totalidade, foi satisfatória.

Corresponde à chave de resposta	18 (81%)
Não corresponde à chave de resposta	4 (19%)
Total	22 (100%)

Quadro 7: Respostas à questão 1 da atividade 3.

Para exemplificar, será transcrita a resposta do aluno A-37, que remete à expectativa da chave de resposta.

A-37: No meu entendimento, a difração acontece quando a luz atravessa um certo obstáculo. A interferência é quando duas ondas se chocam, acontecendo uma soma ou diminuição da onda original.

Questão 2 - A segunda metade do século XVIII foi marcada pelo reinício dos estudos em relação à teoria ondulatória. O que impedia que esta teoria fosse aceita pela comunidade científica? Que fatores foram determinantes para que a teoria ondulatória ressurgisse e a corpuscular perdesse espaço?

Fatores favoráveis para a teoria ondulatória	Número de alunos	Fatores desfavoráveis para a teoria ondulatória	Número de alunos
Medição do comprimento de onda	10	A credibilidade de Newton	4
Erros apresentados nas explicações ou teorias de Newton	5	Falta de uma fundamentação matemática	6
Ressurgimento dos estudos sobre a teoria ondulatória	2		

Tabela 19: Aspectos da teoria ondulatória da luz. Note-se que o somatório não dá 22 alunos. Isso ocorre porque alguns estudantes manifestaram mais de um fator.

Nessa questão, era pretendido que os alunos observassem a diversidade de critérios, fossem eles de natureza técnica ou não, que permeiam uma comunidade científica no processo de aceitação ou rejeição de uma teoria. Como se observa na tabela acima, foram citados, pelos alunos, alguns argumentos, que se mostraram favoráveis ou não no diz respeito ao ressurgimento do modelo ondulatório.

Abaixo, foram selecionadas algumas falas dos alunos para se realizar uma discussão sobre a natureza da ciência que afloram delas.

A-06: A teoria corpuscular não conseguia realizar experimentos, nem muito menos possuía explicações para este fenômeno (interferência). E também foi Thomas Young com a teoria ondulatória que conseguiu medir o comprimento de onda.

A-08: Uma experiência verificando o comprimento de onda e apresentando os seus resultados [...]

C-39: Pela credibilidade de Newton, houve o fato em que ele provava o contrário, e como a enciclopédia newtoniana estava na mão da população, os erros estavam em alvo.

C-04: Em minha opinião, foi por causa das enciclopédias e em textos científicos da época. Foram devidos os problemas encontrados em aspectos da teoria newtoniana.

A-35: Acredito que o impedimento que não deixava essa teoria ser aceita pela comunidade científica nessa metade do século XVIII era porque ainda a teoria newtoniana era muito aceita e acredito assim também que para muitos era vista como a verdadeira.

A-14: A teoria ondulatória não possuía uma fundamentação matemática nem conseguia medir o comprimento de onda da luz de forma clara.

Pelas falas acima dos alunos, entende-se que, em alguns casos, foi destacada a necessidade de algo além do experimento para a aceitação e validação de uma teoria, embora a questão da experimentação como verificação apareça também.

Pode-se observar, nas falas dos alunos e na tabela acima, que, para o resurgimento do modelo ondulatório, foram decisivos argumentos de natureza técnica, como a medição do comprimento de onda por Young, mas, além disso, os erros e as deficiências em algumas explicações dadas por Newton e seus seguidores, especialmente no que diz respeito ao fenômeno da inflexão, hoje conhecido por interferência luminosa, foram marcantes para a retomada de espaço da teoria ondulatória.

Questão 3 - No desenrolar da história da óptica, que presenciamos nos textos estudados, podemos verificar que inúmeros experimentos foram realizados no estudo de fenômenos luminosos como a reflexão, refração, difração e interferência. Você acha que estes experimentos foram decisivos para validar ou invalidar as teorias que tinham por ambição explicar o que era a luz? Explique.

Categoria	Número de alunos
O experimento é decisivo para validar uma teoria	18 (81%)
O experimento não é decisivo para validar uma teoria	4 (19%)
Total	22 (100%)

Tabela 20: Resposta à questão 3 da atividade 3.

Nessa questão, pretendia-se problematizar a ideia de que, para comprovar uma teoria, *sempre* é necessário realizar uma experiência no final do processo de validação dessa teoria. Embora o resultado pareça ser insatisfatório, pois 18 alunos (81% dos

alunos que participaram da atividade) apresentaram o experimento como característica decisiva na aceitação de uma teoria, vale destacar que esses alunos não sofreram interferências do professor-pesquisador no que diz respeito a essa temática.

Ainda, vale comentar, muito devido à própria natureza do episódio histórico escolhido e pelo anseio de experiências que demonstrassem os fenômenos da luz por intermédio de experimentos, o ideário dos alunos convergem para essa situação.

Contudo, analisem-se abaixo algumas das respostas dadas pelos mesmos.

A-27: Acredito que sim, as experiências e as críticas serviram para os cientistas daquela época se aprofundar nos estudos para chegar a uma conclusão e terem uma boa fundamentação teórica, ou melhor, terem uma boa explicação para todas as perguntas principalmente para descobrir o que era a luz.

C-15: Sim, as primeiras teorias em relação à luz foram a reflexão, refração, difração e interferência, responsáveis para uma expansão do conhecimento. Todas as experiências feitas antes desses fatos ajudaram para conceituar o que é a luz.

A-35: Eu acredito que sim, eles foram decisivos para validar as teorias que tinham por ambição explicar o que era a luz. Acho que foi através desses inúmeros experimentos que hoje temos uma noção do que seria a luz, pois, com certeza, alguns desses experimentos devem ter dado certo. É por isso que eu acredito que tenha sido válido.

A-11: Só os experimentos não provam a teoria.

A-14: Não. Porque ainda não é possível saber ou ter certeza de que tudo que foi visto é verdade ou mentira, ou seja, ainda não está totalmente explicado.

Observando-se a resposta da aluna A-11, conclui-se que, para ela, o experimento por si só não é fator preponderante para a validação do modelo ondulatório. Quando se retorna ao estudo histórico, vê-se que a teoria ondulatória, para sua melhor aceitação nos séculos XVIII e XIX, ficou caracterizada pela necessidade de ir além da verificação do comprimento de onda como também de buscar uma fundamentação teórica (matemática).

Voltando à questão 2 desse texto e à questão 3 do texto 2, verifica-se que outros fatores são apontados pelos alunos para a validação (aceitação) de uma teoria no cenário científico de uma certa época.

Já a aluna A-35, representativa do grupo que argumenta a favor do uso exclusivo do experimento na validação de uma teoria, acredita que as inúmeras tentativas de realizar experimentos foi a forma mais adequada de se chegar à explicação do que era a luz, dando ao experimento a característica final para a validação de uma teoria.

Questão 4 - Tomando como o episódio da história da óptica estudado, responda a questão abaixo:

Podemos afirmar que a ciência é construída de forma cumulativa, onde os conhecimentos novos somente são somados aos anteriores, ou passa por períodos de quebras e rupturas?

Passa por momentos de quebra e rupturas	15 (68%)
Evolui de forma cumulativa	7 (32%)

Quadro 8: Respostas à questão 4 da atividade 3.

Nessa questão, em especial, pretendia-se verificar como o aluno enxerga o desenvolvimento do conhecimento científico (linear ou rupturas). No episódio estudado em sala de aula, desejava-se que os alunos identificassem que, no decorrer do desenvolvimento de um conceito científico, existem períodos de constantes desentendimentos entre os cientistas, quando a ciência passa por descontinuidades e rupturas.

Embora o próprio episódio histórico favorecesse a essa conclusão dos alunos, observa-se que 32% dos alunos não chegaram, por si sós, a essa conclusão. Abaixo, mostram-se algumas das respostas dadas por esse primeiro grupo.

A-35: Acredito que a ciência é acumulativa e sempre aberta para novos conhecimentos e descobertas, pois a cada coisa descoberta ou conhecida, a cada dia a ciência só tem o que somar.

A-14: A ciência é feita de perguntas e não de respostas, e todos os conhecimentos são bastante aproveitados para poder conseguir um dia as tais respostas. Com isso, os conhecimentos anteriores são juntados aos atuais.

Nas falas das alunas apresentadas, pode-se observar a ideia de desenvolvimento científico linear, no qual os conhecimentos são somados aos anteriores. Entretanto, vale destacar a resposta da aluna A-14, quem observa que a ciência é feita por perguntas. Talvez o episódio histórico estudado (a luz é onda ou partícula?) possa ter influenciado a aluna, retirando aquela característica terminalista das aulas de ciências, em que, no geral, são apresentados, somente, os produtos e resultados, ignorando todo o processo pelo qual aquela teoria, modelo ou lei teve de passar para se firmar.

Agora, é interessante observar algumas respostas dadas pelos alunos do outro grupo (68%), que argumentam pela ciência dotada de momentos de quebra, revoluções e rupturas.

A-43: Eu acho que passa por períodos de quebras e rupturas, porque a ciência de hoje é muito diferente da antiga.

A-23: Passa por períodos de quebras e rupturas, porque ao longo da história vão descobrindo novas teorias mais consistentes.

