



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA MESTRADO  
NACIONAL PROFISSIONAL ENSINO DE FÍSICA (MNPEF)

Nilce Ana Cremonini Backes

**COMPORTAMENTO DUAL DA LUZ:  
UMA PROPOSTA DE ENSINO NO ENSINO MÉDIO**

Florianópolis  
2023

Nilce Ana Cremonini Backes

**COMPORTAMENTO DUAL DA LUZ:  
UMA PROPOSTA DE ENSINO NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Paulo José Sena dos Santos

Florianópolis  
2023

Ficha de identificação de obra elaborada pelo autor, através do Programa de  
Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC

Backes, Nilce Ana Cremonini

Comportamento dual da luz: uma proposta de ensino no ensino médio. / Nilce Ana Cremonini Backes ; orientador, Paulo José Sena dos Santos, 2024.

194 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Óptica. 3. Luz. I. Santos, Paulo José Sena dos. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.

Nilce Ana Cremonini Backes

**Comportamento dual da luz: uma proposta de ensino no ensino médio.**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado, em 20/12/2023, por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Marinês Domingues Cordeiro, Dra.  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/FSC

Prof. Alexandre Magno Silva Santo, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/FSC

Prof. Reginaldo Manoel Teixeira, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/FSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA.

---

Prof. Dr. Alexandre Magno Silva Santos  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Dr. Paulo José Sena dos Santos  
Orientador

Florianópolis, 20 de dezembro de 2023.

## AGRADECIMENTOS

*Na jornada pela vitória, nenhuma batalha é enfrentada solitariamente. Durante esse combate, algumas pessoas me acompanharam e trilharam esse percurso como autênticos guerreiros, incentivando-me a buscar minha conquista e realizar meu sonho.*

Primeiramente, agradeço a Deus, que me concedeu a vida e a força para seguir meus sonhos.

Agradeço aos meus pais, Fortunato (*in memoriam*) e Severina, sempre presentes com ensinamentos valiosos e que são exemplos de união, de força e de perseverança. Agradeço, ainda mais, à minha mãe pela torcida e pelas orações constantes para atingir meus objetivos e conquistar a minha vitória.

Agradeço aos meus amados e queridos filhos, Dandara e Iarley, e ao meu genro, Marlon, por toda ajuda, apoio e paciência na construção deste trabalho. Por alegrarem meus dias, me incentivando e dando forças para continuar.

Ao meu esposo, Idacir, pelo companheirismo e apoio constantes.

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ao Departamento de Física, ao Coordenador do Mestrado e a todos os envolvidos nesta jornada, pela formação profissional, oportunidade, ajuda e incentivo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo José Sena dos Santos, pelos ensinamentos, apoio, paciência e dedicação incessantes para que esse sonho se realizasse.

Aos demais familiares, amigos e colegas de profissão pela força, ajuda, incentivo, carinho, amizade, amparo, acolhida e por entender a minha ausência em alguns momentos dessa difícil jornada.

À escola onde leciono e apliquei minha pesquisa, e aos estudantes que tiveram uma importante participação na construção desse projeto.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a construção e a finalização deste objetivo.

*“Se enxerguei mais longe foi porque me apoiei em ombros de gigantes.”*

*Isaac Newton*

*“Matemática pura é, à sua maneira, a poesia de ideias lógicas”*

*Albert Einstein*

*“Nós somos o que fazemos repetidas vezes.  
Portanto, a excelência não é um ato, mas um hábito.”*

*Aristóteles*

*Se os fatos não se encaixam na teoria,  
modifique os fatos.”*

*Autor desconhecido*

*“Feliz aquele que transfere o que sabe  
e aprende o que ensina!”*

*Cora Coralina*

## RESUMO

O presente trabalho apresenta a proposta de um produto educacional respaldado na evolução histórica da teoria da luz, explorando a dualidade da luz no contexto do ensino médio. O objetivo central é construir um roteiro pedagógico fundamentado na evolução histórica da teoria da luz, visando o ensino do comportamento dual da luz. Para tal empreendimento, faz-se uso do ambiente virtual *Google Classroom*, que possibilita a criação de uma sala de aula virtual, com a finalidade de examinar como um grupo de estudantes interage ao manipular essa plataforma virtual em complemento às aulas presenciais. No âmbito metodológico, a pesquisa adota uma abordagem qualitativa com base nos pressupostos da pesquisa-ação. O ambiente virtual *Google Classroom* é empregado como suporte didático-pedagógico, permitindo a configuração de uma sala de aula virtual. A indagação central orientadora desta abordagem é: “Como um ambiente virtual, aliado às aulas presenciais e à evolução histórica, pode configurar-se como um objeto de aprendizagem eficaz no ensino da óptica geométrica e física?”. No curso deste estudo, desenvolveu-se um produto educacional que, de maneira sucinta, estimula a participação ativa dos alunos, incentivando-os a questionar, a debater e a colaborar na construção do conhecimento. Para isso, inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica sobre a história da natureza da luz, abordando as primeiras impressões, as discussões sobre o comportamento corpuscular e ondulatório, os experimentos presentes nas discussões e a confirmação, as definições e as aplicações. A partir desse estudo, elaborou-se um roteiro pedagógico com nove aulas de 45 minutos cada, visando à construção de uma aprendizagem significativa por meio de uma proposta de ensino que esteja permeada pelo uso da história da física. Na análise focou-se em investigar a problematização inicial (conhecimentos prévios) e os textos históricos (organizadores prévios). Em suma, os resultados foram positivos, pois os objetivos propostos foram alcançados com respostas mais próximas das cientificamente aceitas. Na resolução das questões, a maioria dos estudantes conseguiu chegar na resposta esperada, alcançando o objetivo de cada questão.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Dualidade da Luz. História da Óptica. Aprendizagem significativa. Recursos tecnológicos.

## ABSTRACT

The present work introduces the proposal of an educational product grounded in the historical evolution of the theory of light, exploring the duality of light within the high school context. The primary objective is to construct a pedagogical framework based on the historical development of the theory of light, aiming to teach the dual behavior of light. To accomplish this endeavor, the Google Classroom virtual environment is employed, allowing the creation of a virtual classroom to observe how a group of students interacts while utilizing this virtual platform, in conjunction with in-person classes. Methodologically, the research adopts a qualitative approach based on the principles of action research. The Google Classroom virtual environment serves as a didactic-pedagogical support, facilitating the configuration of a virtual classroom. The guiding central inquiry of this approach is: "How can a virtual environment, in combination with in-person classes and historical evolution, establish itself as an effective learning tool in teaching geometric optics and Physics?" Throughout this study, an educational product was developed that succinctly encourages active student participation by motivating them to question, debate, and collaborate in knowledge construction. Initially, a bibliographical review was conducted on the history of the nature of light, encompassing its earliest impressions, discussions concerning corpuscular and wave behavior, the experiments involved in these discussions leading to their confirmation, definitions, and applications. Based on this study, a pedagogical outline was developed consisting of nine 45-minute lessons, aiming to foster meaningful learning through a teaching approach embedded in the history of physics. In the analysis, the focus was on examining the initial problematization (prior knowledge) and historical texts (prior organizers). In summary, the results were positive as the proposed objectives were achieved, with answers closer to scientifically accepted ones. In resolving the questions, the majority of students managed to reach the expected answers, fulfilling the goal of each question.

**Keywords:** Physics Teaching. Duality of Light. History of Optics. Meaningful learning. Technological resources.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Reflexão da luz .....	37
Figura 2: Lei da reflexão da luz .....	38
Figura 3: Refração da luz em um Prisma .....	38
Figura 4: Lei da refração da luz.....	39
Figura 5: Difração da luz .....	40
Figura 6: Propagação da luz como onda.....	42
Figura 7: Refração e difusão da luz por Huygens .....	42
Figura 8: Refração e reflexão da luz por Huygens .....	43
Figura 9: Vibrações no campo elétrico e magnético.....	43
Figura 10: Padrões de interferência .....	45
Figura 11: Difração da luz .....	46
Figura 12: Reflexão parcialmente polarizada .....	47
Figura 13: Experimentos de Hertz.....	50
Figura 14: Processos de visão .....	62
Figura 15: Propagação da luz .....	64
Figura 16: Alcance da luz .....	66
Figura 17: Vidro sobre uma folha de papel com desenho de círculo.....	67
Figura 18: Possibilidades de como enxergamos o círculo .....	68
Figura 19: Propagação da luz .....	69
Figura 20: Como enxergamos um objeto .....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre cada roteiro, conteúdo e objetivos .....	55
Tabela 2: Relação entre cada roteiro, conteúdo e objetivos. (Idem Tabela 1) .	59
Tabela 3: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 1 da Problematização inicial.....	62
Tabela 4: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 2 da Problematização inicial.....	65
Tabela 5: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 3 da Problematização inicial.....	66
Tabela 6: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 4 da Problematização inicial.....	68
Tabela 7: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 5 da Problematização inicial.....	70
Tabela 8: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 1 do Texto I.	71
Tabela 9: Tabulação das respostas dos estudantes da Letra A da Questão 2 do Texto I .....	73
Tabela 10: Tabulação das respostas dos estudantes da Letra B da Questão 2 do Texto I .....	74
Tabela 11: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 3 do Texto I	75
Tabela 12: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 4 do Texto I	76
Tabela 13: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 5 do Texto I	78
Tabela 14: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 1 do Texto II .....	79
Tabela 15: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 2 do Texto II .....	80
Tabela 16: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 3 do Texto II .....	81
Tabela 17: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 4 do Texto II .....	83
Tabela 18: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 1 do Texto III .....	84
Tabela 19: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 2 do Texto III .....	86

Tabela 20: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 3 do Texto III .....	88
Tabela 21: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 4 do Texto III .....	90
Tabela 22: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 5 do Texto III .....	92
Tabela 23: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 1 do Texto IV .....	94
Tabela 24: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 2 do Texto IV .....	95
Tabela 25: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 3 do Texto IV .....	96
Tabela 26: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 4 do Texto IV .....	98
Tabela 27: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 5 do Texto IV .....	99

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS .....	15
<b>1.1.1 Objetivo geral</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>2 ASPECTOS IMPORTANTES</b> .....	<b>17</b>
2.1 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS .....	17
2.2 ENSINAR E APRENDER COM O USO DE TECNOLOGIAS.....	22
2.3 O USO DA HISTÓRIA DA FÍSICA .....	26
2.4 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL E O USO DOS AMBIENTES VIRTUAIS .....	29
<b>3 NATUREZA DA LUZ</b> .....	<b>34</b>
3.1 PRIMEIRAS IMPRESSÕES .....	34
3.2 NEWTON X HUYGENS: Confronto de Paradigmas: Newton e Huygens na Teoria da Luz .....	36
3.3 YOUNG, MAXWELL, HERTZ .....	45
3.4 E POR FIM EINSTEIN.....	51
<b>4 O PRODUTO E SUA APLICAÇÃO NO ENSINO MÉDIO</b> .....	<b>54</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>59</b>
5.1 A ATIVIDADE INICIAL: PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL – CONCEPÇÕES ESPONTÂNEAS DOS ESTUDANTES.....	61
5.2 CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO A PARTIR DOS ASPECTOS HISTÓRICOS.....	71
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>102</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>106</b>
Apêndice A: Produto Educacional .....	110
Apêndice B: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido aos Pais/Responsáveis.....	163
Apêndice C: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido ao Professor .....	167
Apêndice D: Termo de Assentimento aos Estudantes .....	170
Apêndice E: Problematização inicial: Concepções espontâneas .....	173
Apêndice F: Texto IV: Efeito Fotoelétrico .....	176

Anexo 1 - Parecer do Comitê de Ética .....	180
Anexo 2 - TEXTO I: Antecedentes: a natureza da luz antes do Século XVII .	181
Anexo 3 – TEXTO II: Mudanças de cenário: revoluções e mais controvérsias .....	185
Anexo 4 - TEXTO III: Difração e Interferência: o ressurgimento da teoria ondulatória.....	189

## 1 INTRODUÇÃO

O verdadeiro significado do ensino da física transcende a mera transmissão de conteúdo: abrange a investigação e a compreensão profunda de características, a utilização da linguagem científica, a contextualização histórica e a integração das tecnologias que desempenham um papel cada vez mais fundamental em nosso cotidiano. Esse imperativo destaca a importância de incorporar elementos tecnológicos na educação, não apenas ao expandir o conhecimento, mas ao transcender os limites tradicionais da sala de aula.

A contextualização histórica, quando integrada ao ensino de física, não apenas enriquece a compreensão dos conteúdos científicos, como também promove o desenvolvimento cognitivo dos estudantes. O pensamento científico, essencial para a elaboração de conceitos científicos sólidos, deve ser cultivado desde cedo, tornando-se uma ferramenta intrínseca ao processo educacional. Segundo Bachelard (1996), a formação do espírito científico está intimamente ligada à história das ciências. O autor argumenta que o conhecimento ao longo da história não deve ser avaliado apenas em termos de acúmulos, mas também de rupturas e de retificações em um processo dialético que constrói o conhecimento científico por meio da análise constante dos erros anteriores. Contudo, o obstáculo inicial nesse caminho é, muitas vezes, a primeira experiência do estudante.

Quanto às tecnologias, sua evolução notável nas últimas décadas mudou significativamente o cenário mundial. Os estudantes atuais, nascidos em uma sociedade informatizada, têm familiaridade com diversas tecnologias, mas nem sempre conseguem explorar plenamente seu potencial. Diante disso, surge a necessidade dos professores dominarem o uso das tecnologias de informação, proporcionando uma abordagem positiva e transformadora na interação com os aprendizes, e repensando suas práticas didáticas.

Nessa perspectiva, propõe-se o desenvolvimento de uma sequência didática fundamentada na evolução histórica da teoria da luz, explorando o comportamento dual da luz no contexto do ensino médio. O ambiente virtual *Google Classroom* será utilizado como ferramenta pedagógica, uma vez que permite a criação de uma sala de aula virtual. Essa abordagem busca responder

à seguinte indagação: “Como esse ambiente virtual, aliado às aulas presenciais e à evolução histórica, pode se configurar como um objeto de aprendizagem eficaz no ensino da óptica geométrica e física?”.

Destaca-se a importância da aprendizagem significativa, preconizada pela Base Nacional Comum Curricular, assim como a utilização de tecnologias em sala de aula, onde o papel do professor de física é focado no emprego de metodologias ativas, proporcionando uma compreensão eficaz aos alunos.

Ademais, o interesse em conceber um produto educacional em física surge a partir de minha trajetória acadêmica, inaugurada em 1996 com a graduação em Matemática. Apesar dos numerosos desafios enfrentados durante a formação (concluída apenas em 2003), entre 2001 e 2004 assumi temporariamente o papel de professora em diversas instituições de ensino estaduais. Embora tenha assegurado uma vaga em provimento efetivo, via concurso público na rede estadual catarinense em 2004 na área de Matemática, a escassez de docentes nas disciplinas de exatas motivou-me a complementar minha carga horária ministrando aulas de física.

O fascínio pelas potencialidades de promover uma aprendizagem significativa, na qual os alunos se engajam de forma notável nas aulas e percebem a aplicabilidade dos conceitos no cotidiano, contribuiu para que em 2012 eu iniciasse uma segunda licenciatura em física, concluída em 2016. Em 2014 tive a oportunidade de participar do curso de especialização em Educação na Cultura Digital, promovido pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em colaboração com a Secretaria de Educação de Santa Catarina (SED). Esse e outros cursos proporcionaram-me novos conhecimentos, incluindo a participação em eventos acadêmicos, palestras, viagens de estudo, e, em dois benefícios, o convite para condução de *workshops* com professores por meio do Programa Universidade Escola. Além disso, contribuí com dois capítulos em coletânea de um livro. Nesse período, tornou-se cada vez mais evidente a necessidade de aprimoramento profissional frente a compreensão de que o contexto educacional contemporâneo exige transformações que tornem a prática escolar mais atraente, envolvente e produtiva.

O presente mestrado emerge como um suporte para fazer essas mudanças, aprimorando a minha capacidade de atuar de maneira crítica e decisiva na esfera educacional. Busco desenvolver uma proposta metodológica

para o ensino de física sobre o comportamento dual da luz, que inclui, de maneira clara e organizada, os tópicos pertinentes ao Ensino Médio, valendo-me da história da física como um recurso que enriquece o conhecimento acumulado ao longo da história. Essa abordagem é fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel para funcionar como alicerce na construção de conhecimento de maneira contextualizada e relevante aos alunos.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Construir um roteiro pedagógico baseado na evolução histórica da teoria da luz para o ensino do comportamento dual da luz, com uso do ambiente virtual de aprendizagem *Google Classroom*, além de analisar como um grupo de estudantes se manifesta tendo que manipular essa plataforma virtual em complemento às aulas presenciais.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Discorrer sobre a contribuição da evolução histórica na formação do pensamento crítico;
- b) Apresentar as principais concepções espontâneas sobre óptica (geométrica e física);
- c) Refletir sobre a utilização de um ambiente virtual no ensino presencial;
- d) Elaborar, a partir da evolução histórica, uma sequência didática sobre a natureza da luz em um ambiente virtual de aprendizagem;
- e) Analisar a aplicação da sequência elaborada no objetivo (d);
- f) Analisar sobre as relações entre professor-aluno, aluno-aluno e aluno-objeto no desenvolvimento da proposta.

Com as potenciais perspectivas dos objetivos supracitados, entende-se que também se contribuirá para uma compreensão mais aprimorada de conceitos vinculados à Óptica, viabilizando melhor entendimento de suas ideias. Associado a isso, ainda almejamos disponibilizar aos educadores uma



oportunidade de abordar a Óptica com fundamento em uma abordagem diferente da usualmente utilizada.

## 2 ASPECTOS IMPORTANTES

### 2.1 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS

Quando os indivíduos são questionados sobre diferentes fenômenos físicos ao longo de suas vidas, percebe-se que as interpretações e as explicações dadas nem sempre têm sua origem na escola. As ideias que as pessoas constroem sobre o mundo ao seu redor, com conhecimentos do senso comum, vivências e interações com outras pessoas, são as concepções alternativas. Elas são frutos do pensamento cotidiano e baseadas na funcionalidade, portanto, não exigem justificativas sistematizadas e nem comprovações, como é o caso do conhecimento científico. Segundo Piaget (1973), as concepções alternativas têm origem na necessidade do ser humano em construir explicações para compreender o mundo em que vive e com o qual interage em todas as suas esferas: sensorial, social e cultural.

Na literatura, esses conhecimentos adquiridos pelo ser humano de maneira informal são denominados com vários nomes diferentes, mas com mesmo significado. Como, por exemplo: ideias intuitivas, preconcepções, ideias prévias, conhecimentos prévios, concepções espontâneas, concepções alternativas, obstáculos epistemológicos, entre outros. Neste trabalho optou-se por utilizar o termo “concepções alternativas”.

Todo aprendizado se inicia na experiência humana, nas relações consigo e com o mundo. Desse modo, quando os estudantes chegam à escola, sempre se deve levar em conta que eles não são “tábulas rasas”, pois já possuem um acervo de conhecimentos e de concepções que influenciarão no aprendizado de novos conceitos. Sobre essas discussões, Peduzzi (2001, p. 53-54) destaca que elas:

- a) são encontradas em um grande número de estudantes, de qualquer nível de escolaridade, inclusive universitário;
- b) cobrem uma vasta gama de conteúdos e têm amplo poder explicativo;
- c) diferem das ideias expressas através dos conceitos, leis e teorias que os alunos têm que aprender.

Contudo, muitas vezes essas concepções alternativas são incoerentes com o conhecimento científico, uma vez que apresentam erros conceituais que os estudantes demonstram quando necessitam resolver problemas que exigem o conhecimento científico. Ainda segundo Peduzzi (2001, p. 53-54), essas concepções

- d) são muito difíceis de ser mudadas e resistem ao ensino de conceitos que conflitam com elas;
- e) interferem no aprendizado da Física, sendo responsáveis, em parte, pelas dificuldades que os alunos encontram em disciplinas dessa matéria, acarretando um baixo rendimento quando comparado com disciplinas de outras áreas;
- f) apresentam semelhanças com esquemas de pensamento encontrados na evolução de teorias físicas (na Mecânica: física aristotélica, física do ímpetus, por exemplo), fornecendo uma forte evidência de que os erros dos alunos não são simplesmente indícios de ignorância.

Partindo do exposto, conhecer as concepções alternativas dos estudantes é muito importante, pois permite aos professores planejarem estratégias de ensino que facilitem o processo ensino-aprendizagem e desenvolvam atividades com o intuito de superá-las. Reforça-se que as concepções alternativas dos estudantes não podem ser ignoradas durante o processo de ensino. Neste sentido, é imprescindível demandar esforços para criar oportunidades e espaços favoráveis para discuti-las. Villani *et al.* (1982, p. 30) contribui afirmando que,

[...] não é produtivo ignorar a bagagem cultural do aluno e todo o conjunto de noções espontâneas que ele carrega ao se deparar com o ensino formal na escola. Se não cuidar adequadamente da física espontânea dos alunos sobrarão duas estruturas superpostas, entre as quais os alunos escolherão uma dependendo do contexto; em geral quando o problema envolver muitos elementos formais usarão a aprendizagem formal; quando o problema envolver elementos do dia - a - dia e com características bem figurativas ou capazes de estimular a percepção, usarão o esquema espontâneo.