C-15: Sim, é fato que tudo muda constantemente, e a Física em relação aos conceitos de antes e de hoje possuem uma grande diferença. Também verificamos que até chegar a um conceito ou uma afirmação lógica, houve muitos períodos de quebras e rupturas. Foi necessário que Newton errasse em relação ao conceito de hoje para o que seria a luz, onde foram postos em questão problemas mencionados as teorias newtonianas, levantando pesquisas com experiências e instrumentos específicos, encontrando resultados impressionantes e de fácil aprendizagem.

Como se percebe nas respostas das alunas A-43 e C-15, os conceitos apresentados pelos cientistas no passado, além de passar por momentos de verdadeiras revoluções, são diferentes. Essas perspectivas são bem próximas das ideias defendidas por diversos filósofos da ciência (Kuhn, Bachelard, Feyerabend) no que diz respeito à descontinuidade.

Questão 5 - Neste estudo histórico sobre a história da óptica evidenciamos em vários momentos que mentes ilustres como a de Isaac Newton tiveram sérias complicações na explicação de muitos fenômenos, ou ainda, deram explicações não tão convincentes para outros. Que importância você credita a questão do erro na História da Óptica? Os erros foram importantes para o desenvolvimento da ciência ou são equívocos para serem esquecidos e lamentados pelos futuros cientistas? Explique.

Categoria	Número de alunos
Os erros são essenciais	15 (76%)
Os erros não são importantes	5 (23%)
Uns são importantes e outros não	2 (1%)

Tabela 21: Respostas referentes à questão 5 do texto 3.

Nessa questão, esperava-se discutir o papel do erro na ciência, em uma perspectiva próxima à que é apresentada por Bachelard (1996). Para o autor, o erro faz parte da prática da ciência. Entretanto, a epistemologia mais tradicional trata o erro científico como algo a ser evitado e o erro escolar como uma etapa pernicioso no

desenvolvimento da aprendizagem dos alunos, desvinculando-os, assim, de qualquer processo de evolução.

Bachelard, por outro lado, considera o erro como inevitável e como parte integrante das etapas a serem superadas. É o afastamento gradativo dos erros que permite o avanço do conhecimento, sejam eles na ciência ou na escola.

Abaixo, mostram-se algumas respostas dadas pelos alunos a essa questão.

C-32: São equívocos, porque, com isso, os novos cientistas vão descobrir aos poucos.

A-43: Não, pois quem sabe os futuros cientistas não tentem reprovar esses livros e teorias.

A-08: Sim, houve muitos erros na ciência, mas esses erros geraram descobrimentos e acertos na ciência dos grandes cientistas, e isso é normal ter erros, só assim pode corrigi-los por acertos.

A-35: A importância que eu credito à questão do erro na história da Óptica é que foram através desses erros que hoje temos algo para estudar sobre os fenômenos luminosos. Os erros, certamente, foram importantes para a ciência, pois foi através desses erros que novos cientistas, acreditando assim, consertaram aquilo que era errado.

A-03: A importância é que com esses erros, eles conseguiram aprender mais com a ciência. Alguns erros foram importantes para a ciência, mas outros não, uns só foram equívocos dos cientistas.

É interessante notar a resposta do aluno A-03. Para ele, os erros, dependendo da situação, podem ou não ser considerados equívocos. Já para os alunos C-32 e A-43, são equívocos que podem prejudicar o prosseguimento da ciência. Finalmente, para os alunos A-08 e A-35, esses erros favoreceram o descobrimento de novos fatos, que se mostraram de suma importância no desenvolvimento da ciência.

4.4. Discutindo o júri simulado

Nesse momento, será discutida uma prática desenvolvida em sala de aula, chamada de júri simulado⁴⁶. Essa atividade foi desenvolvida nas duas turmas nas quais foi aplicado o curso. Em razão de algumas particularidades entre a aplicação nas duas turmas, diferente do que se veio fazendo, serão analisadas as duas práticas de forma separadas.

⁴⁶ Para maiores esclarecimentos sobre a prática, ver capítulo do percurso metodológico.

1º O júri simulado da turma 2º ano A:

Os participantes: 18 alunos



Figura 20: Professor abrindo o júri simulado.



Figura 21: Grupo responsável por defender a luz como partícula (esquerda) e grupo opositor, defensor da luz como onda (direita).



Figura 22: O júri popular do 2º ano A.

A prática do júri simulado serve como um momento de reflexão e síntese de todo o processo, um momento divertido e lúdico, quando os alunos têm a possibilidade

de manifestar o seu pensamento e, na medida do possível, re(construir) algumas de suas ideias sobre o assunto estudado em sala.

No que concerne à pesquisa, ele serviu também como uma dentre outras oportunidades de captar algumas concepções que os alunos detiveram ou detêm sobre a Natureza da Ciência. Essas e outras discussões serão feitas no transcorrer desta seção.

O júri pelo júri:

O início do julgamento foi feito pelo professor, que possuía um papel secundário de coordenador da prática, intervindo o mínimo possível nela. A seguir, a sua fala inicial.

1. **Professor:** (...) Lembrando que estamos no século XVIII e que tinha aquela *confusão*, um debate científico para se chegar à conclusão se a luz era onda ou partícula, como vocês vivem naquele período, vocês vão tentar argumentar como cientistas daquela época. A pergunta inicial é: será que a luz é onda ou partícula?

Nesse momento, os alunos deveriam formular uma tese inicial e apresentar ao outro grupo e ao júri popular, que esperavam atentos pelas suas falas iniciais... Deve-se observar que, para facilitar a compreensão das falas de cada grupo, foi colocado [O] nas falas dos alunos pertencentes ao grupo que defendia a luz como onda e [P] para os alunos defensores da luz como partícula.

Começa-se com a tese inicial do grupo que defende a luz como onda.

2. [O] **A-12:** Como vocês estão vendo, aqui a luz é ondulatório [veja abaixo o desenho usado pela aula para a sua argumentação]. Como o som que se propaga no ar, a luz também se propaga através de ondas. Se a luz fosse partícula ao passar pela janela, ela passaria reta, mas como não é ... [uma breve pausa] ela passa distorcida.



Figura 23: Desenho de uma janela por onde passa um feixe de luz utilizado como reforço na argumentação inicial do grupo defensor da luz como onda.

3. [O] A-12: Como eles têm certeza que a luz não é ondulatória e sim partícula?
4. [P] A-11: Porque Newton que falou. [uma breve pausa] Professor! Mas, ele falou? [a aluna mostrava um ar de dúvida]

O outro grupo (defensor da luz como partícula) não se vale do seu tempo para lançar uma tese inicial e já lança, inicialmente, um questionamento.

5. [P] A-23: Para enxergamos, Platão disse que era através de partículas. Como vocês explicam isso?
6. [O] A-12: Isso está errado! [risos] Se você pegar duas lanternas, a luz passa uma pela outra. Se fosse partícula, ela batia e voltava.
7. [O] A-32: Para *provar*, apaga a luz e vamos fazer o teste com a lanterna. É uma boa forma de provar. Mas tem que testar.

Abaixo, mostra-se a figura que representa a tentativa do grupo argumentar baseando-se em uma demonstração.



Figura 24: A aluna mostrando a interdependência dos feixes luminosos.

Na fala da aluna, pode-se perceber, ainda, a ideia de uso restrito do experimento para provar uma tese ou uma teoria. Essas visões sobre a Natureza da Ciência, na medida do possível, foram trabalhadas em aulas posteriores à prática.

O grupo que defendia a luz como onda continua a sua argumentação...

8. [O] A-27: Por que Newton não defendia sua opinião abertamente?
9. [P] A-11: Não estou entendendo. [ar de dúvida]
10. [O] A-12: Por que Newton não defendia sua opinião abertamente?
11. [P] A-11: Ele defendia, sim!
12. [O] A-27: Não, não defendia, não!
13. [O] A-27: Ele tinha muitas dúvidas. Ele respondia em forma de perguntas.
14. [O] A-12: Então, se a luz não fosse onda, como ela ia contornar um obstáculo sem dificuldades? É porque, simplesmente, a luz é onda.
15. [P] A-08: É não!
16. [P] A-23: Então, por que podemos escutar o som de uma orquestra por trás de uma montanha, mas não podemos ver? O som é onda, mas a luz, não.
17. [O] A-35: A luz passa, sim.
18. [P] A-11: Não passa.
19. [O] A-12: No rio, quando você mergulha, não vê a luz passando, não?
20. [O] A-23: Não, eu nunca mergulhei, não. [risos]
21. [O] A-12: A luz é produzida por vibrações e esta se propaga por impulsos ou ondas simples. Ela passa, sim, pela água.
22. [O] A-35: Se a teoria newtoniana fosse tão completa, por que precisou que a teoria ondulatória surgisse?

23. [P] A-11: Porque os cientistas queriam alguma coisa a mais...
24. [P] A-08: É só para se amostrarem, mesmo... [risos]
25. [O] A-35: É porque a teoria de Newton mostrava alguns problemas...
26. [P] A-11. É porque estava faltando alguma coisa e eles estavam tentando achar. Tentaram até achar.
27. [O] A-35: Mas tem alguma coisa errada nisso!
28. [P] A-08: É porque eles têm que pesquisar até achar o que falta.
29. [P] A-23: Concordo.

Nesse outro bloco de falas, podem ser levantadas algumas concepções de ciências bem interessantes mostradas pelos alunos no ardor do debate. São elas:

1. A ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais;

Na fala 23, a aluna A-11 apresenta a tentativa dos cientistas em explicar e buscar o novo. No episódio estudado, a busca por definir o que era a luz determinou o norte das pesquisas, fazendo avançar o estudo da Óptica daquele período.

2. Novos conhecimentos devem ser relatados abertamente e claramente;

Na fala 8, a aluna A-27 contesta por que Newton não defendia abertamente suas ideias. A aluna A-35, na fala 25, levanta a possibilidade de existirem erros nas argumentações e modelos de Newton.

3. A ciência é detentora de uma verdade objetiva, última e cabe ao cientista achá-la;

Observem-se as falas das alunas abaixo:

A-11. É porque estava faltando alguma coisa e eles estavam tentando achar. Tentaram até achar.
A-08: É porque eles têm que pesquisar até achar o que falta.

Nota-se que, para os alunos, os cientistas devem procurar e pesquisar até achar o que falta, um tipo de verdade última.

Voltando ao debate:

30. [P] A-11: Se a luz é onda, por que ela não atravessar o caderno ou uma folha?
31. Júri 1: Se a partícula é onda, por que não atravessa?
32. [P] A-11: O júri está comprado! [risos]
33. [P] A-23: Em momento algum falamos que a partícula não atravessa.
34. [O] A-35: Por que Newton não aceitava ter um embate científico com os outros?
35. [P] A-11: Porque Huygens não queria.
36. [O] A-35: É porque até ele mesmo tinha dúvidas.
37. [P] A-11: É porque os argumentos de Newton ficavam para ele.
38. [O] A-35: Até no livro que ele lança, tem uma questão que ele faz em forma de pergunta. Porque nem ele mesmo sabia.
39. [P] A-11: Mas, ele fazia experiências...
40. [O] A-12: Não, porque simplesmente só as experiências não valiam para a ciência. Tinha que ter os cálculos. Fresnel matematizou a teoria ondulatória, fazendo que a corpuscular perdesse espaços e a teoria ondulatória ressurgisse com mais força. Eles fizeram as experiências e os cálculos.

Nesse outro bloco, é possível perceber mais algumas concepções de ciências mostradas pelos alunos, que são:

1. A desmistificação do mito do gênio;

Na fala 36, a aluna A-35 levanta a possibilidade de Newton ter dúvidas sobre as suas argumentações, fato que explicava a sua rejeição por embates científicos. Continuando, a mesma aluna, na fala 38, retorna a argumentar em relação à insegurança de Newton sobre as suas ideias em relação à luz.

2. O conhecimento científico depende fortemente, mas não inteiramente, da observação, da evidência experimental, de argumentos racionais;

Na fala 40, a aluna A-12 argumenta que a experiência não pode ser o caráter único para a plena aceitação ou não de uma teoria.

Retornando ao debate:

41. [O] A-12: Newton só fez as experiências, cadê os cálculos dele...
42. [P] A-11: Não sei, mas ele fez... [risos]
43. [P] A-23: Você tem como provar que ele não fez?
44. [P] A-11: Eu exijo a nossa resposta!

A argumentação final:

45. [O] A-12: Para concluir, terminar logo, todo mundo já sabe que a luz é ondulatória. A luz é onda, pois se a luz fosse partícula, ao passar pelo prisma [as alunas utilizaram de demonstrações, conforme ilustram as figuras abaixo], ela sairia totalmente reta, mas, como é onda, ela sai distorcida. A luz, entrando no prisma, passa reta e sai totalmente torta. Se fosse partícula, ela saía reta. Aqui, embaixo, é penumbra, popular sombra. Se fosse partícula, a sombra sairia reta, mas como é onda sai distorcida.



Figura 25: Imagem utilizada pela aluna na sua argumentação final.

46. [P] A-23: Estou inspirada, agora. [risos] Olhe gente, a minha luz é partícula. A luz é propagada por um éter que penetra todo o espaço. A luz é propagada pelo éter, que é uma forma de partícula. Obrigada!
47. [P] A-11: Então, a luz é partícula.

O momento do pronunciamento do júri popular:



Figura 26: O pronunciamento do veredicto pelo júri popular.

48. Júri 1: Nós do júri achamos que a teoria ondulatória se saiu melhor. Eles argumentaram vários fatos que achamos interessantes. No final, o grupo que defendeu a luz como partícula não mostrou exemplos e não se saiu bem quando perguntado por que Newton não defendeu abertamente suas ideias. Mas, no final, a luz é onda ou partícula.

Observou-se um fato não esperado inicialmente: a conclusão do júri e dos alunos sobre a dualidade onda-partícula. Esse fato chamou a atenção, pois não foram feitas discussões nesse sentido nos textos históricos passados aos alunos nem nas discussões nesse sentido em sala de aula.

2º O júri simulado do 2º C:

Os participantes: 22 alunos



Figura 27: Professor abrindo o júri simulado do 2ºC.



Figura 28: Grupo defensor da luz como onda (esquerda) e grupo defensor da luz como partícula (direita).



Figura 29: Júri popular do 2º C.

O júri pelo júri:

Essa segunda versão do júri seguiu as mesmas regras e sequências do primeiro. Contudo, ele apresentou algumas particularidades relacionadas a complicações de argumentações de um grupo, bem como novidades sobre a Natureza da Ciência, que serão discutidas neste espaço.

A abertura:

1. **Professor:** (...) Lembrando que estamos no século XVIII e que tinha aquela *confusão*, um debate científico para se chegar à conclusão se a luz era onda ou partícula, como vocês vivem naquele período, vocês vão tentar argumentar como cientistas daquela época. A pergunta inicial é: será que a luz é onda ou partícula?

A voz foi passada aos grupos para lançarem suas teses iniciais. Começa-se pelo grupo que defende a luz com partícula.

2. [P] C-26: A gente acha que a luz é partícula. Um exemplo: se tem uma montanha e a gente está de um lado e tem uma banda do outro lado, a gente pode ouvir, mas não pode ver. Então, a luz é partícula.

3. [P] C-45: O som pode ser onda, mas a luz não é onda.

4. [O] C-17: Quem são os principais defensores da luz como onda? René Descartes, Robert Hooke e Christiaan Huygens. Ele [Christiaan Huygens] reforça a hipótese ondulatória de Hooke. Ele faz analogia com o som, que se propaga no ar e conclui que a luz também se propaga por meio de ondas... Newton, que é de vocês, não defendia abertamente suas teorias. Mesmo no seu livro, ele faz em forma de perguntas. Ele mesmo tinha dúvidas em relação ao que ele defendia. Ele ficava em cima do muro. Ele ficava em dúvida, mas queria que a tese dele fosse vencedora. E, ainda, Fresnel fundamentou matematicamente a teoria ondulatória, fazendo que a corpuscular perdesse mais espaços. Passo a palavra para vocês...

O grupo opositor (partículas) se manteve em silêncio por um tempo prolongado, até que o júri interrompesse:

5. Júri 1: Se o grupo não falar nenhuma palavra, o júri será encerrado dando a vitória ao grupo que defende a luz como onda...

O grupo que defendia a luz como partícula se mostrou muito inseguro, sem saber formular argumentos. Vários fatores podem ter contribuído para isso, desde a falta de uma preparação para a prática até mesmo a vergonha de falar em público.

De volta ao debate:

6. [O] C-05: Vamos, coloquem uma pergunta para aqui. Venha! [risos]

7. [P] C-27: Como era dada a explicação de Newton para a refração e difração? Por que ele estava errado?

8. [O] C-17: Você está fazendo uma pergunta de Newton para mim? Você está defendendo Newton, não quero saber de Newton, eu quero detonar Newton. Você está enrolado. [risos]

A sala se manteve em silêncio. A aluna C-17 continua a sua fala:

9. [O] C-17: O próprio Young teve o cuidado de mostrar que Newton também pensava na teoria ondulatória. Só que Newton dominava a Royal Society e tinha auxílio do rei e poderosos. Todo mundo tinha medo dele. Muita gente perdeu seu emprego e só ficava lá quem defendesse a teoria dele.

É interessante perceber que a aluna C-17 traz à tona a influência de fatores sociais e políticos na aceitação ou não de uma teoria.

A mesma aluna continua com sua argumentação:

10. [O] C-17: Vocês têm algo material para mostrar?

11. [P] C-02: Vocês têm?

12. [O] C-17: Tenho, porque de boca já falei demais.

13. [P] C-02: Mostra o seu material.

14. [O] C-17: Vocês estão vendo que a luz se cruza ao passar pelas duas lanternas. Se fossem partículas não se cruzariam.

Os alunos tentaram mostrar que dois feixes de luz, ao se cruzarem, passam um pelo outro. Para os alunos que defendiam a luz como onda, esse fato era um argumento forte contra o grupo que defendia a luz como partícula.

O outro grupo (luz como partícula) não contra-argumentou e o júri popular teve de intervir novamente:

15. Júri 1: Segundo o tribunal do 2º ano C, de acordo com a lei tal, tal, tal, devido à falta de argumentações do grupo que defende a luz como partícula, declaro o júri encerrado.

O momento do pronunciamento do júri popular:

16. Júri 1: Os dois grupos tentaram argumentar. Eles apresentaram muito bem, apesar do grupo (luz com partícula) não ter falado o que esperávamos. Eu, junto com meu amigo, cheguei à conclusão que o grupo vencedor é o grupo de C-15 [ondulatória] porque ela conseguiu explicar e fazer que eu entendesse bem. Uma coisa contra o grupo

da luz como partícula é que eles chegaram a afirmar que Newton não defendia a luz como partícula, foi esse o estopim da questão. A conclusão que chegamos é que a luz é tanto onda como partícula. Dependendo da ocasião, ela vai ser onda ou partícula.