Nesta pesquisa, especificamente, tratamos das concepções alternativas em óptica geométrica e física. Em busca na literatura, encontrou-se vários trabalhos realizados com o objetivo de conhecer as ideias dos estudantes acerca deste tema, com destaque para Alves (2016), Almeida *et al.* (2007), Andrade (1995), Gircoreano (2001), Goldberg e McDermott (1986), Harres (1993), Matsinhe (2013) e Watts (1985). Em resumo, as principais concepções espontâneas em óptica são:

- A luz é identificada estando na fonte emissora ou no objeto iluminado, sendo que em muitos casos não é reconhecida a propagação da luz;
- O alcance de uma fonte de luz depende da sua intensidade luminosa: quanto maior a intensidade da fonte maior será o alcance da luz e essa se propaga numa distância maior no escuro do que em um meio claro;
- A propagação da luz pode não se dar somente de modo retilíneo, há confusão entre a propagação retilínea com a propagação paralela considerando somente a emissão de raios paralelos;
- A luz vai do olho até o objeto para captá-lo visualmente, ou seja, a luz sai do olho, viaja até o objeto e volta ao olho, transportando a imagem;
- A luz é entendida como um ente estático, sem movimento, não sendo possível ocupar todos os espaços e iluminar todos os objetos para que sejam vistos, só o que estiver em frente a fonte de luz;
- Uma fonte de luz emite somente um raio de cada ponto, ao invés de cada ponto da fonte emitir raio de luz em todas as direções. Por exemplo, uma lâmpada emite apenas um raio de luz de pontos denominados, não considerando o processo de espalhamento da luz em várias direções;
- Luz solar e luz artificial são interpretadas como tendo naturezas diferentes. Considera-se luz solar como natural e a luz de uma lâmpada, por exemplo, como artificial, pois é produzida por um dispositivo;
- A visão não depende da existência de luz, afinal, o olho possui uma luminosidade independente da luz. Assim, é possível enxergar no escuro, pois os olhos se adaptam a ambientes com ausência de luz;
- Objetos com cores claras podem ser vistos independentemente de haver luz no ambiente, assim, mesmo em uma sala totalmente escura pode-se visualizar os objetos brancos ou de cores claras;
- A luz branca é uma cor, assim como o preto, ou seja, os objetos brancos produzem a própria luz e o preto não seria ausência de luz;
- A reflexão da luz não é reconhecida para objetos opacos, ela só é admitida para espelhos ou superfícies lisas similares;
- Não reconhecimento de que a imagem se forma dentro do espelho, ou seja, a imagem é localizada na superfície do espelho ou até na frente dele, ignorando o prolongamento dos raios de luz refletidos na superfície;

- Um objeto que não estiver na frente do espelho não formará imagem, ignorando que os raios refletidos no espelho, provenientes do objeto, possam chegar a ele;
- À medida que um objeto se afasta de um espelho, a sua imagem diminui de tamanho, isto é, sua imagem reduz quando um objeto se afasta de um espelho plano;
- Afastando-se de um espelho plano, pode-se ver uma parte maior de seu próprio corpo, mas isso não acontece, pois o comprimento da imagem é igual ao comprimento do objeto, não importando a distância entre espelho e imagem;
- Refração e reflexão são fenômenos sem relação. Quando há reflexão não há refração e vice-versa, independentemente de onde ocorre o fenômeno. Isto é, há separação dos fenômenos, a reflexão ocorre em espelhos planos e a refração em prismas;
- A 2ª lei de reflexão é válida somente nos espelhos planos e não nos esféricos, com isso se acredita que não é possível traçar uma reta normal para uma superfície esférica no ponto de incidência;
- Nos espelhos côncavos só se observa a imagem real, não se observa a imagem virtual e essa pode ser totalmente observada, independente dos limites inevitáveis do sistema óptico, como, por exemplo, o tamanho do espelho, não considerando a existência de um campo de visão;
- Refração e dispersão são fenômenos distintos. Considera-se a refração como consequência da dispersão, por isso, quando ocorre refração não pode ocorrer dispersão ou o inverso;
- Refração necessita de ar, isto é, ela ocorre somente do ar para outro meio, descartando a possibilidade de ocorrer tal efeito entre meios distintos;
- A difração só ocorre se a fenda utilizada tiver largura menor que o comprimento de onda da luz incidente, sem reconhecer a difração quando uma onda luminosa contorna obstáculos e ainda não há observação da ocorrência da difração em orifícios grandes;
- O fenômeno da difração é interpretado apenas como um efeito de borda: a luz contorna os objetos, mas não há reconhecimento ao efeito quando a luz atravessa uma pequena abertura;

- A luz não atravessa a fenda no caso de sua largura ser menor que o comprimento de onda, ou seja, a luz pode não encaixar na fenda. Portanto, se o orifício for tão pequeno a luz não irá mais atravessá-lo;

- Dos vários raios de luz que chegam à fenda, somente alguns ou até mesmo um raio atravessa a abertura. Isso acontece porque na aplicação de luz como um feixe de raios luminosos que se propagam em linha reta a fenda atua como um filtro para esses raios;

- Cada fenda sozinha é capaz de produzir o mesmo padrão de interferência que um par de fendas, ou seja, não há diferença entre a figura de difração produzida por uma fenda e a figura de interferência produzida por duas fendas;

- Metade do padrão de interferência é produzida por uma fenda e a outra metade pela outra fenda, excluindo a possibilidade de um número maior de fendas;

- A luz polarizada está concentrada em uma só direção de propagação, associando a polarização da luz a uma única direção de propagação, ao invés de relacionar com a direção de vibração dos campos elétrico e magnético;

- A polarização ocorre quando são absorvidos determinados comprimentos de onda, resultando na monocromaticidade total ou parcial e desconsiderando a possibilidade de haver luz branca polarizada;

- Luz polarizada é uma luz filtrada que deve passar por uma superfície muito pequena, mas não única, como uma espécie de rede;

- Óculos com lente polarizadora evita a reflexão da luz solar nos olhos, ou seja, têm a função de refletir a luz impedindo que esta chegue ao olho do observador, protegendo-o e evitando a luz ultravioleta;

Embora essas concepções frequentemente se distanciem dos conhecimentos científicos, o professor deve tomá-las como ponto de partida durante a abordagem dos conteúdos, não que elas sejam totalmente superadas, mas é necessário desenvolver estratégias na tentativa que o novo conceito seja de fato plausível para os estudantes e possibilite a superação de alguns conceitos equivocados adquiridos em vivência social.

## 2.2 ENSINAR E APRENDER COM O USO DE TECNOLOGIAS

Nos últimos tempos, o uso das tecnologias digitais no processo de ensino e de aprendizagem tem-se apresentado como um dos assuntos mais debatidos entre os formuladores das políticas educacionais. Todos os projetos de inclusão de tecnologias no ambiente educacional têm como objetivo a sua utilização para melhorar a prática pedagógica, promover um aprendizado significativo e fazer com que os estudantes (ao lançarem mão desta tecnologia) vão em busca da construção do seu conhecimento. Para Tajra (2001, p. 61):

O uso da informática, de forma positiva dentro de um ambiente educacional, irá variar de acordo com a proposta. [...] Em função da gama de ferramentas disponíveis nos softwares, os alunos, além de ficarem mais motivados, também se tornam mais criativos. [...] A curiosidade é outro elemento bastante aguçado com a informática, visto que é ilimitado o que se pode aprender e pesquisar com os softwares e sites da internet disponíveis. [...] Alunos com dificuldades de concentração tornam-se mais concentrados. [...] Esses ambientes favorecem uma nova socialização que, às vezes, não conseguimos nos ambientes tradicionais. [...] Estímulo a uma forma de comunicação voltada para a realidade atual de globalização (Tajra, 2001, p. 61).

Além disso, pesquisas recentes mostram que a utilização de ferramentas tecnológicas, no ensino geral e em específico no ensino da física, tem contribuído de forma relevante para a compreensão dos estudantes sobre os conceitos físicos. A seleção e a integração dos recursos tecnológicos disponíveis aos recursos tradicionais (livros, jornais e revistas) têm como meta tornar a aprendizagem mais estimulante, criativa e efetiva a partir da elaboração de novas situações de aprendizagem.

Nas últimas décadas, as tecnologias se destacam no cenário mundial de diversas maneiras. Hoje, recebemos estudantes jovens nascidos em uma sociedade já informatizada em diversos aspectos, que manipulam com relativa facilidade as tecnologias existentes, logo, existem muita informação e conhecimento disponível fora dos portões da escola. Isso nos leva a refletir sobre a necessidade do professor saber utilizar as tecnologias de informação e de comunicação e lidar com os estudantes de maneira positiva e transformadora, repensando as práticas didáticas. Segundo Valente (2012, p. 01), o uso das tecnologias na educação,

[...] significa a inserção do computador no processo de aprendizagem dos conteúdos curriculares de todos os níveis e modalidades de educação. Para tanto, o professor da disciplina curricular deve ter conhecimento sobre os potenciais educacionais do computador e ser capaz de alternar adequadamente atividades tradicionais de ensino-aprendizagem e atividades que usam o computador (*online*).

Por exemplo, é possível acessar aplicativos, vídeos, imagens, simulações, animações, textos e apresentações online, além de utilizar os ambientes virtuais de aprendizagem (AVAs) como ferramentas didáticas, desenvolvendo, por meio dos recursos digitais, projetos cujo protagonista é o próprio estudante. É nesse contexto que a escola deve ir em busca de novas formas didáticas para desenvolver o currículo e para que o professor adequar seus métodos e planos à nova gama de recursos e de possibilidades.

O interesse pelo uso dos AVAs cresce constantemente e diversas pesquisas sobre esse assunto são desenvolvidas. De acordo com Pereira (2007), AVAs são salas de aulas tradicionais em um ambiente virtual, onde o professor pode ter muitos recursos para desenvolver seu planejamento. Isso inclui ferramentas para atuação autônoma e monitorada e mecanismos para aprendizagem coletiva e individual, o que aumenta a comunicação entre professor e aluno, e funciona como extensão da aula presencial, ampliando os conceitos de espaço e de tempo. Para Kenski (2003, p. 68),

O ambiente educacional virtual não suprime o espaço educacional presencial. Ao contrário, ele o amplia. Os projetos de educação permanente, as diversas instituições e os vários cursos que podem ser oferecidos para todos os níveis de ensino e para todas as idades, a internacionalização do ensino – através das redes – criam novas dimensões para o acesso à educação, novas possibilidades de comunicação e agregação, novas oportunidades para o avanço na ação e na formação do cidadão que habita os múltiplos espaços das escolas – e das suas múltiplas linguagens.

Segundo Duso (2009), o uso dos AVAs auxilia na dinâmica e na sistematização dos temas propostos. Também não apresenta dificuldades diante os desafios da aprendizagem, mas evidencia que a aprendizagem se consolida gradativamente. O autor ressalta ainda que os estudantes necessitam de mais acompanhamento nas aulas presenciais, mas nas atividades à distância também precisam de um mediador. Esse mediador pode ser os próprios estudantes ou o professor, gerando um diálogo constante e rompendo com a distância existente



muitas vezes nas aulas presenciais. Esse conjunto torna as aulas mais dinâmicas e interessantes e aumenta a interação entre todos os participantes, melhorando a qualidade do ensinar e do aprender.

Entretanto, toda mudança de postura gera conflitos e tem consequências. Na busca incessante por melhores práticas educativas, o uso das ferramentas tecnológicas se faz necessário, seja os AVAs ou outros. Acredita-se que assim os estudantes se sintam mais motivados e tenham sua curiosidade aguçada.

Neste íterim, a introdução de tecnologias no ensino de física oferece oportunidades únicas para explorar conceitos complexos de maneira visual e interativa. Autores como Laws (1991) e Thornton (2002) destacam o papel essencial das simulações computacionais para ilustrar ciências físicas e para facilitar a compreensão conceitual. Essas simulações permitem que os alunos manipulem variáveis e observem as consequências, promovendo uma aprendizagem mais ativa e exploratória.

Outra abordagem promissora é o uso de realidade virtual (RV) e de realidade aumentada (RA) no ensino de física. Smith *et al.* (2017) discutem como ambientes de RV podem proporcionar experiências imersivas, permitindo que os alunos explorem conceitos físicos de maneira mais intuitiva. Da mesma forma, a RA tem sido aplicada para sobrepor informações digitais ao ambiente real, enriquecendo a experiência de aprendizagem (Klopfer; Squire, 2008).

Neste sentido, ao se considerar as possibilidades na integração de tecnologias e apesar dos benefícios evidentes, a implementação bem-sucedida de tecnologias no ensino de física enfrenta desafios. A falta de infraestrutura tecnológica em algumas instituições de ensino e a resistência à mudança são obstáculos a serem superados (Hew; Brush, 2007). Além disso, é crucial garantir que as tecnologias sejam utilizadas de maneira pedagogicamente eficaz, integrando-as de forma a potencializar o aprendizado e não apenas como substitutos de métodos tradicionais (Means *et al.*, 2009).

A utilização dos ambientes virtuais no ensino de física tem sido um campo em constante evolução e relevância no contexto educacional contemporâneo. A incorporação dessas ferramentas tecnológicas oferece um potencial significativo para aprimorar e enriquecer a experiência de aprendizagem nessa disciplina. Já a integração de recursos virtuais apresenta uma oportunidade ímpar de aprofundar os conceitos teóricos por meio de simulações, experimentos virtuais

e visualizações interativas. Essa abordagem possibilita não apenas a demonstração de fenômenos complexos, muitas vezes difíceis de serem experimentados diretamente, mas também facilita a compreensão conceitual e a análise quantitativa de problemas físicos específicos (Souza, 2011).

Além disso, os ambientes virtuais oferecem flexibilidade de acesso aos materiais de estudo, permitindo que os alunos explorem conteúdos em seu próprio ritmo e em horários mais convenientes. Isso promove maior autonomia no processo de aprendizagem, com incentivo à investigação individual e à experimentação ativa, aspectos cruciais no desenvolvimento de habilidades. Entretanto, é importante ressaltar que a eficácia desses ambientes virtuais no ensino de física está intrinsecamente ligada à qualidade do conteúdo disponibilizado e à orientação pedagógica adequada. A supervisão e a mediação dos professores são fundamentais para direcionar o uso dessas tecnologias, assegurando uma abordagem que estimule a reflexão, o debate e a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos (Junior, 2020).

Destarte, o uso de tecnologias no ensino e na aprendizagem de física oferece um potencial significativo para melhorar a compreensão dos conceitos físicos e engajar os alunos de maneira mais eficaz. Contudo, é importante abordar os desafios associados à integração dessas tecnologias, incluindo a garantia de acesso equitativo e a preparação adequada dos educadores (Leite, 2014).

Ao explorar as contribuições de autores supracitados, é possível compreender a complexidade dessa temática e considerar a importância de uma abordagem holística e colaborativa para a aplicação bem-sucedida de tecnologias no ensino de física. Assim, o futuro do ensino de física certamente será moldado pela habilidade de educadores e de pesquisadores integrarem saberes pedagógicos e tecnológicos, proporcionando experiências educativas enriquecedoras e práticas.

Diante do exposto, considera-se que o professor tem em seu alcance várias opções metodológicas e um vasto leque de possibilidades para organizar sua interação com os estudantes, introduzir as ferramentas tecnológicas no currículo, trabalhar com os estudantes presencial e virtualmente e avaliá-los. Cada docente pode encontrar sua maneira mais adequada de integrar os inúmeros recursos tecnológicos e procedimentos metodológicos no seu dia a dia.

Portanto, é necessário que o docente compreenda que o processo de descrever, de refletir e de concluir não acontece simplesmente colocando o estudante em frente ao computador. Para que esse processo de interação aconteça naturalmente, ele precisa ser mediado por um profissional que amplie seus conhecimentos, tanto do ponto de vista computacional, quanto pedagógico e psicológico (Souza, 2011).

### 2.3 A HISTÓRIA DA FÍSICA NO ENSINO

Segundo a literatura, a história e a filosofia da ciência vêm sendo estudada e pesquisada no Brasil, especialmente a partir dos anos 1980. Como exemplo, evidencia-se Barros (1998), Carvalho (1998), Campanario (1998), Martins (2006), Matthews (1995), Silva (2009, 2010, 2011), Silva e Martins (2009), Snyders (1988), Vannucchi (1996) e Zanetic (1989), com propostas perscrutadoras e escopo de externar que a ciência é reestruturada continuamente e o alicerce científico mutável e infundavelmente discorrido.

A física é uma ciência milenar, que cativou cientistas, pensadores e estudiosos comprometidos em entender fenômenos naturais e, conseqüentemente, promover o progresso da sociedade com seus conhecimentos. Ela continua sendo importante para o progresso científico e tecnológico até os dias de hoje, com contribuições e impactos nos âmbitos econômico, social e político, mas nunca de maneira linear. Todavia, nas escolas, o ensino de física é apresentado como se ela fosse construída de forma linear. Segundo Pugliese (2017, p. 43), “não se faz investigação experimental e, portanto, não há erros, apenas as certezas dos livros didáticos. Não há revolução científica, não há incertezas, há apenas condicionamento ético”. Ainda de acordo com Pugliese (2017, p. 43),

Enquanto a história da física apresenta a física como uma ciência não linear e tampouco cumulativa, no sentido objetivo, o ensino de física nas escolas básicas demonstra características, sobretudo na análise do livro didático, de que os cientistas vão contribuindo com a construção da ciência de forma linear e cronologicamente cumulativa.

Perante o exposto, percebe-se que o ensino de física precisa de mudanças. Ensinar os conceitos físicos a partir da abordagem histórica dos

conceitos estudados é uma maneira de aproximar o conhecimento científico do universo cognitivo do estudante. A história da física pode auxiliar na compreensão da natureza e de como o universo se desenvolveu e está em constante construção. Ignorar a dimensão histórica da ciência reforça uma visão distorcida e fragmentada da atividade científica. Conforme Snyders (1988, p. 101), a inserção da história da física no processo de ensino-aprendizagem “é o elemento vital na passagem, na explicação pedagógica da ruptura entre a cultura primeira e a cultura elaborada”.

A história da física emerge como um campo cheio de possibilidades para compreender como o conhecimento científico é construído. No ensino da história da física, é possível e aconselhável mostrar aos estudantes diversas interpretações de fenômenos e problemas para que eles adotem uma postura crítica que os estimule a pensar, argumentar e se posicionar, assumindo, então, um papel ativo e reflexivo frente o conhecimento (Martins, 2017). Na busca pela formação integral do estudante, devemos incluir, além do domínio dos conceitos e do desenvolvimento do senso crítico e da capacidade de compreender e de discutir situações concretas e fenômenos de seu cotidiano. Sendo assim, existem muitos motivos para a utilização da história da física no ensino de física, dentre os quais, Zanetic (1989, p. 126-127) destaca:

[...] - A recuperação da Física enquanto área do conhecimento que tem muito a contribuir na formação cultural de um cidadão contemporâneo. Ao lado do algoritmo, da aplicação na solução de determinados problemas importantes, a História oferece o aspecto dinâmico de uma área do conhecimento em evolução e/ou mudança.

- A História da Física oferece situações exemplares de rica utilização do imaginário, vitais tanto para o cientista quanto para o cidadão contemporâneo.

- Uma formação crítica e necessária para a luta pela transformação social passa pela compreensão da construção do conhecimento e não apenas de seus sucessos: Isto traz implícito o propósito de desmistificar e humanizar a prática científica, ao mesmo tempo oferecendo condições para discutir a apropriação do conhecimento pelas classes dominantes.

A partir disso se percebe que a utilização da história da física pode, não só auxiliar na compreensão dos conteúdos científicos, como também no próprio processo de desenvolvimento cognitivo do estudante. Por meio dos exemplos do passado, dos erros e dos acertos presentes nos trabalhos das gerações

anteriores, é possível extrair lições para se alcançar destaque no presente e diante dos acontecimentos que se apresentam.

Em relação aos Parâmetros Curriculares Nacionais, também existe a preocupação de inserir a história da ciência no ensino. Na proposta do documento há uma nova forma de construir o conhecimento que engloba também a utilização da história da ciência no ensino, como se observa em alguns de seus objetivos:

Compreender a Ciência como um processo de produção do conhecimento e uma atividade humana, histórica, associada a aspectos de ordem social, econômica, política e cultural; identificar relações entre conhecimento científico, produção de tecnologia e condições de vida, no mundo de hoje e em sua evolução histórica, e compreender a tecnologia como meio de suprir as necessidades humanas, sabendo elaborar juízo sobre riscos e benefícios das práticas científico-tecnológicas (Brasil, 1998, p. 33).

No que diz respeito à inclusão da história da ciência no ensino de física no ensino médio, os Parâmetros Curriculares Nacionais enfatizam em suas diretrizes o uso da história da ciência para que o ensino de física,

[...] na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação (Brasil, 1999, p. 229).

A Base Nacional Comum Curricular do Ensino Médio (BNCC), aprovada em 2018, propõe que se encontrem alternativas para a efetivação do desenvolvimento das habilidades e das competências. Uma delas pode ser encontrada por meio da abordagem da história das ciências. O primeiro objetivo expressa claramente a história da ciência no ensino ao afirmar a importância de “[...] apropriar-se da cultura científica como permanente convite à dúvida, reconhecendo-a como um empreendimento humano, portanto, histórico e social, e considerando seus princípios como sínteses provisórias de uma construção ininterrupta” (BRASIL, 2017, p. 584).

Ainda, no trecho a seguir, se constata a importância de tal temática no ensino e deixa esclarecido que a física pertence a uma construção histórica

social marcada por rupturas e continuidades, bem como por ideias superadas ao longo do tempo.

Isso significa, em primeiro lugar, focalizar a interpretação de fenômenos naturais e processos tecnológicos de modo a possibilitar aos estudantes a apropriação de conceitos, procedimentos e teorias dos diversos campos das Ciências da Natureza. Significa, ainda, criar condições para que eles possam explorar os diferentes modos de pensar e de falar da cultura científica, situando-a como uma das formas de organização do conhecimento produzido em diferentes contextos históricos e sociais, possibilitando-lhes apropriar-se dessas linguagens específicas (Brasil, 2018, p. 113).

Devido aos fatores expostos, a abordagem da história no ensino de física pode auxiliar na aprendizagem dos estudantes e contribuir para que eles se manifestem de uma maneira diferente em relação à disciplina, que percebam desafios que possibilitem o seu desenvolvimento pessoal. Assim, o estudo da física a partir de uma perspectiva histórica pode contribuir para que os alunos identifiquem que em algum momento da história pensadores e/ou pesquisadores podem ter pensado de forma semelhante a eles, fazendo com que suas concepções possam evoluir.

Desta forma, a história da física transparece os desafios que originaram os conceitos. A narrativa histórica revela esses conceitos, expondo seus significados. Qualificando a aprendizagem significativa como uma ponte entre o conhecimento prévio do estudante e o teor do que está a ser ensinado, o estudo da história da física possui potencialidade para enriquecer a formação dos estudantes, fornecendo-lhes elementos para o fundamento da aprendizagem significativa.

## 2.4 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL E O USO DOS AMBIENTES VIRTUAIS

Para Moreira (1998, p. 05), “[...] a aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se, de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo”, ou seja, os novos conhecimentos adquiridos em cada fase relacionam-se com o conhecimento prévio que o estudante possui. Com isso, percebe-se que a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel

chama a atenção para um dos fatores mais importante no processo de aprendizagem, aquilo que o estudante já sabe. Isso é, o conhecimento prévio, “[...] o fator isolado mais importante influenciando a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; determine isso e ensine-o de acordo” (Ausubel *apud* Moreira; Masini, 1982, p. 08). Quando isso ocorre, o resultado é crescimento, aprimoramento do conceito existente e até possibilidade de mudança das concepções alternativas.

Em sua teoria, Ausubel (*apud* Moreira; Masini, 1982) define o conhecimento prévio como “conceito subsunçor” ou simplesmente “subsunçor”. Os subsunçores são estruturas específicas de conhecimento ao qual uma nova informação pode ser agregada às informações já existentes, produzindo novas aprendizagens.

A aprendizagem de significados (conceitos) é aquela mais relevante aos seres humanos. Ela ressalta que a maior parte da aprendizagem acontece de forma receptiva e desse modo à humanidade tem se amparado para transmitir as informações ao longo das gerações. Uma de suas contribuições é marcar claramente a distinção entre aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica. A segunda acontece quando o conteúdo a ser aprendido não consegue se ligar a algo já conhecido, ou seja, ocorre uma aprendizagem mecânica quando as novas informações são assimiladas momentaneamente sem interagirem com conceitos importantes existentes na estrutura cognitiva do estudante, sendo guardadas aleatoriamente. De acordo com Moreira (1982, p. 09):

Ausubel define aprendizagem mecânica (*rote learning*) como sendo a aprendizagem de novas informações com pouca ou nenhuma associação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva. Neste caso, a nova informação é armazenada de maneira arbitrária. Não há interação entre a nova informação e aquela já armazenada. O conhecimento assim adquirido fica arbitrariamente distribuído na estrutura cognitiva sem ligar-se a conceitos subsunçores específicos.