Como no outro júri simulado, os alunos também chegam à mesma conclusão de que a luz é onda ou partícula, dependendo da ocasião, consoante justifica o júri popular.

4.5. A atividade final: encerrando uma caminhada...

Essa atividade foi um momento de fechamento do curso, quando os alunos se posicionaram quanto à aceitação de um curso de natureza histórica, opinando sobre as práticas desenvolvidas em sala de aula.

Ainda nessa atividade, pretendia-se verificar a aprendizagem sobre alguns aspectos da Óptica, além de acessar algumas concepções sobre Natureza da Ciência mantidas pelos alunos no curso.

Abaixo, serão discutidos alguns resultados dessa última atividade, da qual participaram 25 alunos.

Questão 1 - Como enxergamos um objeto? O que é necessário para que possamos ver uma caixa, por exemplo? Faça um desenho que ilustre a sua opinião. Em seguida explique, com suas palavras, o que você desenhou.

Essa questão, novamente, retoma uma das perguntas iniciais (Como você enxerga um objeto?) com base na qual se pretendia, em sala de aula, fazer uma discussão sobre sua atual explicação científica. Note-se que, apesar de toda discussão acontecida em sala de aula, alguns alunos resistem em manter as suas explicações, fundamentadas em determinadas concepções alternativas mostradas, por exemplo, em Dedes (2005).

Modelos de visão	Quantidade de alunos
Modelo científico	7 (28%)
Olho emite um raio visual	7 (28%)
Miro ou fixo o olhar no objeto	7 (28%)
Modelo de Platão	2 (8%)
Banho de luz	1 (4%)
Em branco	1 (4%)
Total	25 (100%)

Tabela 22: Respostas à questão 1 da atividade final.

Abaixo, são mostradas algumas justificativas dadas pelos alunos. Observe-se que, em alguns casos, colocam-se desenhos a fim de elucidar as discussões sobre as respostas dadas pelos discentes.

A discussão será iniciada mostrando umas das explicações coerentes com a explicação científica atual. Atente-se para o desenho proposto pela aluna A-35.

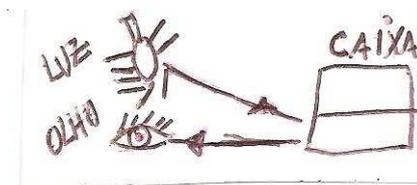


Figura 30: Desenho extraído da resposta à questão 1 da aluna A-35.

Como se pode observar no desenho acima, a aluna A-35 caracteriza a necessidade da fonte, fazendo valer o binômio visão-luz, descaracterizado em algumas respostas e desenhos, segundo se verá a seguir. Abaixo, transcreve-se a justificativa dada pela aluna à questão.

A-35: O que eu desenhei é bem simples, eu mostrei que através da luz iluminadora, a qual ilumina o ambiente, quando olho para uma caixa, ela reflete a luz para o olho, com isso podemos enxergar o objeto.

Entretanto, outras justificativas, que não remetem à explicação científica, em muitos casos, descaracterizam a necessidade de uma fonte de luz para que se possa enxergar um objeto. Esses desenhos estão representados nas justificativas, por exemplo, dos alunos C-10 e A-08.

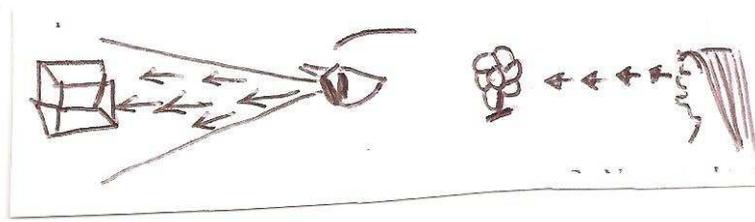


Figura 31: Desenhos extraídos das respostas à questão 1 da atividade final dos alunos C-10 e A-08.

Os desenhos acima são representativos da categoria “emitimos um raio visual”. Nota-se que, nos desenhos, o binômio visão-luz é descaracterizado pelos alunos tanto nos desenhos como nas respostas escritas, conforme se pode perceber nas transcrições das respostas dos alunos.

C-10: Em minha opinião é que o nosso olho emite um fluxo da imagem emitida pelo olho.

A-08: Com os olhos, mas é necessário que tenhamos a visão para enxergar algo.

Outra categoria muito referendada pelos alunos é que, para se enxergar um objeto, é preciso que se fixe o olhar em direção a ele. O desenho da aluna A-29 é bem característico desse tipo de justificativa. Para a aluna, “Através da luz podemos enxergar os objetos”.



Figura 32: Desenhos extraído da justificativa da aluna A-29 para a questão 1 da atividade final.

Nessa categoria, é interessante explicitar a ocorrência de palavras-chaves nas justificativas dos alunos, como “fixar o olhar” ou “lançar o olhar em direção ao objeto”.

Outra justificativa recorrente diz respeito a um modelo de visão que possui um paralelismo com o modelo proposto por Platão, na Antiguidade Grega, para a questão. Nesse modelo, o objeto funciona como um epicentro que recebe tanto um raio visual advindo do olho do observador como um feixe de luz emitido por uma fonte luminosa. Abaixo, é mostrado o desenho, feito pelo aluno C-16, que é representativo desse modelo.

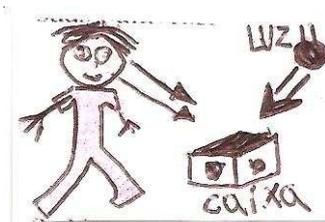


Figura 33: Desenho extraído da resposta do aluno C-16 à questão 1 da atividade final.

Como se pode observar, dos dados retirados da tabela 22, embora o nível de aprendizagem não tenha sido o máximo, pode-se perceber a existência de alunos que alcançaram a explicação científica e de outros que se alternaram entre as concepções alternativas e a explicação científica, mostrando que abandonar as concepções alternativas não é tarefa tão fácil. Em relação a isso, a Didática das Ciências já vem mostrando que os alunos não abandonam, por completo, as concepções alternativas, mesmo depois de um estudo formal sobre o assunto.

Nessa direção, os estudos de Bachelard (1996) sobre o perfil epistemológico, mesmo não sendo direcionado diretamente para a educação científica, vêm ajudar a entender o que acontece nessas situações. Para o autor, a existência de diferentes zonas do perfil epistemológico pode implicar na escolha da explicação científica ou de outras zonas relacionadas a concepções alternativas nas justificativas de questões científicas.

Como aponta Martins (2007b), diferentes indivíduos apresentam diferentes perfis, adquiridos das suas vivências, sejam elas no dia-a-dia ou por um estudo formal de determinado conceito científico. Então, não é de se estranhar que em situações diferentes, os alunos acessem zonas diferentes dos seus perfis epistemológicos construídos sobre esse ou outro tema.

Ainda, para Martins (2007b),

outro ponto importante no entendimento da noção de perfil é a percepção que há uma permanência das ideias filosóficas no desenvolvimento intelectual de cada indivíduo, ou seja, a superação de obstáculos e a construção progressiva de outras zonas do perfil não implicam o desaparecimento automático de concepções anteriores (MARTINS, 2007b, p.42-43)

Nesse sentido, este trabalho converge com os estudos realizados por Bachelard (1996) e por Martins (2007b) no que diz respeito à permanência de concepções anteriores, que podem ser acessadas pelos alunos em diferentes situações para tentarem

explicar a presente questão. Isso valeria também para as concepções dos alunos referentes ao processo da visão.

Em especial, esta pesquisa enfatiza que o conhecimento do docente sobre essas concepções alternativas pode se transformar em um momento único para discussões do limite desses modelos alternativos criados pelos alunos. Entretanto, este estudo diverge das práticas que, na sua natureza, tendem a tratar as concepções alternativas dos alunos como erros grosseiros ou equívocos.

Questão 2 - No estudo da história da óptica, verificamos que estudiosos como Hooke, Newton e Young se valeram de experimentos nas suas explicações sobre a luz. Você acha que as teorias desses estudiosos foram formuladas a partir dos resultados desses experimentos? Justifique sua resposta.

Essa questão remete a outra questão feita em outro momento, na questão 3 do texto 3. Também foi feito um questionamento nessa direção. Naquela ocasião, houve uma porcentagem de 81% dos alunos participantes justificando o caráter decisivo do experimento para validar uma teoria, contra 19% dos alunos afirmando que o experimento não é tão decisivo na validação de uma teoria, apontando, inclusive, outros fatores determinantes à sua validação.

Agora, nesta questão em especial, pretendia-se verificar algo parecido: se os modelos e teorias brotam dos experimentos.

Os resultados desse novo questionamento apresentaram a seguinte situação:

Categoria	Número de alunos
Os modelos foram criados a partir do experimento	17 (68%)
Os modelos não foram criados a partir do experimento	8 (32%)
Total	25 (100%)

Tabela 23: Respostas à questão 2 da atividade final.

Embora ocorra uma diminuição na natureza empirista dos alunos, no que diz respeito ao caráter finalista do experimento para validação de uma teoria (redução de 13%), nas suas respostas, a importância extrema do experimento, mesmo que reduzida, ainda é latente. Abaixo, alguns trechos selecionados de respostas dos alunos da categoria “os modelos foram criados a partir do experimento”.

C-10: Sim, eles precisavam de uma prova concreta para convencerem os estudiosos da época (grifo nosso).

A-27: Sim, porque certamente obtinham resultados dos experimentos feitos, por isso mesmo é que quando qualquer um desses grandes cientistas tentaram explicar o que seria a luz, baseavam-se nos resultados dos experimentos feitos.

A-35: Acredito sinceramente que sim, pois se eles formulavam alguma coisa é porque certamente obtinham resultados dos experimentos, por isso mesmo é que quando qualquer um desses estudiosos citados acima tentaram explicar o que seria a luz se valiam dos resultados dos experimentos.

Contudo, antes de uma análise mais detalhada, devem-se comparar as respostas das alunas A-27 e A-35 nos dois momentos:

Aluna	Questão 3 do texto 3	Questão 2 da atividade final
A-27	Acredito que sim, as experiências e as críticas serviram para os cientistas daquela época se aprofundar nos estudos para chegar a uma conclusão e terem uma boa fundamentação teórica, ou melhor, terem uma boa explicação para todas as perguntas principalmente para descobrir o que era a luz.	Sim, porque certamente obtinham resultados dos experimentos feitos, por isso mesmo é que quando qualquer um desses grandes cientistas tentaram explicar o que seria a luz, baseavam-se nos resultados dos experimentos feitos.
A-35	Eu acredito que sim, eles foram decisivos para validar as teorias que tinham por ambição explicar o que era a luz. Acho que foi através desses inúmeros experimentos que hoje temos uma noção do que seria a luz, pois, com certeza, alguns desses experimentos devem ter dado certo, é por isso que eu acredito que tenha sido válido.	Acredito sinceramente que sim, pois se eles formulavam alguma coisa é porque certamente obtinham resultados dos experimentos, por isso mesmo é que quando qualquer um desses estudiosos citados acima tentaram explicar o que seria a luz se valiam dos resultados dos experimentos.

Quadro 9: Comparativo entre as respostas das questões 3 da atividade 3 e da questão 2 da atividade final das alunas A-27 e A-35.

O outro grupo (os modelos não foram criados a partir do experimento) apresentou algumas respostas em outra direção. A seguir, selecionaram-se algumas dessas respostas.

A-03: Em minha opinião não, porque algumas dessas teorias desses estudiosos tiveram muito sucesso antes de alguns desses resultados.

A-11: Não, pois só os experimentos não conseguem provar nada.

C-17: Não, eles já tinham essas ideias na cabeça, os experimentos vieram só para comprovar ou para desfazê-las.

Uma característica interessante, que emerge das respostas dos alunos, é que, em muitos casos, os cientistas faziam experimentos, mas esses não seriam o seu ponto de partida. Nesses experimentos, os cientistas já vinham com ideias e teorias pré-formadas, como afirma a aluna C-17, descaracterizando uma observação neutra e desprovida de opiniões, teorias e modelos.

Contudo, não se quer, aqui, descaracterizar a importância do experimento na ciência, mas passar para os alunos uma visão de ciência, conforme a qual o experimento não seja encarado como experimento crucial e como origem de todo o conhecimento científico, representando o fator determinante na aceitação ou negação de uma teoria científica.

Questão 3 - Na história da óptica percebemos o duelo entre dois modelos que tinham por pretensão explicar o que era a luz (modelo corpuscular e modelo vibracional - ondulatório). Você é capaz de dar argumentos em defesa de um ou de outro? Você acredita que algum dos modelos é mais correto do que o outro?

No estudo histórico, mostrou-se o embate científico existente entre dois modelos: um corpuscular e outro vibracional-ondulatório. Nessa questão, queria-se que os alunos se posicionassem perante esse ou aquele modelo.

Entretanto, um fato, mesmo que de certa forma esperado, chamou a atenção, que foi a conclusão dos alunos de que a luz pode se comporta tanto como partícula ou como onda, antecipando o princípio da dualidade onda-partícula. Vale ressaltar que o professor-pesquisador não chegou a essa conclusão, nem mesmo fez discussões neste sentido em sala de aula.

Portanto, algumas das respostas dos alunos convergiram para essa conclusão chegada pelos alunos em sala de aula. Na tabela que segue, encontram-se os resultados:

Categoria	Número de alunos
Ambos os modelos	15 (60%)
Modelo vibracional-ondulatório	5 (32%)
Em branco	3 (8%)
Modelo corpuscular	2 (8%)
Total	25 (100%)

Tabela 24: Respostas à questão 3 da atividade final.

Abaixo, mostram-se algumas das justificativas dadas pelos alunos a essa questão.

C-32: Acho que o mais correto era a teoria ondulatória, pois se fosse partícula quando se bate em algum obstáculo, depois de algum tempo, haveria acumulação de algum resíduo luminoso.

A-35: Sim, eu sou capaz de dar argumentos em defesa dos dois, pois as duas teorias estão certas, porque uma precisa da outra para que a luz possa existir, pois senão tivesse a junção das duas teorias não existiria a luz. Eu acredito que a luz exista ou dependa mais da onda, por isso é que acredito que a onda seja mais correta.

A-27: Sim, são argumentos que vão defender as duas teorias, porque em minha opinião, as duas estão corretas, uma precisa da outra para definir o que é a luz, pois senão tivesse a junção das duas, as teorias não existiriam, nem tão pouca a luz.

A-05: Eu acho que estão corretos os dois, mas acredito na teoria da partícula, pois ela, a luz, é fótons (partícula sem massa).

A-23: Eu seria capaz de argumentar em defesa de um. Mas dizer qual é o mais correto fica difícil, porque as duas estão corretas. A luz se transporta como uma onda, mas reage como partícula. A verdade é que todas as partículas têm propriedades de onda.

Observando-se, inicialmente, o argumento do aluno C-32, nota-se que, para ele, se a luz fosse partícula, no contato com um corpo, a luz deixaria resíduos luminosos⁴⁷. Em sua concepção, como isso não acontece, esse fato seria um argumento interessante contra o modelo corpuscular da luz.

As alunas A-05 e A-23, nas suas respostas, trazem contribuições que não eram esperadas, pois foi solicitado, mas não exigido, aos alunos que se detivessem aos materiais distribuídos em sala e às discussões realizadas para responder às questões das atividades. Entretanto, as atividades não traziam enunciados com “as partículas têm propriedades de onda” nem discussões sobre o que eram fótons. Mas esse fato pode

⁴⁷ Em um momento posterior, o professor pesquisador pediu para que o aluno se posicionasse diante da seguinte situação: se a luz (por exemplo, a luz do sol) não fosse partícula, como ela queimaria uma folha de papel? Isso não seria uma evidência de que a luz deixa resíduos luminosos no corpo que atinge? Vale deixar claro que o professor não quis se posiciona a favor desses ou de outros modelos. Esse questionamento valeu como reforço das discussões que vinham sendo feitas sobre os modelos os quais tinham por ambição explicar o que é a luz.

evidenciar o interesse dos alunos ⁴⁸ para a nova metodologia e outras interpretações, por exemplo, a influência do contexto extra-escolar.

Todavia, uma visão não tão correta ficou no imaginário dos alunos, a de que as duas teorias estão corretas. Esse fato terminou se espalhando nas duas turmas participantes do curso, pois alguns alunos chegaram, de forma antecipada, a um enunciado bem próximo do princípio da dualidade onda-partícula. Esse fato isolado levou os alunos a acreditarem que os dois modelos estavam corretos, como se pôde observar. Embora, nas respostas dos alunos, apareçam que ambos os modelos estão corretos, quando se observam as justificativas dos alunos A-05 e A-35, mesmo acreditando na ideia de ambos os modelos serem corretos, eles posicionam-se a favor de um dos modelos. Esse fato repetiu-se com os demais alunos.

Apesar de que o episódio de antecipação de um enunciado bem próximo do princípio da dualidade onda-partícula seja um ponto favorável e interessante, pode-se notar uma ideia equivocada dos alunos sobre os modelos: todos são corretos.

Isso levou o professor, mesmo que não previsto no seu planejamento, a preparar uma nova intervenção (em forma de aula expositiva), mostrando os limites de cada modelo, desmistificando a ideia de que todos os modelos estão corretos.

Questão 4 - O que podemos aprender sobre o desenvolvimento da ciência a partir do estudo da história da óptica?

Essa questão sugeria que o aluno se posicionasse ante o desenvolvimento da ciência. Entretanto, por ser uma questão bem aberta, as respostas que se seguiram mostraram-se bem diversas. Contudo, houve certa tendência à chave de resposta, pois, dos 25 alunos que fizeram a última atividade, 4 apontaram o desenvolvimento da ciência em momentos de crises e rupturas e 4 apontaram a característica acumulativa da ciência.

Todavia, como já se afirmou, a natureza da questão motivou outras justificativas, como:

*C-32: A óptica foi se desenvolvendo e se aprimorando através de experimentos e discussões entre cientistas da época e de épocas posteriores.
A-06: A ciência evolui com o erro e ele é parte fundamental da evolução de uma teoria.*

⁴⁸ O professor, em um momento posterior, abordou as alunas e elas justificaram que fizeram outras leituras em livros e sites da internet sobre o assunto.