De acordo com a teoria, a aprendizagem significativa apresenta três vantagens essenciais em relação à aprendizagem mecânica. Em primeiro lugar, o conhecimento que se adquire de maneira significativa é retido e lembrado por mais tempo. Em segundo, aumenta a capacidade de aprender outros conteúdos de maneira mais fácil, mesmo se a informação original for esquecida. E, em

terceiro, uma vez esquecida, facilita a aprendizagem seguinte – a “reaprendizagem”, para dizer de outra maneira (Moreira, 1982).

Ausubel (1982) destaca que os conceitos estudados precisam provocar sentido para o aluno no processo de ensino e as novas informações necessitam interagir e fundar-se nos conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aluno. Assim, para o autor, a aprendizagem significativa se comprova quando o banco de dados do plano mental do aluno aparece. Ele ainda sugere que, nesse processo, é necessária a utilização de organizadores prévios para amparar a nova aprendizagem e para que o estudante desenvolva os conceitos subsunçores, de modo a viabilizar a aprendizagem posterior.

Os organizadores prévios são informações e recursos introdutórios que devem ser apresentados antes do conteúdo a ser trabalhado; eles são ferramentas apresentadas para introduzir o conteúdo a ser estudado. Os organizadores devem funcionar como elemento atrativo ao aluno, com a intenção de provocar o interesse e a vontade em aprender. Sua elaboração deve ser pensada de maneira prática e conhecida, ou seja, familiar ao aluno, mas precisa ser considerada como um material de valor pedagógico. Ademais, organizadores prévios não são simples comparações introdutórias. Eles devem, segundo Moreira (1982, p. 13):

- 1 - Identificar o conteúdo relevante na estrutura cognitiva e explicar a relevância desse conteúdo para a aprendizagem do novo material;
- 2 - Dar uma visão geral do material em um nível mais alto de abstração, salientando as relações importantes;
- 3 - Prover elementos organizacionais inclusivos que levem em consideração, mais eficientemente, e ponham em melhor destaque o conteúdo específico do novo material

Já para Ausubel, a função primordial dos organizadores prévios é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deveria saber a fim de que o novo material possa ser aprendido de forma significativa. Para que ocorra essa aprendizagem significativa, segundo Santos (2009, p. 55), é necessário que:

O material a ser assimilado seja Potencialmente Significativo, ou seja, não arbitrário em si. Mesmo materiais arbitrários então, podem ser tornados significativos através de organizadores prévios. Ocorra um conteúdo mínimo na Estrutura Cognitiva do indivíduo, com subsunçores em suficiência para suprir as necessidades relacionais. O



aprendiz apresente uma disposição para o relacionamento e não para simplesmente memorizá-lo mecanicamente muitas vezes até simulando uma associação. Muito comum em estudantes acostumados a métodos de ensino, exercícios e avaliação repetitivos e rigidamente padronizados.

A utilização de textos surge como um auxílio ao ensino das mais diversas áreas, inclusive na área das ciências. Eles devem ser usados como um meio (um recurso que pode facilitar o ensino e a aprendizagem) e um instrumento de fonte de informação. Torná-los mais presentes no cotidiano escolar é uma ferramenta que contribui para a construção do conhecimento. Quanto a isso, os Parâmetros Curriculares Nacionais (1997, p. 30) afirmam que:

Cabe a escola viabilizar o acesso do aluno ao universo dos textos que circulam socialmente, ensinar a produzi-los e a interpretá-los. Isso inclui os textos das diferentes disciplinas, com os quais o aluno se defronta sistematicamente no cotidiano escolar e, mesmo assim, não consegue manejar, pois não há um trabalho planejado com essa finalidade (PCN, 1997, p. 30).

Aproveitando esta ferramenta, os textos históricos funcionam como organizadores prévios que possibilitam a interação entre os conceitos novos e os já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes. Nos roteiros pedagógicos desenvolvidos, utilizam-se textos elaborados e/ou adaptados como organizadores prévios, pois eles contribuem para que o estudante reflita sobre o que ele já sabe e o que está presente na literatura, sobre o que foi observado, testado e discutido até a elaboração da teoria, possibilitando o aprendizado de maneira significativa.

A teoria da aprendizagem de Ausubel indica aspectos que podem facilitar a aprendizagem dos estudantes. Para alcançar a efetivação de uma aquisição dessa natureza, recorre-se aos recursos tecnológicos, como por exemplo, o uso de AVAs. Isso se deve ao fato de que a aprendizagem significativa é um processo gradual, no qual a linguagem e a interação entre estudantes e entre estudantes e professores são importantes.

A ideia de utilizar um ambiente virtual está relacionada à adequação aos diferentes estilos de aprendizagem dos estudantes, possibilitando que eles aproveitem e se tornem protagonistas na construção do conhecimento, com adaptações às suas necessidades. Para Bergmann, Overmyer e Wilie (2012 *apud* Trevelin; Pereira; Neto, 2013), o estudo online promove um ambiente de

aprendizagem onde o aluno é responsável pelo seu próprio aprendizado, despertando assim sua autonomia para os estudos. Os autores destacam que o conteúdo fica permanentemente disponibilizado aos alunos, de modo que possam visualizá-lo quantas vezes quiserem, pausando, retrocedendo ou adiantando, respeitando o seu ritmo de aprendizado.

A partir do princípio de que os estudantes estejam familiarizados com as tecnologias digitais, os professores podem propor situações didáticas com as ferramentas que promovam a organização e a análise de informações. Com isso se objetiva envolver os estudantes em um exercício contínuo de reflexão e de ação. Essa abordagem pode promover o fortalecimento do senso crítico e criativo, além do desenvolvimento de outras competências. Neste ambiente, também podem ocorrer conflitos entre o conhecimento científico e as concepções alternativas que, quando resolvidas, propiciam uma aprendizagem significativa.

### 3 NATUREZA DA LUZ

A luz, fascinante e central nas ciências físicas, tem instigado a curiosidade humana ao longo da história. Diversos estudos foram desenvolvidos com teorias e experimentos ao longo dos séculos para compreender a complexidade desse fenômeno que se comporta simultaneamente como partícula e onda. Newton propôs sua teoria corpuscular da luz no século XVII. Ele a via como uma corrente de partículas minúsculas, explicando características como a reflexão e a refração. No entanto, o mistério da luz não se restringe a uma única interpretação.

Ao longo do século XIX, a teoria ondulatória da luz ganhou destaque, liderada por Fresnel e Young. Essa abordagem explicava tendências como interferência e difração, desafiando a visão exclusivamente corpuscular de Newton. Um maior entendimento sobre a natureza da luz veio com a teoria quântica desenvolvida no início do século XX. Inicialmente, na resolução do problema do corpo negro, Planck postulou que a radiação no interior de uma cavidade é quantizada. Mais tarde, Einstein introduziu a hipótese de que a radiação eletromagnética - e, portanto, a luz - era quantizada. Ele utilizou esta hipótese para explicar o efeito fotoelétrico. Nas décadas seguintes, Heisenberg e Schrödinger, entre outros, desenvolveram a mecânica quântica, oferecendo uma estrutura para entender a natureza das partículas subatômicas e a luz.

Ao refletir-se sobre a natureza da luz, é essencial considerar essas contribuições históricas. Cada físico, em sua época, proporcionou uma peça valiosa para o quebra-cabeça que é a compreensão completa da luz. Neste percurso, explora-se as ideias desses renomados estudiosos para desvendar os mistérios da luz e suas implicações nas fronteiras da física contemporânea.

#### 3.1 PRIMEIRAS IMPRESSÕES

A radiação eletromagnética, composta por campos elétricos e magnéticos oscilantes simultaneamente, apresenta um comportamento ondulatório, cuja frequência determina sua visibilidade pelo olho humano. A intensidade energética associada à luz é diretamente proporcional à sua frequência,

evidenciando um brilho intrínseco entre esses atributos fundamentais (Young; Freedman, 2016).

A dualidade onda-partícula da luz, uma ideia consolidada em 1930 com o desenvolvimento da eletrodinâmica quântica, revela que a luz pode ser descrita tanto como uma onda quanto como partículas discretas, denominadas fótons. Estas ocorrências, aparentemente contraditórias, revelam-se fundamentais para uma compreensão abrangente da natureza da luz. No contexto da dualidade, é relevante ressaltar que a quantização da luz em fótons é essencial para explicar especificidades como emissão e absorção luminosa. A teoria quântica, que unifica essas propriedades aparentemente discrepantes, fornece uma base teórica robusta para abordar a luz (Young; Freedman, 2016).

Delinear as características específicas do comportamento ondulatório e corpuscular da luz é importante para uma compreensão holística. Enquanto a propagação da luz pode ser descrita por um modelo ondulatório, a justificativa dos processos de emissão e de absorção exige uma atenção cuidadosa de sua natureza corpuscular (Young; Freedman, 2016). Além disso, ao examinar a luz como uma forma de energia em movimento, deve-se levar em conta a dependência de sua velocidade com o meio de propagação. A velocidade da luz é uma constante fundamental na física e tem um valor conhecido no vácuo, que é de aproximadamente 300.000.000 m/s, geralmente denotada pela letra  $c$ . Esta é a velocidade máxima que a luz pode atingir no vácuo e é uma constante universal, segundo a teoria da relatividade restrita de Einstein. No entanto, quando a luz passa por meios materiais, como vidro, água ou outros meios transparentes, sua velocidade pode diminuir. Isso ocorre devido à interação da luz com os átomos e as moléculas do meio, resultando em absorção e em reemissão dos fótons.

A velocidade da luz em um meio material, na maioria das vezes, é representada por  $v$  e é dada pela relação:  $v = \frac{c}{n}$ , em que  $n$  é o índice de refração do material que é a medida da rapidez com que a luz se propaga no meio quando se compara com sua velocidade no vácuo. Quanto maior o índice de refração, menor será a velocidade da luz no material. Essa mudança na velocidade da luz, ao atravessar diferentes meios, é uma das bases para fenômenos ópticos e

serve para o entendimento de diversas aplicações da luz na ciência e na tecnologia (Young; Freedman, 2016).

### 3.2 CONFRONTO DE PARADIGMAS: NEWTON E HUYGENS NA TEORIA DA LUZ

A compreensão da natureza da luz tem sido moldada por teorias contrastantes propostas por físicos ao longo da história. Newton e Huygens, no século XVII, emergiram como protagonistas neste cenário, contribuindo com abordagens distintas que refletem perspectivas fundamentais sobre a natureza da luz.

Newton propôs uma teoria corpuscular da luz, na qual postulou que a luz era composta por partículas materiais, designadas corpúsculos. Determinar o momento exato em que o interesse de Newton pelo estudo da luz e das cores teve início é uma tarefa desafiadora, embora algumas intenções lancem luz sobre esse período inicial de sua trajetória intelectual. Em 1659, aos 16 anos, ele residia em Grantham, preparando-se para ingressar no *Trinity College de Cambridge* e, conseqüentemente, iniciando os seus estudos universitários. Segundo Martins e Silva (2015, p. 2):

Os primeiros registros claros do interesse de Newton a respeito de óptica (no nosso sentido) datam de 1664. O historiador Alfred Rupert Hall sugeriu que uma parte de seu interesse por óptica, nessa época, pode ter sido devida a Isaac Barrow, professor de Cambridge, com quem Newton começou a ter contato no início de 1664. Nesse ano ele começou a registrar suas leituras e reflexões sobre este e outros assuntos em um caderno de anotações, cuja parte principal intitulou "Algumas questões filosóficas" (*Quaestiones quaedam philosophicae*; manuscrito conservado na *Cambridge University Library*). Nesse ano Newton estava para concluir seus estudos na universidade e se dedicava por conta própria ao estudo de diversos livros sobre matemática e filosofia que não eram exigidos dos alunos de Cambridge.

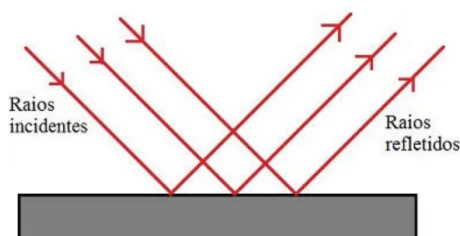
Newton tinha uma curiosidade intrínseca por uma variedade de temas que já se manifestavam intensamente nessa fase. Em um pequeno caderno de anotações, preservado atualmente na *Pierpont Morgan Library*, em Nova York, o físico transcreveu diversas receitas e orientações práticas relacionadas ao desenho e à pintura. Essas observações incluíam detalhes sobre a preparação

de misturas de cores para representar nuances específicas, como a ênfase da pele em retratos, figuras nuas ou as mesmas representações de cadáveres (Martins; Silva, 2015).

De acordo com Almeida (2007), desde a adolescência, Newton demonstrou um interesse genuíno pela arte do desenho, além de se envolver com trabalhos manuais envolvendo madeira e construção de pequenas máquinas. No entanto, permanece incerto se esse antigo fascínio por tintas e núcleos exerceu influência direta em seus estudos posteriores sobre óptica. A complexa interseção entre os interesses artísticos e científicos de Newton, evidenciada por suas anotações sobre misturas de cores e de técnicas de pintura, suscita questionamentos intrigantes sobre a possível conexão entre suas incursões artísticas precoces e os desenvolvimentos subsequentes em sua compreensão da luz e da ótica (Silva, 2010).

Em sua obra *Óptica* (1704), Newton apresentou a ideia de que uma luz branca poderia ser decomposta em diferentes núcleos através de prismas e cada cor era composta por corpúsculos de diferentes tamanhos. Ele observou e relatou que, ao passar por um prisma, a luz branca se decompõe em um espectro colorido que abrange todos os núcleos do arco-íris. Para compreender como a Óptica de Newton explica os aspectos da reflexão e da refração, é fundamental entender os conceitos básicos da óptica e os princípios fundamentais envolvidos. A reflexão e a refração são duas características ópticas diferentes que ocorrem quando a luz interage com superfícies ou meios diferentes. A reflexão ocorre quando a luz incide sobre uma superfície e retorna ao meio de origem, conforme a Figura 1.

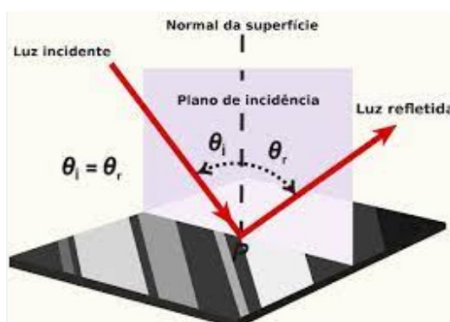
Figura 1: Reflexão da luz



Fonte: TEIXEIRA, Mariane Mendes. Ilustração 2. Disponível em: Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-reflexao-luz.htm>. Acesso em 05 de dezembro de 2023.

Ao investigar o fenômeno da reflexão, Newton observou experimentalmente que quando a luz atinge uma superfície refletora, ela segue a Lei da Reflexão. Essa lei estabelece que o ângulo de incidência (o ângulo entre a direção da luz incidente e a normal à superfície) é igual ao ângulo de reflexão (o ângulo entre a direção da luz refletida e a normal à superfície), quando medidos em relação à superfície refletora (Figura 2).

Figura 2: Lei da reflexão da luz

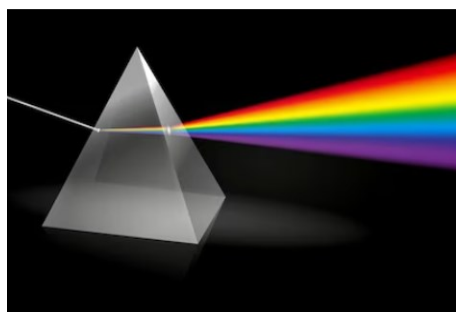


Fonte: HELERBROCK, Rafael. Ilustração 1. Disponível em:

<https://www.preparaenem.com/fisica/reflexao-da-luz.htm>. Acesso em 05 de dezembro de 2023.

Já a refração ocorre quando a luz atravessa uma superfície entre dois meios com índices de refração diferentes. Newton também estudou a refração e declarou que a luz branca, ao passar por um prisma (Figura 3), se curva em direção ao prisma e se separa em diferentes núcleos devido aos diferentes índices de refração para cada cor.

Figura 3: Refração da luz em um Prisma



Fonte: SOUZA, Wesley. Ilustração 1. Disponível em:

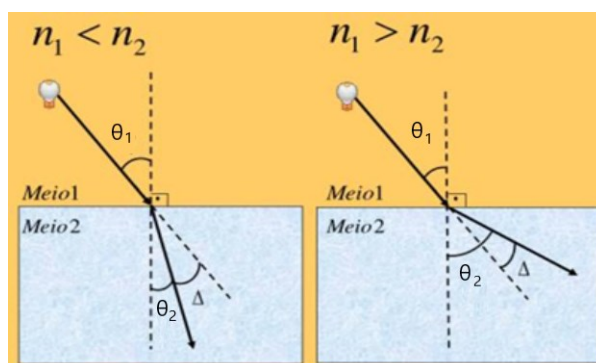
<https://fisicacuriosablog.wordpress.com/2017/01/13/refracao-da-luz-como-funciona>. Acesso em 05 de dezembro de 2023.

Atualmente a refração é descrita matematicamente a partir da Lei de Snell ou Lei da Refração da luz que descreve como a luz se comporta quando passa de um meio para outro com índices de refração diferentes. A lei descreve a relação entre os ângulos de incidência e de refração da luz ao passar de um meio para outro. Ela é expressa da seguinte forma:

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Essa equação descreve a relação entre os ângulos de incidência ( $\theta_1$ ) e de refração ( $\theta_2$ ), dependendo dos índices de refração dos meios envolvidos ( $n_1$  e  $n_2$ , respectivamente). Geralmente, quando a luz passa de um meio com um índice de refração menor para um meio com um índice de refração maior (por exemplo, do ar para a água), ela se desvia em direção à normal à superfície. Por outro lado, quando passa de um meio com um índice de refração maior para um meio com um índice de refração menor (da água para o ar, por exemplo), ela se afasta da normal à superfície, como podemos observar na Figura 4.

Figura 4: Lei da refração da luz



Fonte: 2013. Ilustração 3. Disponível em: <https://www.slideserve.com/dunn/leis-da-refra-o>.

Acesso em 05 de dezembro de 2023.

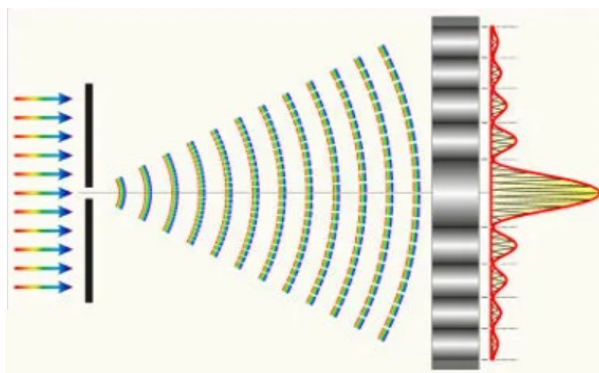
O modelo corpuscular, apesar de explicar que a reflexão e a refração possuíam limitações, “não conseguia explicar como os raios de luz que se cruzavam, não interagiam uns com os outros. Se eles fossem feitos de corpúsculos, como um raio não desviava o outro? Como a luz passava ‘dentro’ da luz?” (Forato, 2016, p. 52). O modelo também não era capaz de explicar outros fenômenos, como a interferência e a difração.



Em 1665, Grimaldi publicou *Physicomathesis de Lumine, Coloribus et Iride, Bononiæ*, onde discutiu especificamente a difração da luz, apresentando conceitos fundamentais que ajudaram na posterior compreensão da óptica (Moura; Boss, 2015).

Grimaldi propôs que, ao passar por uma abertura estreita ou ao contornar uma borda afiada, a luz exibia comportamentos que não poderiam ser adequadamente explicados pelos princípios da óptica geométrica tradicional. Ele observou que, em vez de simplesmente se propagar em linha reta, a luz apresentava padrões complexos e zonas de sombra ao interagir com essas aberturas. Essas observações levaram Grimaldi a formular a hipótese de que a luz se difrata quando encontra obstáculos ou aberturas. Em outras palavras, a difração da luz é o fenômeno observado quando a luz encontra uma abertura estreita ou passa por uma pequena fenda (Figura 5). Ela pode se espalhar ou se difratar em torno dessas bordas, gerando padrões característicos de interferência luminosa. Esses padrões podem incluir franjas de luz e sombras que não são consistentes com as previsões da óptica geométrica.

Figura 5: Difração da luz



Fonte: HELERBROCK, Rafael. Ilustração 2. Disponível em:

<https://www.preparaenem.com/fisica/difracao.htm>. Acesso em 05 de dezembro de 2023.

É importante notar que, embora Grimaldi tenha feito observações sobre a difração da luz, a compreensão completa e a formulação matemática detalhada da difração foram desenvolvidas posteriormente por outros cientistas, como Fresnel e Arago, no século XIX.

Ademais, a teoria moderna da difração da luz incorpora princípios da teoria ondulatória da luz e é matematicamente descrita por equações

específicas, como as equações de difração de Fraunhofer e Fresnel. Essas equações fornecem uma base teórica para entender e calcular os padrões de difração observados experimentalmente (Bassalo, 1989).

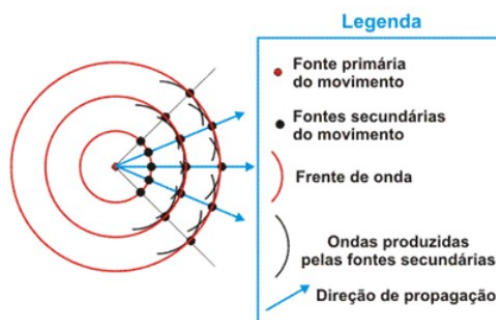
Ao abordar o trabalho de Newton na mesma época, Grimaldi se deparou com uma história intrigante de teorias contrastantes. Newton tinha uma teoria corpuscular da luz proposta na *Óptica* (1704) que divergia da visão predominantemente da época que favorecia uma abordagem ondulatória, como a defendida por Grimaldi e outros. Enquanto Grimaldi enfatizava características ondulatórias, a teoria de Newton representava um desafio aos paradigmas estabelecidos, destacando a dualidade de perspectivas na compreensão da natureza da luz (Moura; Boss, 2015).

A teoria de Newton e as perspectivas ondulatórias de Grimaldi refletem a complexidade e a riqueza do debate científico na época. A obra de Grimaldi oferece uma visão profunda da contínua evolução das ideias sobre a luz, renunciando debates e descobertas futuras que moldariam a compreensão moderna da óptica. Assim, ao explorar as contribuições de Grimaldi e as respostas à teoria de Newton, se tem uma avaliação mais completa do dinamismo intelectual que caracterizou o avanço da ciência óptica no século XVII (Silva, 2010).