C-17: Desenvolvimento, novas descobertas e o crescimento do ser humano como cientista.

A-08: Podemos aprender que sempre a ciência está aumentando e se renovando cada vez mais e que tudo que a ciência mostra se torna interessante para as pessoas.

A-31: Podemos aprender que sempre podemos inovar, ou seja, nunca é tarde para descobrir coisas novas, assim como Newton descobriu muitas coisas podemos descobrir também e ver que a ciência nunca acaba.

C-35: Foi a partir do estudo da óptica que as pessoas começaram a entender e valorizar os estudos científicos, consagrando gênios da física como Newton e Young.

Podem-se observar outras justificativas bem interessantes, a exemplo da importância do experimento e do erro na ciência, o que foi discutido pelas questões e em momentos anteriores.

As alunas C-17 e A-08 trazem o lado social da ciência, mostrando o interesse da população pela ciência. Já a aluna A-31 desmistifica a ideia de que o cientista é uma pessoa iluminada, afirmando que ela própria também pode descobrir fatos novos, assim como Newton o fez.

Entretanto, a aluna C-35 vai na contra-mão da aluna A-31, exacerbando o mito dos gênios da Física.

Questão 5 - Nas aulas de física desse bimestre, realizamos estudos sobre a história da óptica. Em sua opinião, quais foram os aspectos positivos e negativos dessa abordagem?

Essa questão, como a anterior, é bem aberta. Os alunos deveriam se posicionar sobre a abordagem histórica. Abaixo, estão algumas das falas dos alunos que avaliaram a metodologia utilizada neste curso.

A-23: O debate foi muito positivo, porque a gente discutiu e chegou a uma conclusão, e nos divertimos muito, foi um máximo. Gostei também de ler os textos, só assim, a gente aprendeu um pouco sobre as teorias da luz. Não gostei dos resumos.

C-16: Positivos: conhecemos várias coisas sobre a luz e a visão, como é a nossa visão, enxergar um objeto. Negativo: eu acho que foi a má participação de alguns alunos durante a aula.

A-03: Teve vários aspectos positivos, um deles é que nós podemos aprender que a luz é uma onda e também uma partícula. Em minha opinião, não teve nem um aspecto negativo.

C-17: Esclarecimentos mais compatíveis com a nossa linguagem e o nosso dia-a-dia.

Outros trabalhos dessa natureza (SOUZA, 2008; FORATO, 2009) relatam a dificuldade ocorrida no trabalho com os textos históricos. Para os autores, o uso do texto histórico é imprescindível. Entretanto, para os alunos, a leitura de textos se torna

uma tarefa não tão desejável, pois, em muitos casos, os discentes não possuem o hábito diário da leitura. Apenas uma aluna, a A-23, comenta sobre a solicitação de resumos no final de cada leitura. Para ela, isso foi um fator negativo para a metodologia, pois dava muito trabalho.

Todavia, entende-se que a solicitação dos resumos ajudou os alunos na organização de suas ideias sobre cada texto, facilitando a sua compreensão e a resolução das questões.

Uma linha de justificativa muito abordada pelas respostas foi a aprendizagem atrelada ao mecanismo da visão e sobre as teorias da luz, como abordado pelos alunos C-16 e A-03.

De maneira geral, os argumentos a favor e contra a metodologia aplicada mostraram-se de forma bem sucinta, não tendo os alunos se posicionado de forma clara sobre o que acharam do curso.

Acredita-se que a posição do pesquisador, como professor da sala ao mesmo tempo, possa ter inibido os alunos a avaliar a prática desenvolvida com eles ou, pelo menos, ter-lhes causado receio em fazê-lo.

Entretanto, vale ressaltar que não se pode considerar somente a atividade final como um único momento de avaliação. Neste curso, houve outros momentos para avaliar os alunos no que diz respeito tanto à aprendizagem da ciência quanto à aprendizagem sobre a ciência

No próximo capítulo, serão feitas as considerações finais, nas quais será desenvolvida uma reflexão sobre toda essa jornada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredita-se que a jornada que se iniciou não se acaba aqui. Entretanto, neste capítulo de encerramento, é feito um resumo de toda caminhada traçada para contestar uma metodologia bastante discutida na literatura: o ensino da Óptica Geométrica, ministrada no ensino médio, baseada estritamente em raios e ângulos, que, em muitos casos, se tornam sem significação para os alunos, devido à falta de contextualização com o mundo vivenciado por eles e os conteúdos científicos estudados na escola.

Entende-se, neste trabalho, que o formalismo geométrico, que em muitos casos é dado ao ensino da Óptica no ensino médio, acaba dificultando a discussão de concepções alternativas dos alunos, bem como dificulta a compreensão de elementos da Natureza da Ciência.

Em muitos casos, os raios de luz, que são apresentados aos alunos, não abarcam uma discussão fundamentada do por que do seu uso. Dessa forma, reforçam algumas concepções alternativas, como a ideia de que a visão independe de a luz atingir o olho ou, ainda, a concepção de *raios visuais*. Nesses mesmos casos, a fonte luminosa é, na verdade, quase desconsiderada, ao passo que as explicações se dirigem para alguns objetos com os quais a luz interage.

Todavia, esta pesquisa não se posiciona contra o uso dos raios de luz no ensino da Óptica, mas é contrária às práticas que desvinculam, por completo, a significação dessa ferramenta, tornando-a apenas um ilustrativo em sala de aula e reforçando somente as concepções alternativas dos alunos.

Do outro lado, está a postura de alguns docentes que, em alguns casos por falta de uma melhor formação, desconsideram as respostas dos alunos, analisando-as como erros grosseiros. Com esse posicionamento, os docentes perdem um ótimo momento de discussão em sala, tomando como ponto de partida os erros dos alunos, que possuem, alguns deles, um paralelismo com teorias ou modelos científicos desenvolvidos no passado. Os professores podem, nesse momento, desenvolver uma discussão sobre os limites de cada modelo apresentado pelos alunos, possibilitando um alargamento dos modelos teóricos até o modelo científico vigente⁴⁹.

⁴⁹ Não se defende aqui uma mudança conceitual estrita. Como já discutido neste trabalho, este estudo é adepto da existência de ambos os modelos nos alunos, o científico e o alternativo. Entretanto, pretende-se mostrar os limites dos modelos alternativos, possibilitando a aprendizagem do modelo científico vigente.

Para tal tarefa, procurou-se, neste trabalho, inserir tópicos de História da Ciência como uma proposta alternativa de trabalho, tentando, entre outras coisas, dar um maior sentido ao estudo da Óptica, até mesmo ao uso desse formalismo geométrico, fundamental para a Óptica.

Para tanto, partiu-se de estudos de episódios da História da Óptica, no caso específico, algumas controvérsias existentes sobre a natureza da luz. A partir desse estudo, foram montadas as atividades e práticas de ensino.

Entretanto, para cumprir tal tarefa, era preciso se dedicar a alguns elementos necessários para aproximar a História da Ciência, a Natureza da Ciência e o ensino da Óptica. Esses estudos foram sintetizados no primeiro capítulo deste trabalho.

Tais estudos foram importantes porque mostraram várias possibilidades de utilizar a História da Ciência em sala, facilitando a idealização do planejamento das aulas encontrado no apêndice 1. Isso serviu de auxílio, dentre outras coisas, para trabalhar as concepções alternativas dos alunos. Esse fato levou à criação de atividades que partissem do seguinte ponto: as concepções alternativas dos alunos sobre luz e visão.

Embora não houvesse um instrumento específico para medir a concepção inicial dos alunos sobre o que é ciência, pois não era objetivo deste trabalho, no decorrer das aulas existiu a possibilidade de questionar algumas ideias equivocadas sobre a ciência mostradas pelos alunos, estivessem elas nas discussões em sala de aula ou nas respostas às questões dos textos históricos.

No capítulo destinado à História da Óptica, foi desenvolvido um estudo sobre alguns modelos que pretendiam explicar o processo de visão. Esse estudo inicial serviu como pano de fundo do que viria a seguir: uma breve discussão sobre os principais modelos explicativos da luz, com destaque para os modelos dos séculos XVII, XVIII e XIX, quando a controvérsia do que seria a luz teve seu auge.

Ainda nesse capítulo, foi desenvolvido, baseando-se nas controvérsias explicitadas acima, um estudo sobre alguns fenômenos ópticos: reflexão, refração, difração e interferência. Baseando-se nesses estudos, foram montados os textos históricos, bem como as discussões sobre aspectos físicos da luz, expandindo até aspectos da Natureza da Ciência extraídos do episódio histórico estudado.

Viu-se que a influência newtoniana, na primeira metade do século XVIII, foi determinante para a aceitação do modelo corpuscular, mostrando que o seu posto ocupado na sociedade foi decisivo para uma melhor aceitação do modelo corpuscular

naquele período. Isso facilitou a demonstração aos alunos de que a ciência sofre, seguramente, influências do meio social, político e econômico.

Esse fato histórico muda de cara na segunda metade do século XVIII, quando pontos conflitantes, lacunas e erros no modelo corpuscular são evidenciados, mostrando que, por mais incrível que pudesse parecer e para a surpresa dos alunos, o mesmo *gênio da mecânica*, que foi exaustivamente estudado pelos alunos no primeiro ano, cometeu erros. Nesse momento, foi possível, dentre outras coisas, desmitificar o mito do gênio.

Com esse estudo, pode-se idealizar e montar o percurso metodológico, por meio do qual foram apresentadas todas as ferramentas que seriam usadas na pesquisa. Além disso, apresentaram-se os sujeitos da pesquisa, o ambiente e as práticas que foram desenvolvidas, enfatizando o júri simulado, que se mostrou uma atividade prazerosa para os alunos.

Entretanto, para se chegar até o júri simulado, houve um longo caminho a ser percorrido, representado por atividades as mais variadas: demonstrações experimentais, filmes, discussões em grupos, leituras de textos históricos e resoluções de questões relacionadas aos textos históricos.

No capítulo referente aos resultados, procurou-se fazer uma análise da aplicação das atividades, bem como de toda a estratégia apresentada nesse curso.

Um fato inicial que chamou atenção, mas que era, até certo ponto, previsível, diz respeito ao primeiro instrumento de coleta de dados, que foi a atividade diagnóstica. Nessa atividade, nenhum aluno se aproximou da resposta científica vigente para a questão: “como podemos enxergar um objeto? O que é luz?”.

As demais atividades (filmes e demonstrações experimentais), de natureza não histórica nem filosófica, mostraram-se importantes para estimular questionamentos futuros no curso.

Já no que diz respeito à aplicação e desenvolvimento dos textos históricos, pode-se afirmar que muitos obstáculos, mas não intransponíveis, surgiram na trajetória, como, por exemplo, o fato de os alunos não serem acostumados a trabalhar com textos, resumos, leituras e discussões em grupo.

O tamanho dos textos históricos e a quantidade dos textos foram fatos classificados, por alguns alunos, como negativo. Compreende-se que é difícil o trabalho com a HFC sem a utilização de tal ferramenta, pois ela serve para introduzir os alunos às teorias e às discussões históricas.

Outro fato, embora não preponderante, foi a filmagem de algumas aulas, o que inibiu, de início, os alunos. Nesses primeiros momentos, as discussões foram prejudicadas por esse fato, mas, com o passar do tempo, os alunos acostumaram-se e esse problema foi resolvido.

Quanto à leitura dos textos, ela mostrou-se, às vezes, difícil para os alunos, pois alguns trechos, devido à sua natureza, remetiam diretamente a trechos de vários originais, alguns de uma linguagem mais rebuscada.

Ainda em relação aos textos históricos, existia uma preocupação inicial com as questões que seriam respondidas pelos alunos. As questões iniciais deveriam sugerir um ambiente de comodidade e praticidade. Portanto, para alcançar esse objetivo, as primeiras questões eram facilmente encontradas no texto, logo, não era requerido dos alunos um momento de reflexão para a sua resolução. Por consequência, as respostas a essas questões ficaram marcadas por recortes de trechos selecionados dos textos.

Todavia, as demais questões requeriam uma maior reflexão dos alunos. Em razão dessa exigência, algumas não foram respondidas. No entanto, os índices de aproveitamento dessas questões podem ser considerados como favoráveis, pois, na sua maioria, refletiam a chave de resposta e possibilitavam discussões relacionadas à Natureza da Ciência.

Em relação à Natureza da Ciência, podem-se realizar algumas discussões que possibilitaram melhorias no imaginário dos alunos sobre a natureza do conhecimento científico. Pode-se citar, por exemplo, a desmistificação do mito do *gênio*, por meio da qual se pode mostrar que até mesmo Isaac Newton apresentou alguns escorregões no que diz respeito às suas convicções sobre a natureza da luz e em relação a alguns fenômenos ópticos.

Mesmo com todos esses pontos positivos, houve um pouco de descompromisso por parte de alguns alunos, que, embora não de modo recorrente, deixavam de entregar alguns resumos, não frequentavam algumas aulas e não participavam das discussões em grupo. Ainda sobre os alunos, alguns estiveram ausentes de sala de aula por certo tempo, mostrando um ritmo diferente dos demais alunos. Com esses discentes, foi preciso realizar um acompanhamento mais próximo para que ocorresse um nivelamento com os demais.

Apesar de esse, como outros alunos, trabalharem, o que dificultava a leitura dos textos históricos fora do ambiente físico escolar, o interesse em debater alguns episódios históricos, como a influência de Newton na Royal Society e no ambiente social e

cultural da Inglaterra, despertou o interesse de vários alunos a aspectos da Natureza da Ciência. Nesse ponto, era comum os alunos perceberem os interesses em jogo que, de certo modo, ocorriam no ambiente científico daquela época.

Ao término de aplicação e discussão dos textos históricos, foi desenvolvida a prática do júri simulado, ponto crucial do curso, na qual os alunos tiveram a oportunidade de mostrar os seus aprendizados em um debate, que simula um julgamento, divertido e muito disputado.

Para terminar essa jornada, na última atividade, foi solicitado aos alunos que se posicionassem diante da aceitação ou não dessa nova metodologia. Dentre alguns resultados, foi possível destacar a ampla aceitação ao júri simulado e às discussões feitas em grupo nas salas de aula.

De forma geral, a aceitação de uma unidade didática de natureza histórica, pela qual os alunos pudessem perceber os jogos de interesses que permearam as discussões naquela época, de forma mais incisiva nos séculos XVII e XVIII, possibilitou um melhor entendimento de questões relativas à Natureza da Ciência.

Na análise e aplicação de todo o curso, compreendeu-se que houve um entendimento do problema proposto. Mesmo que a atividade final mostre, em alguns casos, que há um retorno às concepções iniciais, esta pesquisa conclui que o curso logrou êxitos ao mostrar uma nova forma de se aprender ciência e de se aprender sobre a ciência, às vezes de forma lúdica, engraçada e contestadora.

Já no que diz respeito à minha própria fundamentação, acredito que esse trabalho serviu como um momento de iniciação científica ausente na minha graduação e possibilitou-me a inserção de discussões mais amplas nos congressos dos quais tive a oportunidade de participar, ajudando a me situar em uma comunidade científica, mostrando, dentre outras coisas, que é possível procurar melhorias não só para os alunos que participam diretamente ou não das aulas ministradas, como também para mim, que passo a conhecer novos fundamentos, melhorando, assim, minha prática docente e de pesquisa.

Portanto, acredito que o diferencial para a minha prática foi o constante contato com o meu objeto de pesquisa, fato que me possibilitou uma ampla renovação do meu próprio exercício docente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÚRIZ-BRAVO, A. **Uma introducción a la natureza de la ciência:** La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales. 1ªed. Buenos Aires: Fondo de Cultura Econômica, 104p, 2005.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico:** contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Tradução de Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. 316p.

BARROS, M. A.; CARVALHO, A. M. P. A História da Ciência iluminando o ensino de visão. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 5, n. 1, p.83-94, 1998.

BASSALO, J. M. F. **A Crônica da Ótica Clássica.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 3, p.138-159, 1986.

_____. **A Crônica da Óptica Clássica.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.4, p.140-150, 1987.

_____. **A Crônica da Óptica clássica (PARTE III: 1801-1905).** Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.6, p.37-58, 1989.

BATISTA, I. L.. O Ensino de Teorias Físicas mediante uma Estrutura Histórico-Filosófica. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 10, n. 3, p.461-476, 2004.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA. **Parâmetros Curriculares Nacionais** – Ensino Médio. Brasília: 2002.

CAMPANARIO, J. M. Investigacion y desarrollo: Ventajas e Inconvenientes de la historia de la ciencia como recurso en la enseñanza de las ciencias. **Revista de Enseñanza de La Física**, Madrid, v. 11, n. 1, p.5-14, 1998.

COHEN, I. B.; WESTFALL, R. S. **Newton:** Textos-Antecedentes-Comentários. Rio de Janeiro: Eduerj, 2002.

CROMBIE. A.C. **Historia de la Ciência:** de San Agustín a Galileo. Madrid. Alianza Editorial, v.1, 1980.

DEDES, C. The Mechanism of vision: conceptual similarities between historical models and Children's representations. **Science & Education**, v.14, p. 699-712, 2005.

EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. In: SILVA, C. C. **Estudo de História e Filosofia das Ciências:** subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, p. 3-21, 2006.

FORATO, T. C. M; MARTINS, R. A; PIETROCOLA, M. Teorias da luz e Natureza da ciência: elaboração e análise de curso aplicado no ensino médio. In: XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2008, Curitiba. **Anais...**, 2008, p. 1-11.

FORATO, T. C. M. **A Natureza da Ciência como saber escolar: um estudo caso a partir da história da luz.** 2009. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Educação da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GARCÍA, L. O. et al. Planificando la enseñanza problematizada: el ejemplo de la óptica geométrica em educación secundaria. **Enseñanza De Las Ciencias**, Madrid, v. 2, n. 25, p.277-294, 2007.

GIL, A.C. **Como classificar as Pesquisas?** In: Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL-PERÉZ, D.; MONTORO, I.F.; ALÍS, J.C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, pp. 125-153, 2001.

GIRCOREANO, J. P. **O ensino da óptica e as concepções sobre luz e visão.** 1997. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Física e à Faculdade de Educação da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____; PACCA, J. L. A. O ensino da óptica na perspectiva de compreender a luz e a visão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.18, n.1, p.26-40, 2001.