Em contraste a essa discussão, Huygens propôs uma abordagem ondulatória da luz. Sua teoria, apresentada na obra *Tratado da Luz* (1690), sugeria que a luz se propagasse como ondas esféricas que se expandissem em todas as direções a partir de uma fonte pontual. Huygens utilizou essa abordagem para explicar especificações, como a difração de luz ao redor de obstáculos, fornecendo uma explicação convincente para padrões de interferência. Assim, a teoria da luz proposta por Huygens representa uma contribuição significativa para a compreensão das questões ópticas, constituindo-se em um arcabouço teórico que transcende seu contexto histórico e perdura como um pilar na história da física (Reis, 2000).

Ademais, a abordagem de Huygens postula que a luz é disseminada como uma onda, consistindo em perturbações que se propagam no espaço. Essas ondas são concebidas como esferas concêntricas que emanam de cada ponto de uma frente de onda, denominadas frentes de onda secundárias, (ilustradas na Figura 6).

Figura 6: Propagação da luz como onda

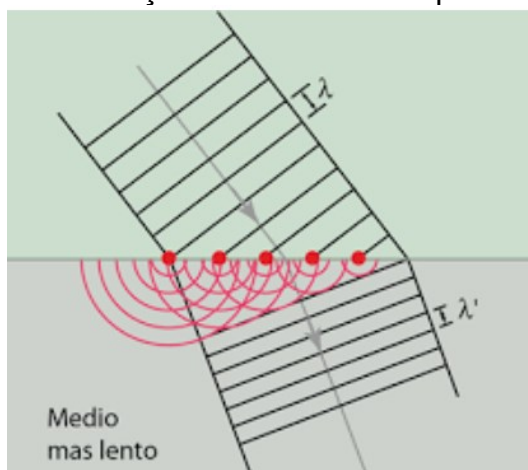


Fonte: ALVES, Natália. Ilustração 8. Disponível em:

<https://www.gestaoeducacional.com.br/principio-de-huygens-o-que-e/>. Acesso em 05 de dezembro de 2023.

Essas frentes secundárias, por sua vez, servem como fontes de novas ondas. O somatório consistente de todas essas contribuições resultam na formação de uma nova frente de onda. Esse processo contínuo de propagação e de criação de bandas secundárias permite explicar especificidades, como a refração e a difusão da luz, conforme representado na Figura 7.

Figura 7: Refração e difusão da luz por Huygens

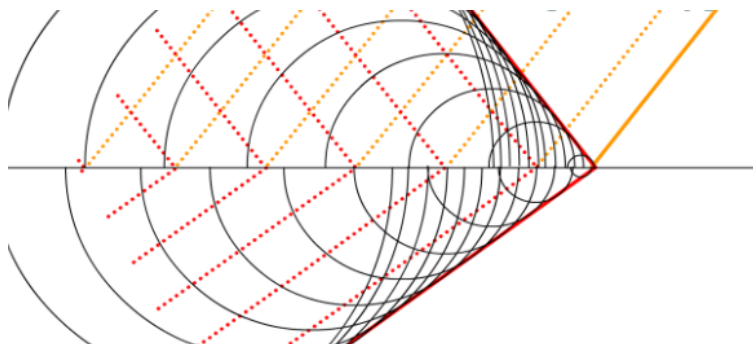


Fonte: Princípio de Huygens. Ilustração 2. Disponível em: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/huygen.html>. Acesso em 05 de dezembro de 2023.

No caso da reflexão, o Princípio de Huygens sugere que, ao incidir em uma superfície refletora, cada ponto na frente de onda produz ondas secundárias

esféricas. A interação dessas ondas secundárias resulta na formação de uma nova frente de onda refletida (Figura 8).

Figura 8: Refração e reflexão da luz por Huygens

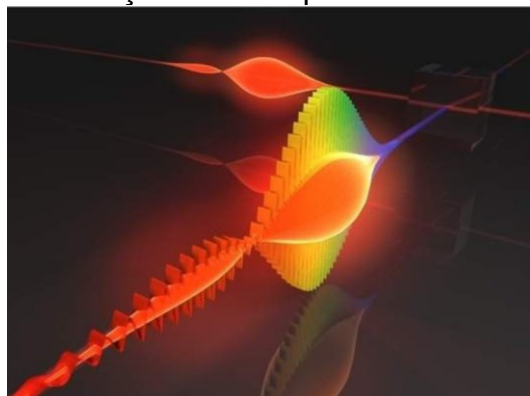


Fonte: YUASA, Kouichi. Ilustração 1. Disponível em: <https://www.casadasciencias.org/recurso/6792>. Acesso em 05 de dezembro de 2023.

No contexto da refração (Figura 7), a teoria de Huygens também oferece uma explicação. Ao atravessar uma superfície de separação entre dois meios ópticos diferentes, cada ponto na frente de onda gera ondas secundárias esféricas. A mudança na velocidade da propagação da luz, ao atravessar os meios, resulta em uma alteração na direção da frente de onda refratada.

Ao se aplicar os princípios da física à teoria de Huygens, torna-se evidente que a propagação da luz ocorre através de um meio descartável, por ar ou outro material transparente. As ondas de Huygens podem ser entendidas como vibrações no campo elétrico e magnético (Figura 9), sendo descritas pelas equações de Maxwell. Assim, essa teoria mostra-se especialmente relevante na interpretação de questões como a interferência e a polarização da luz.

Figura 9: Vibrações no campo elétrico e magnético



Fonte: Luz e radiação, 2019. Ilustração 1. Disponível em:

[https://www.google.com/imgres?imgurl=https://i.ytimg.com/vi/EpfbBpySKuo/hqdefault.jpg&tbnid=PjXT2vr\\_IXOCYM&vet=1&imgrefurl=https://m.youtube.com/watch?v%3DEpfbBpySKuo&docid=e\\_hux220TxA3mM&w=480&h=360&hl=pt-BR&gl=BR&source=sh/x/im/m1/2](https://www.google.com/imgres?imgurl=https://i.ytimg.com/vi/EpfbBpySKuo/hqdefault.jpg&tbnid=PjXT2vr_IXOCYM&vet=1&imgrefurl=https://m.youtube.com/watch?v%3DEpfbBpySKuo&docid=e_hux220TxA3mM&w=480&h=360&hl=pt-BR&gl=BR&source=sh/x/im/m1/2). Acesso em 05 de dezembro de 2023.

Cumprer ressaltar que, embora a teoria de Huygens tenha sido inicialmente recebida com ceticismo, ela se revelou fundamental no posterior desenvolvimento da óptica ondulatória (Silva, 2010). Autores como Young e Fresnel, no século XIX, aprimoraram e corroboraram os fundamentos da teoria de Huygens, consolidando-a como uma explicação robusta para diversas visões ópticas.

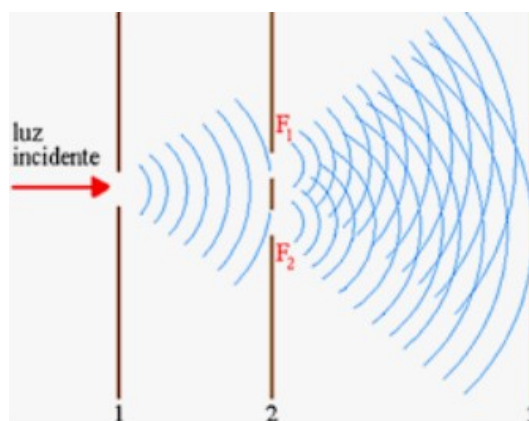
Os livros didáticos de física e as narrativas difundidas sobre a história da óptica frequentemente atribuem ênfase significativa ao alegado embate entre a óptica ondulatória de Huygens e a teoria corpuscular proposta por Newton. Contudo, é imperativo destacar que praticamente todos os estudos de Newton sobre a luz foram elaborados muito antes da publicação da *magnum opus* de Huygens, o *Tratado sobre a luz*, divulgado em 1690 (Young; Freedman, 2016). Além disso, não houve críticas mútuas entre esses dois pesquisadores em suas respectivas publicações; pelo contrário, eles mantinham uma relação amistosa, pautada pelo respeito. Newton direcionou suas críticas de maneira eficaz a Descartes e Hooke, que algumas das críticas por ele elaboradas em relação a esses pensadores são aplicáveis, de forma correlata, à teoria de Huygens (Moura; Boss, 2015).

O confronto entre as teorias de Newton e Huygens tornou-se emblemático na história da física, refletindo a complexidade da natureza dual da luz. A discussão se aprofundou com a obra de Young no início do século XIX, que propôs experimentos de interferência para validar a teoria ondulatória. Fresnel, por sua vez, refinou a teoria de Huygens e, juntamente com a matemática de Arago, explicou satisfatoriamente as características ópticas que desafiavam a teoria corpuscular.

### 3.3 YOUNG, MAXWELL E HERTZ

A teoria ondulatória da luz proposta por Young no início do século XIX desencadeou uma revolução conceitual na óptica, fornecendo uma alternativa à visão predominante da luz como partícula. O físico postulou que a luz é uma onda, uma ideia que contrastava com a teoria corpuscular defendida por Newton. Young baseou suas conclusões em experimentos, incluindo o experimento da dupla fenda. Nesse experimento, observou padrões de interferência (Figura 10) que só poderiam ser explicados pela natureza ondulatória da luz. Sua teoria forneceu uma explicação mais abrangente para fenômenos ópticos complexos, como a difração e a interferência, pois mostrou que partículas não seriam suscetíveis à interferência (Bassalo, 1989).

Figura 10: Padrões de interferência



Fonte: SILVA, Domiciano Correa Marques da. Ilustração 1. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/experimento-das-duas-fendas.htm>. Acesso em 07 de dezembro de 2023.

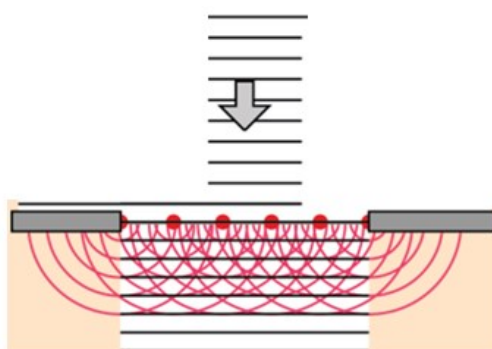
Os resultados obtidos por Young tiveram um papel importante no ressurgimento dos modelos ondulatórios, fornecendo a base essencial para que Fresnel (1788-1827), físico e engenheiro francês, desenvolvesse um modelo matemático abrangente para a luz. Esses avanços, em consonância com as pesquisas de Young, impulsionaram a compreensão do modelo ondulatório da luz (Young; Freedman, 2016).

Fresnel não apenas fundamentou de maneira matemática o modelo ondulatório da luz, mas também emergiu como vencedor de um concurso

promovido pela Academia de Ciências da França, em 1819. A Academia promoveu o concurso para investigar a natureza da luz e a teoria da difração. Fresnel apresentou um texto científico sobre a natureza ondulatória da luz, mostrando que a luz se comportava como uma onda - ideia contrária a visão predominante na época de que a luz consistia em partículas. Apesar de, inicialmente, haver resistência de alguns membros da Academia que apoiavam a teoria corpuscular de Newton, uma evidência experimental subsequente de Young ajudou a validar as ideias de Fresnel. Instituição fortemente influenciada pelo modelo corpuscular de Newton, essa dualidade de perspectivas destacou a complexidade e a intensidade do debate científico na época (Silva, 2010).

Fresnel dedicou-se principalmente ao estudo da natureza ondulatória da luz, contribuindo para a consolidação e o desenvolvimento da teoria ondulatória. Sua abordagem baseava-se em sólidos fundamentos matemáticos e experimentos cuidadosamente elaborados. Uma das contribuições de Fresnel foi a sua formulação matemática da teoria da difração, que descreve como as ondas de luz se curvam ao redor de obstáculos e se espalham ao passar por fendas. Essa teoria explicou fenômenos ópticos complexos que a óptica geométrica não conseguia abordar. A difração, como observado na Figura 11, é um fenômeno observado quando a luz encontra uma borda ou uma fenda. Ela tornou-se central nas investigações e proporcionou um entendimento mais profundo sobre o comportamento ondulatório da luz (Silva, 2010).

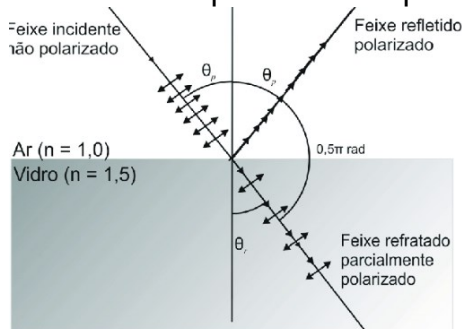
Figura 11: Difração da luz



Fonte: Princípio de Huygens. Ilustração 3. Disponível em: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/huygen.html>. Acesso em 05 de dezembro de 2023.

Outra contribuição importante de Fresnel foi sua teoria sobre a polarização da luz. Essa teoria refere-se à orientação preferencial das oscilações elétricas em uma onda de luz. As principais conclusões da teoria de Fresnel sobre a polarização da luz incluem a reflexão parcialmente polarizada (Figura 12) e o Ângulo de Brewster. Sobre a reflexão, o físico percebeu que durante a reflexão de uma onda de luz em uma superfície não metálica, as ondas refletidas podem ser parcialmente polarizadas, uma vez que a quantidade de polarização depende do ângulo de incidência da luz.

Figura 12: Reflexão parcialmente polarizada



Fonte: CAETANO, Daniel Lucas Zago, 2014. Ilustração 8. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/figure/Figura-82-Esquema-mostrando-a-polarizacao-por-reflexao-O-feixe-refletido-e-totalmente\\_fig5\\_265686500](https://www.researchgate.net/figure/Figura-82-Esquema-mostrando-a-polarizacao-por-reflexao-O-feixe-refletido-e-totalmente_fig5_265686500). Acesso em 05 de dezembro de 2023.

Sobre o Ângulo de Brewster, a luz refletida torna-se completamente polarizada perpendicularmente ao plano de incidência. O estudioso desenvolveu a hipótese de que a luz é uma onda transversal e sua explicação para a polarização forneceu uma descrição desse fenômeno. Ademais, seus trabalhos nessa área foram essenciais para o posterior desenvolvimento da teoria eletromagnética da luz (Silva, 2010).

Conforme Silva (2010), Fresnel também se destacou ao apresentar uma explicação ondulatória para a reflexão e a refração da luz, propondo uma abordagem matemática que conciliava suas observações experimentais com os princípios fundamentais da teoria de ondas. Essa formulação mais abrangente proporcionou uma compreensão mais integrada dos fenômenos ópticos.

Considerando os desenvolvimentos na óptica no final do século XIX, Maxwell unificou as teorias elétrica e magnética, culminando nas equações de Maxwell. Essas equações descrevem a luz como onda eletromagnética, unificando as teorias elétrica e óptica. Maxwell expandiu o escopo da teoria



ondulatória para incluir fenômenos eletromagnéticos, proporcionando uma base para a compreensão da luz como uma onda eletromagnética transversal. As equações de Maxwell são um conjunto de quatro equações utilizadas para entender fenômenos como a propagação da luz e os campos elétricos e magnéticos. As equações de Maxwell em sua forma diferencial são:

I. Lei de Gauss para o campo elétrico:

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Esta equação relaciona o fluxo do campo elétrico (E) através de uma superfície fechada com a carga elétrica total ( $\rho$ ) contida dentro dessa superfície, ( $\epsilon_0$ ) é a permissividade do vácuo.

II. Lei de Gauss para o campo magnético:

$$\nabla \cdot B = 0$$

Ao contrário do campo elétrico, não existem “monopólios magnéticos” isolados, então a divergência do campo magnético (B) em qualquer ponto é sempre zero.

III. Lei de Faraday da indução eletromagnética:

$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t}$$

Esta equação descreve como uma variação temporal do campo magnético (B) cria um campo elétrico induzido (E) em um circuito. Isso significa que uma mudança no fluxo magnético através de uma superfície delimitada por um circuito gera uma força eletromotriz no circuito.

IV. Lei de Ampère-Maxwell com a correção de Maxwell:

$$\nabla \times B = \mu_0 \left( J + \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \right)$$

Esta equação relaciona a circulação do campo magnético (B) ao redor de um caminho fechado com a corrente elétrica (J) através desse caminho e a variação temporal do campo elétrico (E). A permeabilidade do vácuo é ( $\mu_0$ ).

Juntas, essas equações descrevem como os campos elétricos e magnéticos interagem, como são gerados e como se propagam através do espaço, fornecendo uma base teórica para a teoria eletromagnética clássica. Destarte, mesmo que os estudos de Maxwell tenham representado uma quebra

de paradigmas teóricos, suas teorias não foram aceitas de forma definitiva, conforme argumenta Silva (2010, p. 82):

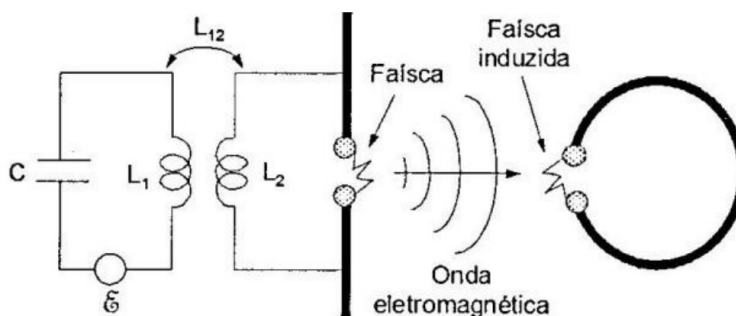
James Clerk Maxwell (1831-1879), que, no século XIX, ficou famoso com as leis que levam o seu nome, funde a Óptica com o eletromagnetismo, sendo a luz vista como uma onda eletromagnética. Essa possibilidade representou uma mudança radical, pois os modelos anteriores faziam referências às ondas mecânicas, 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 (Silva, 2010, p. 82).

Nesse ínterim, adentramos nos experimentos de Hertz e a confirmação das ondas eletromagnéticas. No final do século XIX, Hertz realizou experimentos onde foram observadas as previsões de Maxwell sobre ondas eletromagnéticas. Ele observou a existência de ondas eletromagnéticas que se propagam através do espaço a uma velocidade constante, igual à velocidade da luz. E, ainda, que a luz é uma onda eletromagnética, unindo os fenômenos elétricos e magnéticos ao fenômeno da luz. Hertz gerou e detectou ondas eletromagnéticas, demonstrando experimentalmente a existência dessas ondas previstas teoricamente por Maxwell. Os experimentos de Hertz consolidaram a visão da luz como uma onda eletromagnética, corroborando as ideias ondulatórias que haviam sido propostas por Young décadas antes (Silva, 2010).

Os experimentos que levaram Hertz a corroborar a teoria ondulatória da luz começaram com a geração e a detecção de ondas eletromagnéticas. Utilizando circuitos elétricos oscilantes, Hertz conseguiu gerar campos elétricos e magnéticos variáveis, criando ondas eletromagnéticas que se propagavam pelo espaço. Ele desenvolveu um detector, baseado na faísca produzida pela indução eletromagnética, para observar a existência dessas ondas (Figura 13).

Figura 13: Experimentos de Hertz



Fonte: Física Geral F-428. Ilustração 2. Disponível em:

<https://images.app.goo.gl/f7EqhAuGUdCB9MBv8>. Acesso em 05 de dezembro de 2023.

Hertz conduziu experiências com um circuito constituído por uma garrafa de Leyden como condensador, uma bobina como indutância e um faiscador. Constatou, então, que a cada faísca que se produzia aparecia uma correspondente muito intensa em outra bobina, colocada em frente da primeira. O valor da capacitância era pequeno (a garrafa de Leyden possui pequena capacitância e forte resistência às altas tensões), mas o efeito era notável. A proposta para o experimento foi montar um circuito oscilatório, com um pequeno espaço (*gap*) para a produção de uma faísca forte o suficiente para induzir outra faísca em um circuito externo. Com isso se provou a existência de ondas eletromagnéticas (Cioldin, 2010).

Ao expandir as investigações de Maxwell, Hertz demonstrou que as ondas eletromagnéticas compartilham características fundamentais com a luz, corroborando a ideia de que a luz é uma forma específica de onda eletromagnética. Suas observações estabeleceram a base para o entendimento moderno da luz como uma manifestação do espectro eletromagnético. Todavia, a contribuição mais significativa de Hertz à teoria da luz reside na sua vinculação da luz às equações de Maxwell. Suas experiências fundamentais demonstraram que a luz visível, as ondas de rádio e as outras formas do espectro eletromagnético compartilham uma natureza comum. Esse entendimento culminou na aceitação generalizada de que a luz é uma onda eletromagnética transversal.

Apesar do sucesso da teoria ondulatória, desafios surgiram com a descoberta do efeito fotoelétrico que Einstein explicou em 1905, propondo que a luz também possui características corpusculares. Esse conceito, em contraste

com a teoria ondulatória, provocou uma nova compreensão da luz, assunto discutido na sequência.

### 3.4 E POR FIM, EINSTEIN

A teoria da luz, ao longo da história da física, passou por transformações significativas que culminaram na elaboração de modelos teóricos capazes de explicar os específicos luminosos observados. Entre os contribuidores para esse campo de estudo, destaca-se Einstein, cujas inovações teóricas no início do século XX revolucionaram a compreensão da natureza dualística da luz (Santos, 1990).

A incursão de Einstein na teoria da luz foi especialmente marcante com a formulação da teoria dos fótons, uma contribuição seminal que lançou as bases para a compreensão moderna dos fótons. Em seu artigo de 1905, intitulado “Sobre um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz”, Einstein propôs que a luz fosse composta por partículas discretas, designadas fótons. Essa abordagem contrastava com a visão predominantemente da época, que via a luz como uma onda eletromagnética contínua.

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 (Silva, 2010, p. 82).

Conforme Reis (2000), Einstein postulou que a luz não possui apenas características de onda, como sugerido pela teoria ondulatória de Maxwell, mas também exibe propriedades corpusculares. Essa dualidade intrínseca da luz foi posteriormente formalizada na teoria quântica, consolidando uma compreensão contemporânea dos específicos luminosos.

Na teoria dos fótons, Einstein propôs que a luz, ao invés de ser exclusivamente uma onda eletromagnética contínua, possui uma natureza

corpuscular discreta, manifestada através de partículas indicadas por fótons. Este postulado rompeu com a visão predominantemente da luz como uma entidade puramente ondulatória, conforme proposta pelas equações de Maxwell (Infeld, 2008). Desse modo e com base no conceito de fóton, Einstein explicou o efeito fotoelétrico. Observações experimentais indicaram que a liberação de elétrons de um material, quando exposto à luz, não era diretamente proporcional à intensidade da luz, mas dependia da frequência desta. Para explicar o efeito, ele postulou que a luz é quantificada em pacotes discretos de energia (fótons), cuja energia é proporcional à frequência da luz. Logo, a relação entre energia e frequência ( $f$ ) é proporcional e está relacionada pela constante de Plank ( $h$ ), expressa pela equação:  $E = h.f$  (Stachel, 2005).

A formulação de Einstein também abordou a dualidade onda-partícula da luz. Ao considerar a interferência e a difração como aspectos complementares, características clássicas associadas às ondas, Einstein consolidou a natureza dual da luz, reconciliando os comportamentos aparentemente contraditórios. Além disso, sua teoria dos fótons não apenas resolveu questões experimentais preexistentes, mas também serviu como base ao desenvolvimento subsequente da teoria quântica. A quantização da luz proposta por Einstein foi fundamental para a compreensão moderna dos processos fundamentais, influenciando de maneira irrevogável a física teórica do século XX (Schwartz, 1980).

Em síntese, a formulação de Einstein para a teoria dos fótons representa uma contribuição para a física, redefinindo a compreensão da luz como uma entidade dualística, caracterizada tanto por propriedades ondulatórias quanto corpusculares. Inclusive, é relevante destacar que a teoria da relatividade restrita de Einstein, formulada no mesmo ano de 1905, também teve implicações profundas para a compreensão da luz. Ao demonstrar a invariância da velocidade da luz em todos os referenciais inerciais, o cientista reformulou a concepção clássica do espaço-tempo, fornecendo uma estrutura teórica que redefiniu a mecânica newtoniana e as bases da física moderna (Stachel, 2005).

Em conclusão, a contribuição de Einstein para a teoria da luz é inegavelmente marcante, indo além da simples reformulação de concepções existentes. Sua audaciosa proposição da teoria dos fótons não apenas resolveu paradoxos experimentais, mas também pavimentou o caminho para a revolução quântica do século XX, demonstrando a capacidade transformadora de uma

mente singular na busca pelo entendimento mais profundo da natureza (Reis, 2000).

#### 4 O PRODUTO E SUA APLICAÇÃO NO ENSINO MÉDIO

A metodologia utilizada neste estudo é embasada na pesquisa-ação, pois ela oportuniza ao pesquisador intervir no contexto analisado, mostrando seus objetivos de maneira a motivar os participantes, estimulando-os na construção de novos saberes. É por meio da pesquisa-ação que o professor tem condições de refletir criticamente sobre suas ações. Segundo Thiollent (2002, p. 75 *apud* Vazquez; Tonuz, 2006, p. 02), “com a orientação metodológica da pesquisa-ação, os pesquisadores em educação estariam em condição de produzir informações e conhecimentos de uso mais efetivo, inclusive ao nível pedagógico”, o que possibilita condições para modificar e transformar situações dentro da própria escola.

Ainda, esta pesquisa é de abordagem qualitativa com coleta e análise dos dados. Analisa-se e descreve-se os fatos de forma contextualizada, considerando as mudanças ocorridas durante todo o processo. Na busca em alcançar o objetivo proposto, este trabalho é pautado na elaboração e na aplicação de uma sequência didática sobre o comportamento dual da luz, constituída por nove aulas de 45 minutos.

No primeiro momento foi realizada uma pesquisa acerca das metodologias baseadas no ensino sobre o comportamento dual da luz, a evolução histórica, o uso de AVAs e a aprendizagem significativa de Ausubel (pressuposto teórico utilizado nesta pesquisa). Em seguida, elaborou-se uma sequência didática, ou seja, o produto educacional para ser desenvolvido com uma turma de estudantes da 2ª série do ensino médio, localizada em Pinhalzinho (SC).

A escola contempla: ensino fundamental de 9 anos (anos iniciais de 1º ao 5º ano com 10 turmas e anos finais de 6º ao 9º ano com 16 turmas); e ensino médio diurno com 9 turmas e noturno com 6 turmas. A instituição conta com estrutura de um laboratório de ciências/biologia, um laboratório de matemática, um laboratório de física/química, duas salas de informática, duas bibliotecas, salas de aulas (com projetor multimídia), entre outros ambientes necessários para o seu funcionamento. Participaram da pesquisa 22 estudantes, da 2ª série do ensino médio, com idades entre 15 e 16 anos.

O produto educacional elaborado consiste em um roteiro pedagógico com nove aulas de 45 minutos para o ensino do comportamento dual da luz no ensino médio. Ele é composto por quatro textos que retratam a história da evolução dos conceitos físicos em óptica. Três deles são escritos por Silva, retirados com sua autorização da sua dissertação intitulada “Controvérsias sobre a natureza da luz: uma aplicação didática”. Os textos são: Texto I: Antecedentes: a natureza da luz antes do Século XVII; Texto II: Mudanças de cenário: revoluções e mais controvérsias; e Texto III: Difração e Interferência: o ressurgimento da teoria ondulatória. Já o quarto texto é escrito pela autora desta dissertação, denominado Texto IV: Efeito fotoelétrico. Também foram utilizados slides e exercícios sobre o conteúdo abordado, vídeos disponíveis no *YouTube* e/ou adaptados para a discussão dos conceitos, além de simulações *online* com roteiro produzido, objetivando facilitar a aprendizagem. O material elaborado se encontra no apêndice A.

Na Tabela 1 se apresenta os textos, as atividades planejadas para o momento presencial e as atividades sugeridas para fazer à distância, além dos objetivos em cada aula do roteiro pedagógico.

Tabela 1: Relação entre cada roteiro, conteúdo e objetivos

<b>Aula</b>	<b>Conteúdo</b>	<b>Atividades presenciais</b>	<b>Atividades à distância</b>	<b>Objetivos</b>
Aula 1	Problematização inicial – concepções espontâneas.	Responder o questionário relacionado às concepções espontâneas dos estudantes sobre o estudo da óptica. Após discussão das respostas.	Leitura prévia do TEXTO I: Antecedentes: a natureza da luz antes do Século XVII.	Verificar o conhecimento dos estudantes sobre o assunto, ou seja, as concepções alternativas.
Aula 2	Primeiras impressões	- Leitura e análise do TEXTO I: Antecedentes: a natureza da luz antes do Século XVII.	Leitura prévia do TEXTO II: Mudanças de cenário: revoluções e mais controvérsias.	- Entender por que se enxerga um objeto; - Discutir aspectos relacionados à natureza da luz.



		- Responder as questões referente ao texto.		
Aula 3	Novas descobertas	- Leitura e análise do TEXTO II: Mudanças de cenário: revoluções e mais controvérsias. - Responder as questões referentes ao texto.	-----	- Apresentar as primeiras impressões sobre velocidade da luz, reflexão e refração da luz; - Discussão sobre a natureza da luz.
Aula 4	Entendendo os conceitos: Introdução à óptica geométrica.	Explicação das principais definições da óptica geométrica, com slides e vídeos para auxiliar na aprendizagem.	Fazer a lista de atividades proposta sobre os conteúdos abordados.	- Compreender os conceitos apresentados pela óptica geométrica.
Aula 5	Entendendo os conceitos: Reflexão e refração da luz.	Explicações dos conceitos reflexão e refração da luz com slides e vídeos.	Realizar simulação virtual "Desvio da Luz" com auxílio do roteiro.	- Compreender os fenômenos da reflexão e da refração; - Relacionar com as discussões do texto II; - Realizar a simulação virtual.
Aula 6	O Trabalho continua.	- Leitura e análise do TEXTO III: Difração e Interferência: o ressurgimento da teoria ondulatória. - Responder as questões referente ao texto.	Leitura prévia do TEXTO IV: Efeito fotoelétrico.	- Compreender a Velocidade da Luz; - Discutir sobre os fenômenos de difração e interferência; - Discutir sobre a natureza da luz.

Aula 7	Conclusões	Leitura e análise do TEXTO IV: Efeito fotoelétrico.	Responder as questões referente ao texto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descrever como esses resultados nos levam ao modelo de fóton de luz;</li> <li>- Predizer corretamente os resultados de experimentos sobre o efeito fotoelétrico;</li> </ul>
Aula 8	Entendendo os conceitos: Difração, interferência e polarização da luz.	Apresentação e discussão dos fenômenos da óptica física, difração, interferência e polarização, com slides que trazem os conceitos, definições, exemplos e vídeos para auxiliar na aprendizagem.	Fazer a lista de atividades proposta sobre os conteúdos abordados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compreender os fenômenos de difração e interferência;</li> <li>- Analisar o experimento de Young da fenda dupla;</li> <li>- Assimilar o conceito de velocidade da Luz.</li> </ul>
Aula 9	Entendendo os conceitos: Efeito fotoelétrico	Apresentação e discussão do conceito do efeito fotoelétrico com slides que trazem os conceitos, definições, exemplos e vídeos para auxiliar na aprendizagem.	Realizar simulação virtual “Efeito Fotoelétrico” com auxílio do roteiro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compreender a importância desse estudo para entender a dualidade da luz;</li> <li>- Entender o fenômeno fotoelétrico e sua presença no dia a dia;</li> </ul>

Fonte: A autora (2023).

Optou-se por uma investigação de caráter qualitativo e, ainda, vale ressaltar que a autora deste trabalho desempenhou o papel de professora e de investigadora. Os trabalhos produzidos pelos estudantes (além da observação participante em sala de aula) fizeram parte da coleta de dados, tais como problematização inicial, textos por eles produzidos, gravação de áudios, arquivos postados no ambiente virtual *Google Classroom*, questões relacionadas aos

textos históricos, lista de exercícios e relatórios das simulações. Ressalta-se que foram analisados somente a problematização inicial e as questões relacionadas aos textos históricos. A observação se deu durante todo o tempo dedicado ao trabalho de campo, ou seja, durante as nove aulas previstas para o estudo do conteúdo. Todas as atividades de sala de aula foram documentadas e a professora pesquisadora teve o papel de membro aceito. Sempre que possível e necessário, foram tomadas notas descritivas de detalhes relevantes para a investigação e registrados episódios particulares.

Para a etapa de levantamento dos conhecimentos prévios elaborou-se uma problematização inicial baseada nas concepções alternativas encontradas no apêndice A. Essa foi a primeira intervenção no ambiente escolar, onde os estudantes responderam sem qualquer ajuda de material ou da pesquisadora. Isso aconteceu para que fosse possível fazer um diagnóstico do que os alunos conhecem sobre o tema a ser tratado nessa proposta e para instigar a curiosidade.

Os dados coletados foram analisados a partir da sistematização das respostas das questões prévias e das questões propostas após cada texto histórico discutido. Já o processo de análise constituiu-se de duas etapas: análise dos conhecimentos prévios e análise das questões dos textos históricos.

Na análise, inicialmente, definiu-se o objetivo de cada questão e a resposta esperada. Após, buscou-se categorizar os elementos que deveriam estar presentes nas respostas, baseados na resposta esperada. Ao analisar cada resposta fez-se um levantamento de quantas respostas se enquadravam em cada categoria e, finalmente, transcreveu-se algumas respostas como exemplo. Com base nas transcrições das respostas dos estudantes, optou-se por analisar e discutir as mesmas, comparando-as com a resposta fornecida e com definições encontradas nos textos históricos trabalhados.

Ressalta-se que este projeto foi submetido ao Comitê de Ética em 15 de julho de 2022 e aprovado em 02 de agosto de 2022 – CAAE nº 60198022.1.0000.0121 - Parecer nº 5.556.430 (Anexo 1). O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido aos Pais/Responsáveis, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido ao Professor e o Termo de Assentimento aos Estudantes estão nos Apêndices B, C e D, respectivamente.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são analisados os dados coletados durante a aplicação do produto educacional e obtidos a partir da problematização inicial e das respostas das questões dos textos históricos. A análise segue a sequência das atividades propostas nos roteiros pedagógicos. As discussões são apresentadas no sentido de discorrer sobre os resultados do produto educacional elaborado e aplicado em sala de aula. Primeiramente, são ressaltados aspectos relevantes da elaboração do produto educacional do seu desenvolvimento em sala de aula, investigando o avanço dos estudantes em relação aos conceitos apresentados.

Na elaboração do produto educacional foram planejados roteiros pedagógicos para serem executados em dois momentos, ou seja, as atividades podem ser desenvolvidas presencialmente e à distância, como mostra a Tabela 2. Tanto as atividades planejadas para o momento presencial quanto as para serem feitas à distância estão disponíveis no ambiente virtual *Google Classroom*, que permite a criação de uma sala de aula virtual. Optou-se por avaliar as atividades realizadas a partir da estruturação dos roteiros pedagógicos de acordo com os objetivos propostos em cada roteiro (Tabela 2), analisando os fatores que contribuíram para que os objetivos fossem alcançados ou não.

Tabela 2: Relação entre cada roteiro, conteúdo e objetivos (Idem Tabela 1)

<b>Aula</b>	<b>Conteúdo</b>	<b>Atividades presenciais</b>	<b>Atividades à distância</b>	<b>Objetivos</b>
Aula 1	Problematização inicial – concepções espontâneas.	Responder o questionário relacionado às concepções espontâneas dos estudantes sobre o estudo da óptica. Após discussão das respostas.	Leitura prévia do TEXTO I: Antecedentes: a natureza da luz antes do Século XVII.	Verificar o conhecimento dos estudantes sobre o assunto, ou seja, as concepções alternativas.
Aula 2	Primeiras impressões	- Leitura e análise do TEXTO I: Antecedentes: a natureza da luz	Leitura prévia do TEXTO II: Mudanças de cenário:	- Entender por que se enxerga um objeto; - Discutir

		antes do Século XVII. - Responder as questões referente ao texto.	revoluções e mais controvérsias.	aspectos relacionados à natureza da luz.
Aula 3	Novas descobertas	- Leitura e análise do TEXTO II: Mudanças de cenário: revoluções e mais controvérsias. - Responder as questões referentes ao texto.	-----	- Apresentar as primeiras impressões sobre velocidade da luz, reflexão e refração da luz; - Discussão sobre a natureza da luz.
Aula 4	Entendendo os conceitos: Introdução à óptica geométrica.	Explicação das principais definições da óptica geométrica, com slides e vídeos para auxiliar na aprendizagem.	Fazer a lista de atividades proposta sobre os conteúdos abordados.	- Compreender os conceitos apresentados pela óptica geométrica.
Aula 5	Entendendo os conceitos: Reflexão e refração da luz.	Explicações dos conceitos reflexão e refração da luz com slides e vídeos.	Realizar simulação virtual "Desvio da Luz" com auxílio do roteiro.	- Compreender os fenômenos da reflexão e da refração; - Relacionar com as discussões do texto II; - Realizar a simulação virtual.
Aula 6	O Trabalho continua.	- Leitura e análise do TEXTO III: Difração e Interferência: o ressurgimento da teoria ondulatória. - Responder as questões referente ao texto.	Leitura prévia do TEXTO IV: Efeito fotoelétrico.	- Compreender a Velocidade da Luz; - Discutir sobre os fenômenos de difração e interferência; - Discutir sobre a natureza da luz.

Aula 7	Conclusões	Leitura e análise do TEXTO IV: Efeito fotoelétrico.	Responder as questões referente ao texto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descrever como esses resultados nos levam ao modelo de fóton de luz;</li> <li>- Predizer corretamente os resultados de experimentos sobre o efeito fotoelétrico;</li> </ul>
Aula 8	Entendendo os conceitos: Difração, interferência e polarização da luz.	Apresentação e discussão dos fenômenos da óptica física, difração, interferência e polarização, com slides que trazem os conceitos, definições, exemplos e vídeos para auxiliar na aprendizagem.	Fazer a lista de atividades proposta sobre os conteúdos abordados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compreender os fenômenos de difração e interferência;</li> <li>- Analisar o experimento de Young da fenda dupla;</li> <li>- Assimilar o conceito de velocidade da Luz.</li> </ul>
Aula 9	Entendendo os conceitos: Efeito fotoelétrico	Apresentação e discussão do conceito do efeito fotoelétrico com slides que trazem os conceitos, definições, exemplos e vídeos para auxiliar na aprendizagem.	Realizar simulação virtual “Efeito Fotoelétrico” com auxílio do roteiro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compreender a importância desse estudo para entender a dualidade da luz;</li> <li>- Entender o fenômeno fotoelétricos e sua presença no dia a dia;</li> </ul>

Fonte: A autora (2023).

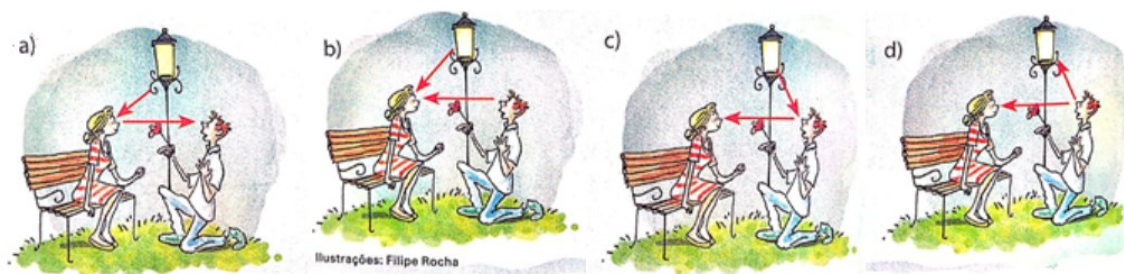
### 5.1 A ATIVIDADE INICIAL: PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL – CONCEPÇÕES ESPONTÂNEAS DOS ESTUDANTES

A análise inicia-se pela atividade de diagnóstico intitulada Problematização inicial: Concepções espontâneas (Apêndice E). Nessa atividade inicial, fizeram-se presentes e participaram vinte e dois (22) estudantes.

Na aplicação desse instrumento percebe-se algumas dificuldades conceituais, que podem estar diretamente relacionadas com as concepções espontâneas apresentadas pela literatura especializada no que diz respeito ao processo de visão e também à natureza da luz.

**Questão 1:** Mariana e Issac estão em uma praça iluminada por uma única lâmpada. Assinale a alternativa em que melhor representa o modo que permite Issac enxergar Mariana. Justifique sua escolha (Adaptada do livro Física em contextos 2).

Figura 14: Processos de visão



Fonte: Pietrocola (2016).

**Objetivo:** Identificar o processo de visão, relacionando com a concepção espontânea que diz: “A luz vai do olho até o objeto para captá-lo visualmente, ou seja, a luz sai do olho, viaja até o objeto e volta para o olho, transportando a imagem”.

**Resposta esperada:** Letra a. Explicação: Mariana reflete parte da luz emitida pela lâmpada, essa luz refletida alcança os olhos de Issac, permitindo que ele enxergue Mariana.

Tabela 3: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 1 da Problematização inicial

Alternativa	Quantidade de estudantes	Exemplos de respostas dadas pelos estudantes
Letra A	11	A11: “Pois a luz está batendo na mulher, o que permite melhor visualização”. A1: “A luz bate na Mariana e reflete até os olhos de Issac, assim podendo enxergá-la”.

		A5: “Por conta do conteúdo de artes, teve uma hora que explicava, as cores são refletidas pela luz, para nossa visão”. A9: “Pois a luz precisa iluminar a Mariana para ela poder ser refletida para o Issac”. A6: “Pois os raios de luz batem nos olhos da mariana e depois nos olhos do Issac”. A3: “A luz ilumina Mariana e a sua imagem reflete nos olhos de Issac, nas alternativas C e D a luz ofuscaria a visão de Issac e na B, nenhuma imagem chegaria aos olhos de Issac”.
Letra B	9	A10: “Porque a luz vai iluminar o rosto da Mariana e Issac irá ver ela”. A7: “Porque a luz do poste ilumina Mariana e assim Issac consegue vê-la”. A8: “Pois no ângulo em que se encontra as flexas, faz mais sentido para que Issac possa ver o rosto de Mariana”.
Letra C	0	-----
letra D	0	-----
Nenhuma das alternativas	2	A2: “Nenhuma das alternativas acima, pois a luz está em cima e ela clareia para todos os lados”. A4: “Pois a luz é emitida de todos os ângulos pela lanterna, Issac consegue enxergar de todas as formas”.
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

Como se observa na Tabela 3, a maioria dos estudantes, quando questionados sobre o processo de visão, respondeu a alternativa A (resposta correta). Essa resposta se refere ao processo de visão, quando a luz incidir em objeto e parte dela for refletida até os olhos de um observador, este irá ver o objeto. O que podemos perceber ao analisar algumas justificativas dadas pelos estudantes é a dificuldade de apresentar os conceitos corretamente. Como exemplo tem-se os estudantes A11 que afirmou que “a luz está batendo na mulher, o que permite melhor visualização” e A6 que disse que “os raios de luz batem nos olhos da Mariana e depois nos olhos do Issac”. Ao comparar-se algumas respostas dadas pelos estudantes com a resposta esperada, outro fator importante destaca-se: já estudaram algo relacionado na disciplina de arte, ao estudar as cores.

A segunda alternativa mais escolhida pelos estudantes foi a B. Ela mostra a luz iluminando o objeto e o observador focaliza esse objeto ou emite um raio

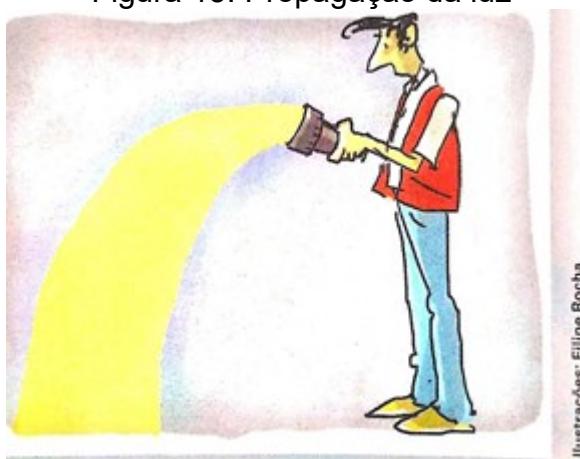


de luz que alcança o objeto e assim pode vê-lo. Pelas respostas apresentadas percebe-se que basta a luz iluminar o objeto para podermos enxergá-lo. Nenhum estudante escolheu as alternativas C e D, mas dois estudantes responderam que nenhuma alternativa condiz com o processo de visão. Na justificativa apresentada nota-se que se o objeto estiver iluminado seria possível enxergá-lo de qualquer forma.

Vale ressaltar que quatro estudantes não apresentaram nenhuma justificativa para suas respostas.

**Questão 2:** Na figura abaixo observamos um homem com uma lanterna acesa. A luz emitida pela lanterna tem um formato de cachoeira. Você concorda que esse fenômeno seja possível? Por quê? (Adaptada do livro Física em Contextos 2).

Figura 15: Propagação da luz



Fonte: Pietrocola (2016).

**Objetivo:** Discutir a propagação retilínea da luz, relacionando com a concepção espontânea: “A propagação da luz pode não se dar somente de modo retilíneo, há confusão entre a propagação retilínea com a propagação paralela considerando somente a emissão de raios paralelos”.