GUERRA, A; REIS, J. C.; BRAGA, M. Um julgamento no Ensino Médio – Uma Estratégia para Trabalhar a Ciência sob Enfoque Histórico-Filosófico. **Física Na Escola**, São Paulo, v. 3, n. 1, p.8-11, 2002.

GOLDBERG, F. M., MCDERMOTT, L. C. Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror, **The Physics Teacher**, p. 472-480, 1986.

_____; _____. An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. **American Journal of Physics**, 55, v.2, p. 108-119, 1987.

IPARRAGUIRRE, L. M. Uma propuesta de utilización de la historia de la ciencia em la enseñanza de um tema de Física. **Enseñanza de las ciencias**. v.25, n.3, p-423-434, 2007.

HARRES, B. S. Um teste para detectar concepções alternativas sobre tópicos introdutórios de óptica geométrica, **Revista Catarinense de Ensino de Física**, vol. 10, nº 3, p. 220-234, 1993.

_____. **Concepções de professores sobre a natureza da ciência.** 1999. Tese de doutorado apresentada a Faculdade de Educação da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre.

HUYGENS, C.. Tratado sobre a Luz. Tradução: MARTINS, Roberto de Andrade. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, suplemento 4, p. 1- 99, 1986.

KRAPAS, S. et al. O Tratado sobre a luz de Huygens: implicações didáticas. In: Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Belo Horizonte. **Anais...** , p.1-11, 2007.

LEDERMAN, N. G. Student's and teacher's conceptions of the nature of science: a review of the research. **Journal of Research in Science Teaching**, v.29, n.4, p. 331-359, 1992.

LOMBARDI, O. I. La pertinencia de la historia en la enseñanza de ciencias: argumentos y contraargumentos. **Enseñanza de las ciencias**, v. 15, n.3, p.343-349, 1997.

LOPES, A. R. C. Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de ciências. **Enseñanza de las Ciencias**, Madrid, v.11, n.3, p.324-330, 1993.

MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2003.

MARTINS, R. A. O Universo: teorias sobre sua origem e evolução. In: **O pensamento medieval e o renascentista**. São Paulo: Moderna, 1995. p. 61-73

_____. **Introdução**: A história das ciências e seus usos na educação. In: Estudos de História e Filosofia das ciências. São Paulo: Livraria da Física, 2006, xvii-xxx.

_____. História e História da Ciência: encontros e desencontros. In: **Actas do 1º Congresso Luso-Brasileiro de História da Ciência e da Técnica**. Évora: Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência da Universidade de Évora, 2001.

MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, n. 1, p.112-131, 2007a.

_____. **Tempo físico**: A construção de um conceito. Natal: EDUFRN, 2007b.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 3, p.164-214, 1995.

MOURA, B. A, **A aceitação da óptica newtoniana no século XVIII: subsídios para discutir a natureza da ciência no ensino**. Dissertação de mestrado, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 2008.

_____. ; SILVA, C. C. A Óptica Newtoniana no Século XVIII: o que podemos aprender com esse episódio. In: Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Belo Horizonte. **Anais ...**, p.1-11, 2007.

MOZENA, E. R. O Fenômeno da Interferência Luminosa no experimento de duas fendas de Young: recurso didático para o ensino médio e fundamental. **Ciência & Ensino**, São Paulo, v. 7, n., p.14-16, 1999.

NASCIMENTO, V. B. **A natureza do conhecimento científico e o ensino de ciências.** In: Ensino de Ciências: Unindo a pesquisa e a prática. Carvalho. A. M. P. (org). São Paulo: Editora Thompson, p.35-58, 2006.

NEWTON, I. **Óptica.** Tradução: ASSIS, André Koch Torres. São Paulo: EDUSP, 2002.

OSBORNE, J. F., BLACK, P. **Young children's (7-11) ideas about light and their development, International Journal of Science Education,** vol. 15, nº 1, p. 83-93, 1993.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: PIETROCOLA, M. O. (Org.). **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora.** 2.ed. Florianópolis: Editora da UFSC, p. 53-75, 2001.

_____. **Sobre continuidades e discontinuidades no conhecimento científico: uma discussão centrada na perspectiva Kuhniana.** In: Estudos de História e Filosofia das ciências. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

PIETROCOLA, M. O. Fresnel e o Arrastamento Parcial do Éter: A influência do movimento da Terra sobre a propagação da luz. **Caderno Catarinense de Ensino de Física,** Florianópolis, v.10, n.2, p.157-172, 1993.

RICHARDSON, R. **Questionário.** In: Pesquisa social. São Paulo: Atlas, 1999.

ROCHA, J. F. M. **Origem e Evolução do Eletromagnetismo.** In: ROCHA, J. F. M. (org). Origens e Evolução das Idéias da Física. Salvador: EDUFBA, 2002.

ROSA. L. P. **A Revolução Científica e o Determinismo Newtoniano.** In: Tecnociências e humanidades: novos paradigmas, velhas questões. O determinismo newtoniano na visão de mundo moderno. Vol. 1. São Paulo: Paz e Terra, 2005.

ROTHMAN, T. **Tudo é relativo: e outras fábulas da ciência e tecnologia.** Rio de Janeiro: Editora Difel, 2005.

SILVA, F. W. O. A Evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** São Paulo, v. 29, n.1, p. 149-159, 2007.

SILVA, B. V. C. Young fez, realmente, o experimento da fenda dupla? **Latin American Journal of Physics Education.,** v. 3, p. 280-287, 2009.

_____; MARTINS, A. F. P. A experiência de Young: a pedra da roseta da natureza da luz? In: XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2008, Curitiba. **Anais ...** , 2008. p. 1-11.

_____; _____. Júri simulado: um uso da História e da Filosofia da Ciência no ensino da Óptica. **Física na Escola,** v. 10, p. 17-20, 2009a.

_____; _____. **Enxergando o invisível**: uma estratégia para discutir os modelos de visão apresentados por estudantes do ensino médio. In: Encontro de Pesquisa Educacional do Norte e do Nordeste, 2009, João Pessoa. **Anais ...** , 2009b. p. 1-14.

SOLBES, J; TRAVER, M.J. La utilización de la historia de las ciencias em la enseñanza de la física y de la química. **Enseñanza de las Ciencias**. v.14, p.103-112, 1996.

SOUZA, J. A. **Uma abordagem histórica para o ensino do princípio da inércia**. Dissertação de Mestrado. 2008. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática do Centro de Ciências Exatas e da Terra da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

STAUB, A. C. M; PEDUZZI, L. O. Q. A História da Óptica e a Epistemologia Bachelardiana: um estudo exploratório. In: XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física - XVI SNEF, **Anais ...** , Rio de Janeiro, 2005.

_____. Contribuições da Epistemologia Bachelardiana no estudo da História da Óptica. **Ciência & Educação**, Bauru, v.13, n.1, p99-126, 2007.

VANNUCCHI, A. I. **História e Filosofia da Ciência**: da teoria para a sala de aula. 1996. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Física e à Faculdade de Educação da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo.

YOUNG. T, **A syllabus of a course of lectures on natural and experiments philosophy**. Press of the Royal Institution, London, 1802.

ZANETIC, J. **Física também é cultura**. 1989. Tese de doutorado apresentada ao Instituto de Física e à Faculdade de Educação da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ZYLBERSZTAJN. A. Galileu – um cientista e várias versões. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.5 (Número Especial), p.36-48, 1988.

Apêndice 1 – Planejamentos das aulas

1º aula: Aplicação das atividades livres visando capturar as concepções alternativas dos alunos sobre a luz e a visão.

2º aula: Algumas experiências sobre óptica.

Nesta aula foram entregues aos alunos alguns instrumentos ópticos como lentes, prismas e lanternas. Solicitamos que eles manuseassem os aparelhos e observassem os fenômenos da reflexão e da refração. Não foi introduzido, pelo professor explicações sobre os fenômenos, o intuito foi os alunos se familiarizar com os fenômenos.

3º aula: Filme: *O que é a luz?*

Neste filme, tentamos passar para os alunos alguns fenômenos básicos da óptica que seriam discutidos a seguir. Nesta etapa, não houve discussão sobre qualquer fenômeno. Este momento ficou marcado como uma ocasião introdutória dos alunos aos fenômenos luminosos.

Nesta mesma aula, entregamos aos alunos o 1º texto histórico, onde foi solicitado para eles que entregassem um resumo da leitura na aula seguinte.

4º aula: Leitura em pequenos grupos (3 a 4 alunos) e entrega do resumo do grupo.

Resolução das questões referentes ao 1º texto, de forma individual.

5º aula: Discussão sobre o texto 1.

Entrega do texto 2 e solicitação do resumo individual para a próxima aula.

6º aula: Leitura em pequenos grupos (3 a 4 alunos) e entrega do resumo do grupo.

Resolução das questões referentes ao 2º texto.

7º aula: Discussão sobre o texto 2.

8º aula: Atividade Experimental

Retomada dos experimentos realizados na 2º aula com uma explicação formal do professor. Entrega do texto 3 e solicitação do resumo individual.

9º aula: Leitura em pequenos grupos (3 a 4 alunos) e entrega do resumo do grupo.
Resolução das questões referentes ao 3º texto.

10º aula: Discussão sobre o texto 3.

11º aula: Análise do episódio histórico e preparação para o júri simulado.

12º aula: Júri simulado.

13º aula: Aplicação da atividade Final.

14º aula: Análise de todo o percurso em sala.