**Resposta esperada:** Não, porque a luz se propaga em linha reta.

Tabela 4: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 2 da  
Problematização inicial

Alternativa	Quantidade de estudantes	Exemplos de respostas dadas pelos estudantes
Não	22	A2: “A lanterna ela emite a luz para frente”. A1: “Pois a luz caminha pelo espaço em linha reta”. A3: “Pois os raios de luz não fazem curvas”. A5: “Pois a luz é mono direcional, ou seja, quando apontar ela para algum lugar ela vai até lá ou até onde tem força, mas não tem o fenômeno da cachoeira.” A4: “Esse fenômeno não é possível pois a luz só é emitida reta, em paredes conseguimos ver a luz em ângulos diferentes, mas nunca em forma de cachoeira”.
Sim	0	-----
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

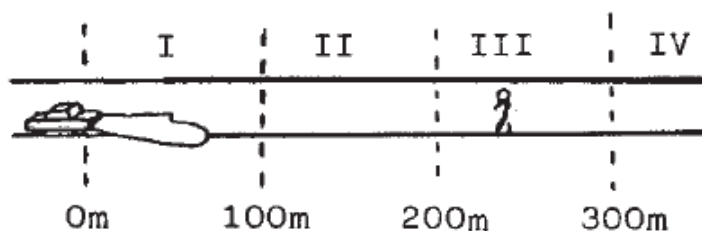
Nessa questão referente a propagação da luz, todos os estudantes responderam que o fenômeno apresentado não é possível de ocorrer, justificando que a luz tem propagação em linha reta. Apesar das respostas não estarem em conformidade com os conceitos apresentados na literatura, percebe-se que os estudantes têm o conhecimento do senso comum. Isso pode ser explicado por que este fenômeno é facilmente observado em nosso cotidiano: o feixe de luz proveniente de um holofote, qualquer processo de alinhamento, a mira para atirar em um alvo, a formação de sombras, entre outros.

**Questão 3:** Em uma noite escura e sem nevoeiro um carro está parado em uma estrada reta e plana. O carro está com seus faróis ligados. Um pedestre, também parado na estrada, é capaz de ver os faróis. A figura abaixo ilustra esta situação e está subdividida em quatro seções. Até onde a luz dos faróis do carro alcança? (Retirada de: Um teste para detectar concepções alternativas sobre tópicos introdutórios de óptica geométrica - João Batista Siqueira Harres – 1993)

- No máximo até a seção I.
- No máximo até a seção II.
- No máximo até a seção III.

d) Até a seção IV e ainda vai mais além.

Figura 16: Alcance da luz



Fonte: Harres (1993).

**Objetivo:** Perceber o alcance infinito da luz, discutindo a concepção espontânea: “O alcance de uma fonte de luz depende da sua intensidade luminosa, quanto maior a intensidade da fonte maior será o alcance da luz e essa se propaga numa distância maior no escuro do que em um meio claro”.

**Resposta esperada:** Letra D.

**Explicação:** Na ausência de obstáculos que pudessem absorver a luz não há nenhuma razão para que esta deixe de existir. A impossibilidade de percebermos a luz quando estamos muito afastados da fonte se deve ao número insuficiente de radiação luminosa que atinge nossos olhos.

Tabela 5: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 3 da  
Problematização inicial

Alternativa	Quantidade de estudantes	Exemplos de respostas dadas pelos estudantes
Letra A	8	A3: “A luz do carro não alcança uma distância tão elevada, mas não impede que seja visível a uma maior distância pelo pedestre”. A7: “Porque a luz do carro não alcança altas distâncias, mas mesmo assim é possível vê-la ainda que ela não alcance nosso corpo”.
Letra B	4	A12: “Porque a luz do carro não chega a uma grande distância”.
Letra C	3	A4: “A luz reflete longe por isso o pedestre consegue enxergar mesmo com o carro longe”.
Letra D	7	A1: “Pois nada influencia na trajetória da luz ela pode ir ao infinito a além”. A13: “Pois a rua é reta, então nada impede dela chegar até lá e ir mais além”.

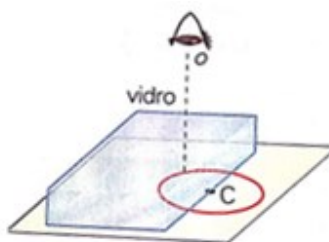
		A2: "Pois a luz do carro é forte para que consiga olhar o máximo possível para frente quando está noite".
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

Nessa questão, a maior parte das respostas ficaram entre as alternativas A e D, mostrando uma heterogeneidade entre os estudantes nesse conhecimento. Uma vez que, na alternativa A é referido que o alcance da luz depende da intensidade da fonte que a gerou e na alternativa D evidencia-se que, na ausência de obstáculos que pudessem absorver a luz, não há nenhuma razão para que esta deixe de existir. A escolha da alternativa C deve-se ao fato do pedestre estar nessa seção, então a luz consegue alcançar ele. Isso se percebe pela fala do estudante A4. Já a alternativa B pode ser comparada com as justificativas da alternativa A.

**Questão 4:** Em uma folha de papel, colocada sobre uma superfície horizontal, foi desenhado um círculo de centro C. Sobre a folha é colocado uma placa grossa de vidro, cobrindo metade do círculo. Com seus olhos na direção do eixo vertical OC, como representado na figura abaixo:

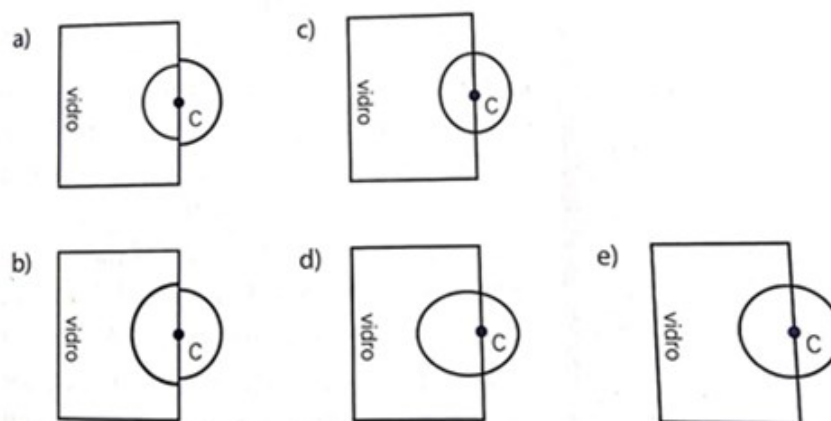
Figura 17: Vidro sobre uma folha de papel com desenho de círculo



Fonte: Pietrocola (2016).

Assinale a figura que melhor representa o que você vê: (Adaptada do livro Física em contextos 2).

Figura 18: Possibilidades de como enxergamos o círculo



Fonte: Pietrocola (2016).

**Objetivo:** Perceber como a luz se comporta ao atravessar meios diferentes.

**Resposta esperada:** Letra B. Explicação: No vidro a luz se refrata, a imagem fica mais próxima ou a velocidade de propagação da Luz é menor no vidro, portanto a imagem parece maior.

Tabela 6: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 4 da Problematização inicial

Alternativa	Quantidade de estudantes	Exemplos de respostas dadas pelos estudantes
Letra A	2	A8: "Pois quanto mais grosso seja a placa de vidro, mais distante a luz parecer e vai ter dificuldade para ultrapassar a placa de vidro". A3: "A grossura do vidro faz com que a imagem do círculo se distorça e pareça menor".
Letra B	14	A1: "Porque o vidro distorce o caminho da luz, fazendo com que nós enxergamos diferente". A7: "Porque o vidro distorce as imagens, aumentando-as".
Letra C	0	-----
Letra D	3	-----
Letra E	3	A14: "Pois a imagem e o olho estão alinhados então a luz não refrata".
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

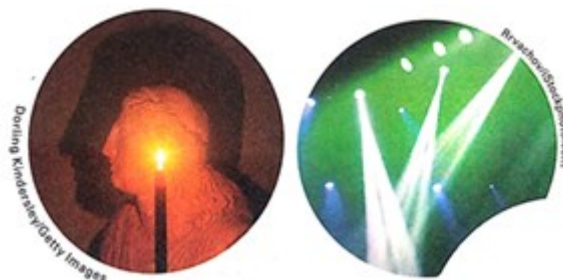
Fonte: A autora (2023).

Novamente percebe-se que a alternativa correta (letra B) foi a mais escolhida (14 estudantes). Contudo, nota-se que as justificativas são vagas, sem

uma formulação conceitual coerente, o que leva a concluir que falta maior entendimento sobre o conceito do conhecimento científico. Analisando as justificativas dos dois estudantes que escolheram a alternativa A, verifica-se que a espessura do vidro interfere no tamanho na imagem observada. Os estudantes que escolheram a alternativa D não justificaram. Já a escolha da letra E justifica-se pelo alinhamento apresentado na própria questão “[...] com seus olhos na direção do eixo vertical OC [...]”, portanto, como isso acontece, a imagem observada continuará a mesma.

**Questão 5:** Abaixo estão representadas duas situações que ocorrem com a Luz. Você consegue explicar por que na primeira imagem a Luz não atravessa a estátua? E por que na segunda imagem a Luz emitida por uma lanterna, não interfere na direção da luz emitida por outra lanterna? (Imagem retirada do livro Física em contextos 3, questão criada pela autora).

Figura 19: Propagação da luz



Fonte: Pietrocola (2016).

**Objetivo:** Refletir sobre o comportamento da luz, pois ao se ignorar uma das duas teorias não é possível explicar tal fenômeno. Percebe-se que em um certo momento a luz se comporta como partícula e em outro como onda.

**Resposta esperada:** Pela óptica geométrica pode-se explicar os fenômenos. O primeiro devido a propagação retilínea da luz e ao fato do objeto ser opaco, temos a formação de sombras. Já o segundo é devido ao princípio da independência dos raios luminosos. Pela óptica física percebe-se que a luz pode se comportar de maneiras diferentes: (1) como partícula na primeira imagem, pois a fonte de luz ao incidir no anteparo não ultrapassa o obstáculo e forma uma

sombra atrás dele; e (2) como onda na segunda imagem, pois os feixes das duas lanternas se cruzam, sem que um interfira no outro.

Tabela 7: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 5 da  
Problematização inicial

<b>Image m</b>	<b>Categorias</b>	<b>Quantida de de estudantes</b>	<b>Exemplo de respostas dos estudantes</b>
Image m I	Propagação retilínea (objeto opaco)	21	A13: “A luz não atravessa a estátua pois a estátua é de matéria sólida”. A1: “A luz não atravessa por ser um objeto sólido”. A14: “Pois o objeto é denso o suficiente para impedir a passagem de luz”. A3: “Para que a luz atravessasse o objeto, ele deveria ser transparente”. A17: “Pois a estátua é um objeto sólido”.
	Comportamento corpuscular	----	-----
<b>Total</b>			<b>21</b>
Image m II	Independência dos raios luminosos	13	A1: “As luzes conseguem ocupar o mesmo espaço”. A13: “A luz é translúcida e não vai interferir na direção”.
	Comportamento ondulatório	8	A14: “A luz (fóton) sequer tem corpo físico quanto mais seria capaz de barrar outro feixe de luz”. A17: “A luz não interfere em outra luz, pois a luz em si não é sólida e não tem matéria”. A3: “Uma luz não interfere na outra, porque a luz não é algo sólido”.
<b>Total</b>			<b>21</b>

Fonte: A autora (2023).

Nessa questão o objetivo era identificar o conhecimento dos estudantes sobre a natureza da luz, ou seja, analisando certo fenômeno e considerando a luz como onda ou partícula. A primeira imagem mostra um comportamento corpuscular (pois a fonte de luz ao incidir no anteparo não ultrapassa o obstáculo e forma uma sombra atrás dele) e a segunda um comportamento ondulatório (pois os feixes das duas lanternas se cruzam sem que um interfira no outro). Também analisa-se os princípios da propagação da luz e da independência dos

raios luminosos. Portanto, considerando as respostas de alguns estudantes referente à primeira imagem, percebe-se que os estudantes identificaram que a luz não ultrapassa um objeto opaco, mas em nenhuma resposta tem-se a relação com o comportamento corpuscular. Já na segunda, pode-se dizer que os estudantes conseguiram perceber ambos os fenômenos: princípio da independência dos raios luminosos e comportamento ondulatório. Destaca-se que um estudante respondeu que não saberia explicar tais fenômenos.

## 5.2 CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO A PARTIR DOS ASPECTOS HISTÓRICOS

A partir desse ponto da pesquisa são apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento dos roteiros pedagógicos para o ensino do comportamento dual da luz no ensino médio. Por intermédio da utilização de AVA inserido no ensino regular e presencial e de aspectos históricos como construção do conhecimento. Tais resultados são frutos das respostas dadas pelos 22 estudantes no decorrer das atividades realizadas, as quais foram registradas no *Google Classroom*.

As discussões se iniciam com as atividades relacionadas ao Texto I (Antecedentes: a natureza da luz antes do Século XVII) referente a aula 2 (Anexo 2).

**Questão 1:** Quais as principais dúvidas relacionadas ao estudo da luz, desde a Antiguidade?

**Objetivo:** Compreender que a luz foi objeto de estudo desde a antiguidade.

**Resposta esperada:** Explicar o que ocorre no espaço entre os olhos e o objeto visto, ou seja, como se enxerga as coisas e como a luz era constituída: “Seria a luz constituída por um fluido imaterial ou por partículas?”.

Tabela 8: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 1 do Texto I

<b>Categoria</b>	<b>Quantidade e de estudante</b>	<b>Exemplo de respostas dadas pelos estudantes</b>
Como enxergamos	10	A4 e A13: “A forma de como ele se comportava diante dos olhos”.



as coisas		A10: “Como explicar o que ocorre entre o olho e o objeto”. A16: “A curiosidade por entender o processo de visão”.
Como a luz era constituída	6	A7: “Se ela é formada por fluido imaterial ou por partículas”. A3: “A principal dúvida é de que se a luz é algo imaterial ou formado por partículas”. A8: “Como a luz consegue atravessar alguns objetos e outros não?”.
A origem da luz	2	A6: “Saber sua origem e sua natureza”.
A propagação da luz	2	A5: “Entender como a luz se propaga”.
Respondeu mais de uma categoria	2	A11: “O que ocorre no espaço entre nossos olhos e os objetos vistos, o que era a luz, era partícula ou não e saber sua origem e sua natureza”.
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

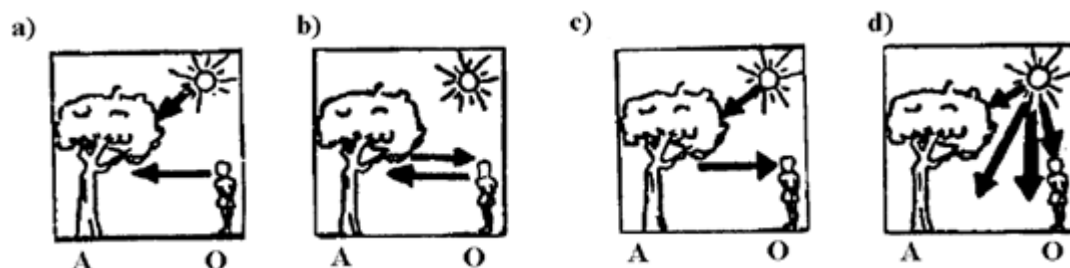
Fonte: A autora (2023).

Observa-se que na resposta esperada são duas categorias principais: “como enxergamos as coisas” e “como a luz era constituída”. As respostas apresentaram um alto índice de correlação com elas, 10, 6 e 2 estudantes respectivamente, mas também identifica-se que surgiram outras duas categorias: “a origem da luz” e “a propagação da luz”. Ao se analisar as respostas podem-se justificar essas categorias como inseridas nas principais, por exemplo “entender como a luz de propaga”, o trecho do texto “[...] a visão poderia se dar devido a um fluxo de partículas emanado dos objetos e assimilado pelos nossos olhos [...]” estaria relacionado a propagação da luz, mas também ao processo de visão. E ainda “saber sua origem e sua natureza” está presente na primeira frase do texto: “as mais antigas civilizações já se preocupavam em estudar os fenômenos físicos envolvendo a luz e discutir a sua natureza”, portanto, nesse contexto entende-se que o recorte está relacionado à constituição da luz. Ainda se percebe um total de 26 respostas. Isso explica-se, pois, alguns estudantes destacaram mais de uma categoria, como por exemplo, o estudante A11.

Conclui-se então que se alcançou o objetivo de compreender que a luz foi objeto de estudo desde a antiguidade, uma vez que vários estudantes localizaram a presença de elementos centrais inseridos nas categorias, transcrevendo-os do texto e que serviam de resposta à questão.

**Questão 2:** As figuras abaixo nos mostram quatro maneiras diferentes para representar o modo como podemos enxergar um objeto.

Figura 20: Como enxergamos um objeto



Fonte: Harres (1993).

a) Qual das opções se assemelha com o seu modelo de explicação? Explique.

**Resposta esperada:** Alternativa c.

**Explicação:** A árvore reflete parte da luz emitida pelo sol. Essa luz refletida alcança os olhos do observador permitindo que ele enxergue a árvore.

Tabela 9: Tabulação das respostas dos estudantes da Letra A da Questão 2 do Texto I

Alternativa	Quantidade de estudantes	Exemplos de respostas dadas pelos estudantes
Letra A	3	A18: "Pois a luz ilumina a árvore e nossos olhos captam essa luz, assim vemos". A8: "Porque quando a luz do sol ilumina a árvore o ser humano consegue enxergar".
Letra B	0	-----
Letra C	17	A6: "Pois primeiramente a luz incide na imagem e depois ela chega aos nossos olhos". A4: "Pois a luz reflete um objeto e chega até o olho". A7: "Porque a luz atinge o objeto que reflete luz para nós e assim podemos vê-lo". A15: "Pois a imagem visual se dá pela luz refletida no objeto e lida pelos olhos".
Letra D	2	A12: "A luz ilumina o objeto e a imagem e reflete nos olhos".
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

b) Você vê semelhanças com os modelos apresentados no texto?

**Resposta esperada:** Com alguns modelos sim. Por exemplo: Segundo Leucipo e Demócrito, a visão *poderia* se dar devido a um fluxo de partículas emanado dos objetos e assimilado pelos nossos olhos; Já de acordo com 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.

Tabela 10: Tabulação das respostas dos estudantes da Letra B da Questão 2 do Texto I

<b>Categoria</b>	<b>Modelos</b>	<b>Quantidade de estudantes</b>
Não	Apenas não, sem justificativa	2
Sim	Apenas sim, sem justificativa e sem escolher um filósofo	11
	Alhazen	6
	Aristóteles	1
	Leucipo e Demócrito e Alhazen	1
	Alhazen e Platão	1
<b>Total</b>	-----	<b>22</b>

Fonte: A autora (2023).

Referente à Questão 2, a primeira pergunta (a) refere-se ao modo como se enxerga um objeto. Ela faz referência direta à atividade do questionário inicial, em que também era proposta uma pergunta nessa direção. Na primeira ocasião, percebeu-se que 11 estudantes apontaram a resposta correta, mas a explicação estava voltada mais ao senso comum. Aqui verifica-se que houve um aumento significativo para essa escolha (17 estudantes) e pode-se notar que as justificativas estão mais voltadas ao modelo científico. Somente 3 estudantes continuaram com a escolha da alternativa que mostra a luz iluminando o objeto e o observador focaliza esse objeto ou emite um raio de luz que alcança o objeto e assim pode vê-lo.

Mesmo que o resultado não represente a totalidade dos estudantes, indica-se que a leitura e a análise do texto histórico, sem nenhuma intervenção

do professor, surtiram resultados. Ainda que esse aumento não signifique, rigorosamente, a obtenção dos objetivos propostos, (pois em alguns casos somente foi assinalada a questão correta sem nenhuma justificativa), esse aumento ilustra que o uso de textos possibilita a construção do conhecimento.

Ainda nessa questão, na segunda pergunta (b) observa-se que a predominância de respostas está relacionada ao modelo de Alhazen. As justificativas apresentadas foram de que esse modelo se aproxima mais do conhecimento atual. Outros estudantes não justificaram suas respostas em razão de não estar especificado na questão essa necessidade e como não houve a intervenção do professor explicando cada questão é compreensível que isso tenha acontecido.

**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?

**Objetivo:** Compreender alguns diferentes modelos para visão dos objetos.

**Resposta esperada:** Para Platão a visão de um objeto era devida a três raios de partículas: um proveniente dos olhos, outro do objeto e o último da fonte iluminadora. Já Alhazen disse que a visão consistia na formação de uma imagem óptica no interior do olho proveniente dos raios de luz emitidos por cada ponto do corpo observado.

**Observação:** Espera-se que a predominância das respostas esteja relacionada ao modelo de Alhazen, que se aproxima mais da explicação científica dada hoje.

Tabela 11: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 3 do Texto I

Categoria	Quantidade de estudantes		Exemplos de respostas dos estudantes
Não argumentou	15		A13: “Platão acreditava que a visão de um objeto era obtida através de três jatos de partículas, e segundo Alhazen a visão consistia na formação de uma imagem óptica interior do olho, que funcionava como uma câmbiara escura”.
Argumentou	Alhazen	7	A15: “Em defesa de Alhazen, pois se a luz se comporta da forma de Platão, o escuro não teria sentido”. A17: “Pois Alhazen dizia que a imagem se formava no interior do olho”.

		A9: "Pois se parece mais com os estudos que temos hoje".
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

Os modelos de visão de Platão e Alhazen oferecem explicações diferentes sobre como se vê os objetos, sendo que a maioria das respostas dos estudantes tende ao modelo de Alhazen. Suas justificativas se baseiam na maior igualdade desse modelo com os estudos e as explicações atuais sobre a visão. Alhazen descreveu a formação da imagem no interior do olho, o que se assemelha mais às teorias contemporâneas da formação de imagens na retina, correspondendo aos conhecimentos científicos atuais sobre o funcionamento do olho humano. Já Platão propôs um modelo que envolvia três raios de partículas: um proveniente dos olhos, outro do objeto e o último da fonte iluminadora. Por outro lado, Alhazen descreveu a visão como a formação de uma imagem óptica no interior do olho, originada a partir dos raios de luz emitidos por cada ponto do objeto observado. A maioria dos estudantes que discutiu sobre o tema optou por defender o modelo de Alhazen.

**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 esta pergunta.

**Objetivo:** Discutir sobre a natureza da luz.

**Resposta esperada:** Para algumas civilizações, a luz foi associada a divindades. Para outros, ela seria composta por átomos arredondados e velozes que se deslocavam no vazio, ou seja, partículas (Platão, Leucipo e Demócrito, entre outros). Ainda há aqueles que consideravam a luz como um fluido imaterial, ou seja, vibracional (Aristóteles, Santo Tomás de Aquino e outros).

Tabela 12: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 4 do Texto I

<b>Categoria</b>	<b>Quantidade de estudantes</b>	<b>Exemplos de respostas dadas pelos estudantes</b>
Associada a divindades	4	A9: "A luz era comparada com a divindade e foi assim que inicio o estudo da luz, defendiam as ideias dos deuses".
Partículas	9	A14, A6, A1, A10: "Platão: acreditava que a

		visão de um objeto era devida a três jatos de partículas: um proveniente dos olhos, outro do objeto e o último da fonte luminosa. Leucipo e Demócrito: A visão poderia se dar devido a um fluxo de partículas emanado dos objetos e assimilado pelos nossos olhos.
Fluido imaterial	6	A14, A6, A1, A10: “Aristóteles: para ele a luz não podia ser uma “coisa”, porque a luz passa pela luz sem nenhum impedimento”. A13 e A4: “Que a luz é algo imaterial, por isso a luz seria como dois corpos que podem ocupar o mesmo espaço”.
Mais de uma categoria	3	A14: “Platão: acreditava que a visão de um objeto era devida a três jatos de partículas: um proveniente dos olhos, outro do objeto e o último da fonte luminosa. Leucipo e Demócrito: A visão poderia se dar devido a um fluxo de partículas emanado dos objetos e assimilado pelos nossos olhos. “Aristóteles: para ele a luz não podia ser uma “coisa”, porque a luz passa pela luz sem nenhum impedimento”.
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

O objetivo dessa questão era fazer com que os estudantes discutissem sobre a natureza da luz, percebendo que existiam modelos contraditórios e que se diferenciam entre si pela sua composição (partículas ou fluido imaterial) ou ainda associada aos deuses. Conclui-se que o objetivo foi alcançado, pois a maioria dos estudantes responderam sobre partículas e fluido imaterial. Tal fato pode ser entendido também, por ser uma questão que favorece a retirada da resposta diretamente no texto.

**Questão 5:** De que forma Santo Tomás de Aquino defende a imaterialidade da luz? Você concorda com esse argumento?

**Objetivo:** Introduzir os alunos às discussões que viriam a seguir (Textos II, III e IV) sobre a natureza da luz.

**Resposta esperada:** Santo Tomás de Aquino defende a imaterialidade da luz dizendo que dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar ao mesmo tempo, porém a luz pode.

**Justificativa:** Resposta pessoal, mas espera-se que a maioria dos estudantes aceite o que foi argumentado por Santo Tomás de Aquino.

Tabela 13: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 5 do Texto I

<b>Categoria</b>	<b>Quantidade de estudantes</b>	<b>Exemplos de respostas dadas pelos estudantes</b>
Concorda	21	A14: “Dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar ao mesmo tempo, já a luz pode, portanto, a luz não é algo material”. A13: “De que dois corpos não podem ocupar o mesmo espaço, porém a luz pode fazer isso”. A10: “Dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar ao mesmo tempo, porém a luz pode. Portanto a luz não seria algo material”.
Não concorda	1	Não justificou.
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

Como a questão anterior, nesta o objetivo também era de que os estudantes começassem a questionar a natureza da luz. As justificativas demonstram que o ponto decisivo para que a maioria dos estudantes concordasse com o argumento foi a alegação de Santo Tomás de Aquino sobre a imaterialidade da luz, ao afirmar que dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar ao mesmo tempo, porém a luz pode.

Continuando a discussão sobre a construção do conhecimento em sala de aula a partir da história, analisa-se agora o Texto II (Mudanças de cenário: revoluções e mais controvérsias), disposto no Anexo 3. Desta atividade participaram os mesmos estudantes, mantendo-se a mesma linha de análise que foi apresentada no Texto I.

**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 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.

**Objetivo:** Refletir sobre as teorias que buscam explicar o que é a luz, identificando-as.

**Resposta esperada:** Duas teorias viriam a surgir: uma favorecendo as partículas e outra bem próxima das ideias abordadas por Aristóteles (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).

Tabela 14: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 1 do Texto II

<b>Categorias</b>	<b>Quantidade de estudantes</b>	<b>Exemplos de respostas dadas pelos estudantes</b>
Alcançaram os objetivos propostos pela questão	16	<p>A3: “As ideias de Newton diziam que a luz era formada por corpúsculos, se assemelha com a ideia de Platão, e Hooke, entre outros, dizia que a luz era produzida por vibrações de um meio sutil e homogêneo, se assemelha com a ideia de Aristóteles”.</p> <p>A15: “Surgiram dois modelos, um de Newton, que tinha como ideia de que a luz era composta por partículas, e outro de Descartes e outros pensadores, que dizia que a luz, como o som, era transmitida por vibrações. Sim o primeiro o modelo parece com o de Pitágoras que dizia que a luz eram partículas emitidas pelo homem e a segunda com de Aristóteles que falava da imaterialidade da luz”.</p> <p>A1: O primeiro desses modelos é associado 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). 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, ideia semelhante a de Aristóteles.</p>
Não alcançaram os objetivos propostos pela questão.	4	<p>A6: “Há algumas semelhanças, porém, são duas ideias diferente”.</p> <p>A4: “Hooke e Newton não apresentavam ideias parecidas”.</p>
Não respondeu.	2	-----
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

Nessa questão esperava-se que os estudantes, na sua maioria, conseguissem responder de acordo com os objetivos propostos, isto é, identificar



as duas teorias que surgiram nessa época e compará-las ao modelo das partículas e às ideias de Aristóteles. Percebe-se que a maioria dos estudantes (16) alcançaram esses objetivos, pois apenas 4 trouxeram respostas vagas (sem discussão, não contemplando o mínimo necessário) e 2 não responderam.

Destaca-se que a resposta do estudante A1 apresenta um fragmento retirado do texto e faz comparação com as duas teorias (das partículas e de Aristóteles), o que representa a resposta esperada. O estudante A15 também expõe as duas teorias, comparando-as, sem usar fragmento do texto, mas formulando sua resposta.

**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?”

**Objetivo:** Refletir sobre a construção do conhecimento científico.

**Resposta esperada:** Espera-se que a maioria perceba que a incerteza estaria na cabeça dos cientistas (dúvidas, dificuldades na observação e na explicação dos fenômenos, entre outras), pois isso reflete um esforço para compreender os fenômenos e os conceitos que desafiam as experiências cotidianas, afinal, isso causa incerteza e muitas vezes até mudança de crenças.

Tabela 15: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 2 do Texto II

<b>Categorias</b>	<b>Quantidade de estudantes</b>	<b>Exemplos de respostas dadas pelos estudantes</b>
A incerteza está nos cientistas	12	A1: “Na cabeça dos cientistas, porque, na natureza existe uma verdade absoluta, mesmo que os cientistas não conheçam”. A3: “A incerteza está na cabeça dos cientistas, pois na natureza tudo é claro, o ser humano é que não tem a certeza”.
Natureza	7	A15: “Natureza, pois de fato era muito difícil de ser explicado o comportamento da luz sendo ela tão minúscula e de muitas formas incompreensível”. A7: “Na natureza, porque era difícil de se explicar o que era a luz”.
Não respondeu.	3	-----
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

Essa questão sugere uma reflexão sobre a origem da incerteza na compreensão científica, se ela está intrinsecamente relacionada à natureza dos fenômenos ou se é resultado das limitações ou interpretações dos cientistas. Ao analisar quantitativamente os dados obtidos, 12 estudantes responderam que a incerteza está na cabeça dos cientistas, 7 na natureza e 3 não responderam. Portanto, a maioria alcançou a resposta esperada.

Destaca-se que uma parcela (12) dos estudantes entenderam que a incerteza estaria presente na mente dos cientistas. Com isso, conclui-se que talvez isso esteja diretamente ligado à narrativa do episódio histórico discutido no texto. Nele, é apresentada a incessante disputa entre as duas correntes que surgiram na tentativa de elucidar o verdadeiro significado da luz.

**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 às suas explicações teóricas ou outros fatores foram importantes para a aceitação do modelo corpuscular? Explique.

**Objetivo:** Apresentar a inserção de fatores não estritamente racionais na formulação de uma teoria.

**Resposta esperada:** Espera-se que a maioria dos estudantes observem a existência de fatores sociais, políticos e econômicos (preconceitos pessoais, igualdade de condições, acordos, regras, falta de recursos, entre outros) na formação de uma teoria.

Tabela 16: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 3 do Texto II

Categorias	Quantidade de estudantes	Exemplos de respostas dadas pelos estudantes
Modelo ondulatório superior	13	<p>O modelo corpuscular não é superior ao ondulatório, mas o que o fez se tornar mais popular, foi o fato de ter sido desenvolvido por Newton, que já possuía diversos estudos em outras áreas e havia ganhado certa notoriedade. O modelo corpuscular não era exato e possuía diversas falhas, mas, como Newton era famoso e aceito na época, o modelo considerado certo foi o seu.</p> <p>Não é superior, porém o modelo de Newton é mais popular.</p>

Modelo corpuscular superior	5	Sim, foi, pois, seus argumentos são quase que irrefutáveis sem dizer que Newton tinha notoriedade com seus estudos sobre mecânica e vários outros em outras áreas sem dizer finalmente sobre sua relevância e seu prestígio. Sim, porque Newton contestou a ideia de Huygens dizendo que “se era 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?”, outro fator também foi porque Newton era mais famoso.
Não respondeu.	4	-----
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

Analisando a questão proposta e os exemplos de respostas dos estudantes, percebe-se que a superioridade do modelo corpuscular em relação ao ondulatório no início do século XVIII é discutida a partir de perspectivas diversas, indo além de considerações puramente teóricas. Os exemplos fornecidos pelos estudantes revelam a influência de fatores não estritamente racionais na aceitação do modelo corpuscular.

Além disso, vários estudantes observaram que a superioridade do modelo corpuscular não era necessariamente devido à sua superioridade teórica, mas à reputação e à influência de Newton. Sua presença em outras áreas da ciência e sua aceitação na comunidade científica da época contribuíram significativamente para a popularização desse modelo, mesmo que com falhas. Alguns estudantes também destacaram que os argumentos apresentados por Newton eram considerados quase irrefutáveis, pois ele contestou ideias existentes, como a proposta por Huygens. Esse tipo de argumentação impactou na aceitação do modelo corpuscular.

Não houve nenhuma resposta por parte dos estudantes mencionando explicitamente fatores sociais, políticos e econômicos, mas é possível verificar que a influência de questões não necessariamente científicas, como o contexto social, político e econômico da época, pode ter desempenhado um papel na aceitação do modelo de Newton.

**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 suas pesquisas. Você vê a postura dos seguidores de Newton como positiva ou negativa? Explique.

**Objetivo:** Apresentar a influência da imagem de Newton na formação de um modelo para a luz.

**Resposta esperada:** Espera-se que a maioria dos estudantes venha a encarar a postura dos seguidores de Newton como negativa, pois a imagem e a autoridade de Newton serviram de obstáculo para o desenvolvimento do modelo ondulatório no século XVIII.

Tabela 17: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 4 do Texto II

<b>Categorias</b>	<b>Quantidade de estudantes</b>	<b>Exemplos de respostas dadas pelos estudantes</b>
Positiva	0	-----
Negativa	19	A11: Negativa. Pois aproveitou-se da morte do Hooke para ficar com o reconhecimento sobre os estudos. A3: Negativa, pois, isso fazia com que outros estudos, talvez mais bem desenvolvidos, realizados por outras pessoas, perdessem destaque. A6: Negativa, pois acreditavam que a teoria de Newton era a única que poderia estar correta quando na verdade não era. A7: negativa, pois eles não iriam se perguntar se as conclusões de Newton seria realmente verdades. A15: Negativa, pois se os mesmos contestam a teoria poderiam melhorá-la e podendo ter mais conhecimento, sem falar que o endeusamento é prejudicial tanto para o endeusado quanto para os seus 'súditos'
Não respondeu	3	-----
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

A postura dos seguidores de Newton, após a publicação de seu livro "Óptica" em 1704, é vista pela maioria dos estudantes (19) como negativa. Isso se deve ao fato de que a imagem e a autoridade de Newton foram consideradas

como verdades absolutas, o que serviu como um obstáculo para o desenvolvimento do modelo ondulatório no século XVIII. Os estudantes destacaram diversos pontos negativos associados, enfatizando que essa atitude prejudicou o avanço de outros estudos e teorias. A crença de que a teoria de Newton era a única correta e o fato de não contestarem suas conclusões foram considerados como aspectos negativos

Ressalta-se que esses pontos destacados são vistos como fatores que limitaram o avanço científico na compreensão da natureza da luz. Isso se deu, especialmente, no que diz respeito ao reconhecimento e ao desenvolvimento de outras teorias (como o modelo ondulatório), que poderiam ser exploradas mais cedo se não fosse a predominância absoluta da visão newtoniana.

Ainda na perspectiva da construção do conhecimento em sala de aula a partir da história, investiga-se agora as atividades referentes à discussão do Texto III (Difração e Interferência: o ressurgimento da teoria ondulatória), na íntegra no Anexo 4. Desta atividade, participaram os mesmos estudantes, mantendo-se a mesma linha de análise que foi apresentada nos textos anteriores.

**Questão 1:** Com base no texto, como você explicaria os fenômenos de difração e interferência? Aponte exemplos do seu dia a dia em que você vivencia estes fenômenos.

**Objetivo:** Discutir os fenômenos de difração e de interferência luminosa.

**Resposta esperada:** A difração é entendida como desvio dado pela luz em relação a um obstáculo. A interferência é analisada como sendo a superposição de ondas luminosas, acontecendo soma ou diminuição da onda original.

**Exemplos:** Ondas sonoras - a difração desse tipo de onda pode ocorrer a partir de uma leve abertura de uma porta, enquanto pessoas conversam atrás dessa. Interferência - trata-se de um fenômeno que acontece quando duas ondas originadas da mesma fonte seguem trajetórias distintas e em algum ponto se sobrepõe. Sobreposição de ondas - quando um celular tocar perto de caixinhas de som de um computador e se percebe que elas começaram a chiar.

Tabela 18: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 1 do Texto III

Categorias	Quantidade de estudantes	Exemplos de respostas dadas pelos estudantes
Corresponde à chave de resposta	20	<p>A15, A3, A5: O efeito de interferência é semelhante ao de difração, porém está relacionado com luz coerente atravessando duas (ou mais) fendas. Rigorosamente, a interferência se dá para fendas que são muito menores que o comprimento de onda da luz.</p> <p>Exemplos: Difração: quando estamos ouvindo uma música sendo tocada do outro lado de um muro.</p> <p>Interferência: em uma garrafa com água, quando chacoalhada há intervalo de ondinhas pequenas e grandes. Ou quando dois pequenos objetos, como duas pequenas pedras, por exemplo, batem sobre a superfície de um líquido como um rio, ondas circulares propagam-se sobre essa superfície.</p> <p>A7: A difração, nos dias de hoje, é entendida como desvio dado pela luz em relação a um obstáculo. Hoje, a interferência é analisada como sendo a superposição de ondas luminosas. Difração: um quarto escuro com pequenas frestas de luz entre as cortinas. Interferência: duas lâmpadas uma do lado da outra.</p> <p>A1: A difração acontece quando a onda, ao encontrar um obstáculo ou atravessar uma fenda, com dimensões equivalentes ao seu comprimento de onda; fragmenta-se no seu espectro. Um exemplo da difração sonora é quando estamos ouvindo uma música sendo tocada do outro lado de um muro. E a interferência temos como exemplo quando dois pequenos objetos, como duas pequenas pedras, batem sobre a superfície de um líquido como um rio, ondas circulares propagam-se sobre essa superfície, define-se então a interferência.</p>
Não corresponde à chave de resposta	0	-----
Não responderam	2	-----
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

A resposta da maioria dos estudantes correspondeu à chave de resposta ao discutirem os fenômenos de difração e interferência luminosa. Isso pode ser explicado pois a resposta é facilmente retirada do texto, proporcionando respostas caracterizadas por fragmentos retirados do texto em questão. Em especial, essa questão solicitava aos estudantes que descrevessem os fenômenos de difração e de interferência luminosa. Além disso, alguns estudantes mencionaram situações cotidianas que exemplificam esses fenômenos, como o quarto escuro com pequenas frestas de luz entre as cortinas (difração) ou duas lâmpadas próximas gerando interferência luminosa.

**Questão 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?

**Objetivo:** Observar a diversidade de critérios que permeiam uma comunidade científica no processo de aceitação ou rejeição de uma teoria.

**Resposta esperada:** Espera-se que os estudantes percebam que um dos fatores que impedia a aceitação da teoria ondulatória foi a credibilidade de Newton. Ainda, fatores como a medição do comprimento de onda, os erros apresentados nas explicações ou nas teorias de Newton e a falta de uma fundamentação matemática para os fenômenos de polarização, por exemplo, fizeram com que ressurgisse tal modelo.

Tabela 19: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 2 do Texto III

<b>Categorias</b>	<b>Quantidade de estudantes</b>	<b>Exemplos de respostas dadas pelos estudantes</b>
Medição do comprimento de onda	4	A15: Um fator determinante para a retomada do modelo ondulatório foi a determinação do comprimento de onda da luz.
A credibilidade de Newton	6	A6: O que impedia era a popularidade das ideias de Newton, que defendia o modelo corpuscular.
Erros apresentados nas	10	A2, A5: Porque os cientistas queriam ter uma resposta do porquê aquilo acontecia, e foram criando teorias e algumas delas foram criticadas como a de Newton, por apresentar diversas falhas.

explicações ou teorias de Newton		A7: Nesse período, devido aos problemas encontrados em aspectos do modelo newtoniano, reiniciam-se os estudos sobre o modelo ondulatório. Vimos que uma das divergências encontradas 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 a água. Para o modelo corpuscular, a velocidade aumentaria para o ondulatório, não.
Falta de uma fundamentação matemática	0	-----
Não responderam	2	-----
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

A diversidade de critérios que colaboram para a aceitação ou a rejeição de uma teoria científica é destacada nas respostas dos estudantes. Nelas foram mostrados os fatores que impediram a aceitação do modelo ondulatório na segunda metade do século XVIII e os que contribuíram para seu ressurgimento, enquanto o modelo corpuscular de Newton perdia espaço. Percebe-se que alguns estudantes destacaram mais de um fator, como o estudante A7.

Destacam-se ainda alguns fatores que impediram a aceitação da teoria ondulatória, como a credibilidade de Newton e os erros nas explicações ou nas teorias do físico. Também se citam fatores que contribuíram para o ressurgimento do modelo ondulatório, como a medição do comprimento de onda e a falta de fundamentação matemática para o modelo corpuscular à medida que novos fenômenos surgiam (como a polarização da luz, ainda que esse não tenha sido sugerido por nenhum estudante).

A aceitação ou a rejeição de teorias científicas pode ser influenciada por diversos fatores, incluindo a credibilidade de cientistas renomados, as evidências experimentais, as críticas às teorias existentes e o desenvolvimento de novas bases teóricas e experimentais. Portanto, entende-se que a atividade permitiu a discussão destes aspectos.



**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, a refração, a difração e a 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.

**Objetivo:** Desmistificar a ideia de que, para comprovar uma teoria, é necessário realizar uma experiência no final do processo de validação dessa teoria.

**Resposta esperada:** Espera-se que os estudantes percebam que o experimento por si só não é fator preponderante para a validação da teoria. Às vezes, para sua melhor aceitação é necessária a fundamentação teórica, ou seja, uma comprovação matemática por exemplo.

Tabela 20: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 3 do Texto III

Categorias	Quantidade de estudantes	Exemplos de respostas dadas pelos estudantes
O experimento é decisivo para validar uma teoria	20	<p>A15: Sim, graças a eles, eram descobertas inconsistências que faziam com que outras teorias surgissem.</p> <p>A6: Sim, eu acho. Pois, cada cientista criou uma teoria que depois pode ser estudada para ver se realmente faria sentido.</p> <p>A1: Sim. Graças a eles, eram provadas essas novas teorias.</p> <p>A7: Acredito que tenham sido de grande importância esses teste e experimentos e sim foram decisivos para todos os modelos pois com uma nova visão e estudo foi possível aprofundar mais nessa causa. A óptica ondulatória permite a compreensão de fenômenos que não podem ser explicados pela óptica geométrica, tais como a interferência, difração, polarização e enfim.</p> <p>A18: Acho que foram decisivos para validar uma teoria. Pois cada um acreditava em uma coisa diferente e queria provar sua validade.</p>
O experimento não é decisivo para validar uma teoria	0	-----
Não responderam	2	-----

<b>Total</b>	<b>22</b>	-----
--------------	-----------	-------

Fonte: A autora (2023).

Nota-se que a maioria dos estudantes acredita que os experimentos desempenharam um papel decisivo na validação das teorias no estudo da luz, com 20 estudantes defendendo essa posição. Suas respostas refletem a ideia de que os experimentos foram fundamentais para a comprovação ou a refutação das teorias existentes sobre a luz. Eles mencionaram que devido aos experimentos, inconsistências foram descobertas, possibilitando o surgimento de novas teorias. Além disso, enfatizaram que os experimentos permitiram aprofundar o entendimento dos fenômenos luminosos, especialmente na transição da óptica geométrica para a óptica ondulatória, onde fenômenos como interferência, difração e polarização foram explicados.

No entanto, é importante notar que nenhum estudante argumentou que o experimento por si só não é decisivo para validar uma teoria. A resposta esperada sugere que, às vezes, a validação de uma teoria requer não apenas experimentos, mas também uma fundamentação teórica, como comprovação matemática, por exemplo. Ressalta-se que, no desenvolvimento das aulas, não se deu muita importância para a comprovação matemática e se trabalhou mais os experimentos envolvidos. Isso pode ter levado os estudantes a também negarem o fato da comprovação matemática ou não terem dado o devido valor.

**Questão 4:** Tomando como exemplo o episódio da história da óptica estudado, responda: Podemos afirmar que a ciência é construída de forma cumulativa, onde os conhecimentos novos somente são somados aos anteriores ou ela passa por períodos de quebras e de rupturas?

**Objetivo:** Compreender o desenvolvimento do conhecimento científico.

**Resposta esperada:** Os estudantes podem observar a ideia de desenvolvimento científico linear, no qual os conhecimentos são somados aos anteriores ou que os conceitos apresentados pelos cientistas no passado, além de passarem por momentos de verdadeiras revoluções (quebras e rupturas), são diferentes.

Tabela 21: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 4 do Texto III

<b>Categorias</b>	<b>Quantidade de estudantes</b>	<b>Exemplos de respostas dadas pelos estudantes</b>
Os conhecimentos são somados aos anteriores	16	A1: Na minha opinião, eu acho que depende de vários fatores, mas provavelmente são somados aos anteriores. A10: No meu ver, os novos conhecimentos são somados aos anteriores. A7: O progresso do conhecimento científico é cumulativo porque sempre soma novas verdades e é sistematizado porque pressupõe uma organização, uma unificação que coordena o conhecimento já existente e as novas hipóteses, que suscitam métodos para investigar o ainda desconhecido.
Os conhecimentos passam por momentos de quebra e rupturas	1	A5: Que passam por momentos de quebras e rupturas, desmistificando o que não está certo rompendo barreiras para evolução do conhecimento.
As duas possibilidades	3	A12: As duas afirmações são corretas, as vezes um estudo mais recente pode ser a continuação de um antigo que não estava completo e as vezes uma teoria pode ser refutada a partir de novos experimentos realizados. A13: Os novos conhecimentos são somados aos anteriores, mas também passam por momentos de quebras e rupturas.
Não responderam	2	-----
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

Observando as respostas, nota-se que a maioria dos estudantes (16) acredita que o conhecimento científico é desenvolvido de forma cumulativa. Em outras palavras, eles acreditam que novos conhecimentos se somam aos anteriores. As respostas dos estudantes refletem a ideia de um progresso linear, onde as descobertas científicas e as teorias se integram e se complementam ao conhecimento já existente.

No entanto, há um estudante que compartilha a perspectiva de que os conhecimentos científicos enfrentam momentos de ruptura e de quebra, onde ideias antigas são colocadas em questionamento, desmistificadas e superadas

para promover o progresso do conhecimento. Isso sugere que existem períodos de revoluções ou de mudanças paradigmáticas na ciência, nos quais ideias estabelecidas podem ser contestadas e substituídas por outras mais apropriadas ou abrangentes.

Por outro lado, alguns estudantes adotaram uma abordagem intermediária, sugerindo que ambas as afirmações estão corretas. Eles reconhecem que, em certos casos, os novos conhecimentos são uma expansão ou continuação dos antigos; enquanto em outros casos, teorias anteriores podem ser refutadas ou reformuladas com base em novas evidências ou experimentos. Os textos trabalhados mostraram que o conhecimento segue uma ordem sequencial e acumulativa e os pensadores constroem e refinam as ideias ao longo do tempo, baseados nas concepções iniciais. Essas melhorias surgem a partir das observações feitas por cada pensador que, por sua vez, são influenciadas pela interação entre diferentes culturas, circunstâncias históricas e outros fatores. O motivo que levou os estudantes a responderem por quebras e rupturas pode ser pelo fato de que a literatura mostra que a teoria corpuscular era predominante.

**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 à 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.

**Objetivo:** Perceber que o erro, na ciência, nem sempre é um fator negativo.

**Resposta esperada:** Espera-se que os estudantes entendam que os erros favoreceram o descobrimento de novos fatos e que são de suma importância no desenvolvimento da ciência.

Tabela 22: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 5 do Texto III

<b>Categorias</b>	<b>Quantidade de estudantes</b>	<b>Exemplos de respostas dadas pelos estudantes</b>
Os erros são essenciais	20	<p>A1: Talvez tenha sido bom terem errado na história da óptica, para que aceitassem no fim o que realmente ela é. Acho q os erros tenham sido bons para o desenvolvimento da ciência, porque eles tinham uma base do que seria...e assim pudessem "adivinhar" o que realmente era.</p> <p>A13: Foram importantes sim, pois como dizem, é errando que se aprende. Para mim, alguns erros, como no caso da óptica, foram necessários para chegar aonde chegou-se hoje.</p> <p>A14: Creio que foi importante os erros pois com os erros eles buscaram saber mais.</p> <p>A5: Teorias erradas são sim importantes, pois sem elas, o que é considerado correto não existiria, e mesmo que estejam erradas, alguns dos fundamentos principais podem ajudar na descoberta de algo mais bem desenvolvido.</p> <p>A7: Todo erro serve de aprendizagem, podendo progredir de uma forma mais correta e tendo uma base de certa forma certa.</p>
Os erros não são importantes	0	-----
Não responderam	2	-----
<b>Total</b>	<b>22</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

Analisando as respostas, a maioria dos estudantes (20) expressa a visão de que os erros desempenham um papel fundamental no desenvolvimento da ciência, especialmente na história da óptica. Relatam que os erros foram importantes para o progresso científico, pois permitiram a busca por respostas mais precisas. Ademais, as respostas mostram a ideia de que os erros foram valiosos, porque contribuíram para o aprendizado e o avanço do conhecimento científico e, ainda, é por meio dos erros que se aprende e se aprimora o entendimento sobre um determinado fenômeno. Afinal, mesmo teorias erradas podem conter fundamentos importantes que ajudam no desenvolvimento de novas teorias fundamentadas.

Nenhum estudante expressou a visão de que os erros não são importantes na história da óptica. Todos reconheceram o valor dos erros como parte importante do processo científico, contribuindo para a evolução e o aprimoramento do conhecimento ao longo do tempo, alcançando o objetivo almejado com a questão.

Finalizando a análise da construção do conhecimento em sala de aula a partir da história, discute-se agora as atividades referentes à discussão do Texto IV (Efeito Fotoelétrico), disposto no Apêndice F. Desta atividade participaram os mesmos estudantes, mas a dinâmica de leitura e de discussão foi proposta de maneira diferente: a turma foi dividida em cinco grupos (numerados de 1 a 5) com quatro ou cinco estudantes em cada. Primeiramente, os grupos fizeram a leitura do texto. Após, apresentaram falas referentes ao entendimento deles, discutindo com os outros grupos. Por fim, receberam questões para responder, sendo analisadas as respostas.

**Questão 1:** (Adaptada - UFMG) A natureza da luz é uma questão que preocupa os físicos há muito tempo. No decorrer da história da física, houve o predomínio ora da teoria corpuscular - a luz seria constituída por partículas -, ora da teoria ondulatória - a luz seguia uma onda -. Como você descreve a ideia aceita atualmente pela comunidade científica da natureza da luz? Quais os experimentos que servem de evidência para a concepção descrita no item anterior? Explique-os resumidamente.

**Objetivo:** Perceber o comportamento dual da luz.

**Resposta esperada:** A ideia aceita pela comunidade científica é o da dualidade da onda/partícula da luz. O experimento da dupla fenda de Young em 1802 e da explicação do efeito fotoelétrico realizada por Einstein em 1905 servem de evidência para tal concepção. A experiência da dupla fenda consiste em fazer a luz passar por duas fendas em uma placa e observar o padrão de franjas (listras) claras e escuras. Já o efeito fotoelétrico consiste em incidir luz sobre uma placa metálica para arrancar elétrons.

Tabela 23: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 1 do Texto IV

<b>Categorias</b>	<b>Quantidade de Grupos</b>	<b>Respostas dos grupos</b>
Dualidade onda/partícula da luz	4	G1, G4 e G5: A luz possui natureza dupla, tanto onda quanto partícula. G2: Dualidade, constatada pelos experimentos da dupla fenda que é a passagem de luz por uma “faixa” e produz uma imagem com listras claras e listras escuras, ondas, e o efeito fotoelétrico onde luz bate na placa e arranca elétrons dela, partícula.
Outra	1	G3: A ideia de Einstein era bastante simples, pois admitiu que a energia da radiação eletromagnética não era distribuída uniformemente sobre as frentes de ondas de frequência e sim, concentrada em pequenas regiões, isto é, eram verdadeiros “pacotes” de energia denominados por Einstein de Lichtquantum (“quantum de luz”). Comprovou assim, a dualidade onda partícula da luz, explicando satisfatoriamente esse efeito, através da teoria do efeito fotoelétrico, isso porque, para comprovar essa teoria, precisava-se considerar a teoria corpuscular da luz.
<b>Total</b>	<b>5</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

Nessa questão, o objetivo é perceber o comportamento dual da luz. A maioria dos grupos atingiram o objetivo e destacaram a importância dos experimentos para a observação da dualidade onda/partícula da luz. Os estudantes mencionaram a explicação de Einstein sobre o efeito fotoelétrico, em que ele introduziu a ideia de “pacotes” de energia da luz (Lichtquantum ou “quantum de luz”); demonstrando a dualidade e evidenciando que a luz se comporta como partícula em determinadas situações. Destaca-se que esses experimentos fornecem evidências para a compreensão contemporânea da luz com um comportamento dual, apresentando propriedades tanto de onda quanto de partícula.

**Questão 2:** Para a Teoria Eletromagnética Clássica, a luz é tratada como uma onda eletromagnética. Baseando-se nos conceitos e fundamentos de tal teoria

clássica, esperava-se que o Efeito Fotoelétrico exibisse algumas características. Quais seriam essas características?

**Objetivo:** Refletir sobre as previsões da física clássica para o fenômeno do efeito fotoelétrico.

**Resposta esperada:** (1) O efeito deveria ocorrer para qualquer frequência das ondas eletromagnéticas, desde que a intensidade da luz fosse suficiente; (2) Quanto mais intensa a radiação eletromagnética incidente em um material fotoelétrico, maior seria a velocidade do elétron arrancado; (3) Era necessário um tempo razoável para que tal radiação pudesse arrancar elétrons do material emissor.

Tabela 24: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 2 do Texto IV

<b>Categorias</b>	<b>Quantidade de grupos</b>	<b>Respostas dos grupos</b>
Frequência de onda e intensidade da luz	4	G2, G3 e G4: Quanto mais intensa a radiação eletromagnética incidente em um material fotoelétrico, maior seria a velocidade do elétron arrancado. Além do mais, como essa radiação era distribuída em uma onda, de acordo com o eletromagnetismo Maxwelliano, era necessário um tempo razoável para que tal radiação arrancasse elétrons do material emissor. G5: Os elétrons emitidos têm velocidade iniciais finitas, são independentes da intensidade da luz incidente, porém, depende de sua frequência. O número total de elétrons emitidos é proporcional à intensidade da luz incidente
Outra	0	-----
Não responderam	1	-----
<b>Total</b>	<b>5</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

Com o objetivo de refletir sobre as previsões da física clássica para o fenômeno do efeito fotoelétrico, entre as respostas destacam-se algumas características que foram discutidas: (a) relação com a intensidade da luz, em que a maioria dos grupos mencionou que, de acordo com a teoria clássica, quanto mais intensa a radiação eletromagnética incidente em um material fotoelétrico, maior seria a energia ou velocidade do elétron arrancado; (b)



dependência da frequência da luz, onde um grupo destacou que a velocidade inicial dos elétrons emitidos seria independente da intensidade da luz incidente, mas dependeria da frequência da luz - isso sugere que a quantidade de energia dos elétrons emitidos depende da frequência da luz, não da intensidade; e (c) tempo para arrancar elétrons, em que foi apontado sobre a necessidade de um tempo razoável para que a radiação arrancasse elétrons do material emissor.

Essas características revelam as expectativas fundamentadas na Teoria Eletromagnética Clássica em relação ao fenômeno fotoelétrico. No entanto, é importante ressaltar que a descrição desse fenômeno com base nessa teoria não se alinhou com as observações experimentais, solucionadas mediante a adoção da abordagem quântica introduzida por Einstein. Nessa nova perspectiva, Einstein explicou o fenômeno a partir do conceito de fóton.

**Questão 3:** Quais são os princípios básicos resultantes explicados por Einstein nas experiências feitas com o efeito fotoelétrico?

**Objetivo:** Perceber a importância das explicações de Einstein para o fenômeno do efeito fotoelétrico.

**Resposta esperada:** Quando se aumenta a intensidade da radiação incidente sobre a chapa metálica, aumenta o número de elétrons emitidos com a mesma energia cinética, mas não aumenta a energia cinética de um mesmo número de elétrons, como previa a teoria clássica. Se a frequência da radiação é muito baixa, não há emissão de elétrons, independentemente da intensidade da radiação. A emissão passa a ocorrer a partir de certo valor mínimo da frequência e a energia cinética dos elétrons é proporcional à frequência de radiação (a teoria clássica previa a emissão com qualquer valor de frequência).

Tabela 25: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 3 do Texto IV

Categorias	Quantidade de grupos	Respostas dos grupos
Corresponde a resposta	3	G1 e G3: Os elétrons só são ejetados caso a energia dos fótons incidentes seja maior ou igual à função trabalho do material; A energia cinética dos elétrons ejetados só depende da frequência da luz incidente; A intensidade da luz só afeta a quantidade de elétrons que é ejetada a cada segundo.

		G2: Admitiu que energia da radiação eletromagnética não era distribuída uniformemente sobre as frentes de ondas de frequência e sim, concentradas em pequenas regiões, eram "pacotes" de energia.
Não corresponde a resposta	1	G5: Surgimento de centelhas mais facilmente.
Não responderam	1	-----
<b>Total</b>	<b>5</b>	

Fonte: A autora (2023).

O intuito dessa questão é perceber a explicação de Einstein para o fenômeno do efeito fotoelétrico. Ao se analisar as respostas, três grupos mencionaram corretamente que os elétrons só são ejetados se a energia dos fótons incidentes for maior ou igual à função trabalho do material. Isso significa que a energia necessária para remover um elétron do material é dependente da energia dos fótons que incidem sobre ele. Dois grupos afirmaram que a energia cinética dos elétrons ejetados depende da frequência da luz incidente. Essa característica demonstra que, ao contrário do previsto pela teoria clássica, a energia cinética dos elétrons não aumenta com a intensidade da luz, mas com a frequência da radiação. E um grupo mencionou que a intensidade da luz afeta apenas a quantidade de elétrons que são ejetados a cada segundo e não a energia cinética desses elétrons; porém, isso é contrário do que se esperava da teoria clássica, que sugeria que a intensidade da luz deveria aumentar a energia cinética dos elétrons emitidos. Ainda, um grupo mencionou o surgimento de centelhas mais facilmente, o que não corresponde à resposta esperada.

Assim, pode-se notar que as respostas revelam alguns dos conceitos básicos mostrados por Einstein nas experiências do efeito fotoelétrico, as quais ajudaram na compreensão da natureza quântica da luz, contrapondo e reavaliando as previsões da teoria clássica.

**Questão 4:** Por que existe um limiar de frequência da luz para a emissão de elétrons da placa?

**Objetivo:** Relacionar a energia necessária para arrancar o elétron com um modelo de átomo.

**Resposta esperada:** Porque a energia necessária para arrancar o elétron do átomo é igual à energia de ligação elétron – núcleo. Quando um fóton de energia maior do que aquela necessária para arrancar o elétron é absorvido, o elétron sai com uma “energia extra”, na forma de energia cinética. Se a energia do fóton for menor do que a função trabalho do material, os elétrons não serão emitidos, independentemente da intensidade da luz.

Tabela 26: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 4 do Texto IV

<b>Categorias</b>	<b>Quantidade de grupos</b>	<b>Respostas dos grupos</b>
Corresponde a resposta	3	G2: Para atingir a quantidade de energia para arrancar o elétron, sendo essa energia igual a energia de ligação do elétron com o núcleo.
Resposta incompleta	1	G5: Porque os elétrons emitidos são dependentes da frequência da luz. G1 e G4: Porque a luz comporta-se como uma partícula, transferindo energia para os elétrons, que são ejetados para fora do material.
Não respondeu	1	-----
<b>Total</b>	<b>5</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

Para essa questão influi o limiar de frequência da luz e tem-se como objetivo relacionar a energia necessária para arrancar o elétron com um modelo de átomo. Nota-se que, novamente, um grupo não respondeu. Entre os que responderam observa-se que um grupo conseguiu relacionar a energia necessária para arrancar o elétron corretamente, isto é, que o limiar de frequência da luz para a emissão de elétrons ocorre porque a energia necessária para arrancar o elétron do átomo é igual à energia de ligação elétron-núcleo.

Ainda, dois grupos mencionaram que a luz se comporta como uma partícula, transferindo energia para os elétrons, o que resulta na ejeção desses elétrons do material. Embora a explicação destaque o comportamento da luz, ela não aborda diretamente a relação da energia do fóton com a energia de ligação do elétron ao núcleo do átomo, mas subentende-se que precisa de uma certa quantidade de energia para arrancar o elétron do material.

Para finalizar, um grupo mencionou que as energias dos elétrons emitidos são dependentes da frequência da luz, o que está correto, mas não ocorre

explicação da relação com a energia de ligação entre o elétron e o núcleo do átomo, caracterizando uma resposta incompleta.

**Questão 5:** O que se entende por função trabalho?

**Objetivo:** Entender que cada material precisa de uma quantidade específica de energia para arrancar seus elétrons, quando fótons incidem sobre ele.

**Resposta esperada:** É a energia mínima que cada material necessita para remover elétrons de sua superfície, quando nele incide a radiação luminosa - fótons.

Tabela 27: Tabulação das respostas dos estudantes da Questão 5 do Texto IV

<b>Categorias</b>	<b>Quantidade de grupos</b>	<b>Respostas dos grupos</b>
Corresponde a resposta	5	G1 e G3: A função trabalho localiza o estado com energia de vácuo em relação ao estado com energia de Fermi para a amostra em análise. Corresponde a energia necessária para remover um elétron de amostra (geralmente sólido) colocando ao nível de vácuo. G2: A função trabalho é a energia mínima necessária para extrair um elétron de uma estrutura sólida. Uma forma de fornecer essa energia é através de um processo de absorção de um fóton. G4 e G5: Corresponde a energia necessária para se mover um elétron da amostra (sólido) colocando-o ao seu nível de vácuo
Não corresponde a resposta	0	-----
<b>Total</b>	<b>5</b>	-----

Fonte: A autora (2023).

Essa questão tem teor mais de definição, mas com certo entendimento, pois apesar de ser possível retirar fragmentos do próprio texto para respondê-la, isso sugere que a maioria deva dar uma resposta adequada. Ao se observar a Tabela 27, todos os grupos estão de acordo com a definição esperada, abordando o conceito de energia mínima necessária para remover elétrons de um material quando incide a radiação luminosa (fótons) sobre ele. Um grupo enfatizou que a função trabalho é a energia mínima necessária para extrair um

elétron de uma estrutura sólida, relacionando-a à absorção de um fóton para fornecer essa energia. Dois grupos destacaram que a função trabalho corresponde à energia necessária para mover um elétron da amostra (material sólido), colocando-o ao nível de vácuo e indicando a energia necessária para remoção do elétron do material.

Apesar de algumas variações na maneira de responder, todas indicam uma possível compreensão do conceito da função trabalho, ou seja, a energia mínima requerida para remover elétrons de um material quando a radiação luminosa incide sobre ele. Em suma, os resultados foram positivos, pois os objetivos propostos foram alcançados. Notam-se mudanças nas concepções espontâneas e na resolução das questões, visto que a maioria dos estudantes conseguiu chegar na resposta esperada, alcançando o objetivo de cada questão.

O desenvolvimento da proposta transcorreu de forma tranquila, sem grandes desafios referentes à aplicação. Não houve falta de computadores e de *internet* e todos os estudantes conseguiram acessar e trabalhar na plataforma virtual. O laboratório de informática conta com profissional que entende de tecnologia de informação, então a pesquisadora pode se dedicar à mediação; mas, mesmo com outro professor usando o laboratório de informática, as salas de aula também possuem acesso à *internet*, então foram utilizados os tablets da escola.

Isso se deve ao fato de que a escola, em que se aplicou o produto, é bem equipada tecnologicamente. As salas de aula são salas ambientes/temáticas e quase todas possuem *data show* ou televisor com cabo HDMI, com *notebook*, caixa de som e acesso à internet. No laboratório de informática há em torno de 30 computadores em funcionamento. Ademais, a escola paga, por meio da APP (Associação dos Pais e Professores), uma rede de internet de 10MB. Destaca-se que os profissionais que atuam no laboratório são eficientes e auxiliam o professor no que for preciso. O que é preciso batalhar muito para mudar é a consciência dos estudantes, pois a maioria deles conhece e sabe manusear muito bem as tecnologias, mas não conseguem tirar proveito disso para construir conhecimento científico. Como consequência, haveria uma aprendizagem significativa.

Diante do que se foi observado no decorrer do desenvolvimento do produto educacional, afirma-se que a teoria da aprendizagem significativa de

Ausubel (1982) deu suporte na organização dos roteiros pedagógicos. Utilizou-se os textos históricos como os organizadores prévios, valorizando os conhecimentos dos estudantes, e realizaram-se atividades como simulações e lista de exercícios, utilizados como meios, possibilitando descobrir e redescobrir outros conhecimentos. O uso de recursos tecnológicos despertam o interesse e facilitam o processo de ensino e aprendizagem. Contudo, é necessário que o professor faça uma reflexão sobre sua prática enquanto profissional da educação. Não é apenas um método ou uma teoria que contribuirá para a aprendizagem do conteúdo, mas uma articulação entre a vontade de ensinar dos professores com o desejo de aprender dos estudantes. É a partir desta troca de saberes que a escola voltará a ter o seu brilho, tornando-se mais atrativa aos estudantes.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito deste trabalho foi construir um roteiro pedagógico baseado na evolução histórica da teoria da luz para o ensino do comportamento dual da luz. Para isso, fez-se uso do ambiente virtual *Google Classroom*, que permite a criação de uma sala de aula virtual, e analisou-se como um grupo de estudantes se manifesta tendo que manipular essa plataforma virtual em complemento às aulas presenciais. Durante a aplicação com os alunos, as expectativas em relação às aulas superaram o esperado pela pesquisadora. Por ser uma proposta composta de diversas atividades, isso acarretou um grande envolvimento da turma com o tema proposto.

Durante as diferentes etapas da elaboração, da pesquisa e da atividade aplicada, atentou-se cuidadosamente às características cognitivas dos estudantes envolvidos, adaptando os conceitos complexos da teoria da dualidade da luz para torná-los acessíveis e envolventes. Incorporou-se textos, recursos multimídia e atividades interativas, acompanhando a importância de abordagens direcionadas para atender às diversas formas de aprendizagem.

A utilização dos textos históricos desempenhou um papel importante na aprendizagem do conteúdo desenvolvido, fornecendo um contexto rico e significativo aos estudantes. Ao explorar os desenvolvimentos históricos, os aprendizes têm a oportunidade de entender não apenas os conceitos fundamentais, mas também os processos cognitivos, os desafios, as descobertas e as explicações que moldaram a compreensão atual da física. Por intermédio da história, é possível entender como teorias foram propostas, testadas e revisadas ao longo do tempo, permitindo não apenas conhecer, mas também compreender o método científico e reconhecer a natureza dinâmica e evolutiva da ciência (Zanetic, 1989)

Ao refletir-se sobre atividades deste cunho realizadas com estudantes do ensino médio, observa-se que o sucesso de sequências didáticas pautadas em aprendizagem significativa depende da parceria entre educadores, alunos e a comunidade escolar, bem como o acesso às tecnologias digitais. É intento que a proposta deste produto educacional não apenas enriqueça o currículo das aulas de física, mas também seja inspiração pela investigação científica e pelo

entendimento profundo das características dos mais diversos fenômenos que permeiam o estudo da física.

Muitas vezes o ensino da Óptica Geométrica, lecionado no ensino médio, é fundamentado e restrito em raios e ângulos. Aliado a isso, se desprovido de significado para os alunos devido à ausência de contextualização com o mundo por eles vivenciados e pelos conteúdos científicos treinados na escola, o processo de ensino foge ao sentido e a compreensão dos estudantes. Assim, ao finalizar este estudo sobre a teoria da dualidade da luz, é importante destacar o compromisso com a aprendizagem significativa.

A aprendizagem significativa, conforme preconizada pela BNCC para o ensino médio na disciplina de física, visa proporcionar aos alunos uma compreensão dos conceitos, tornando o conhecimento relevante e aplicável em diferentes contextos. Ao alinhar esse roteiro pedagógico com os princípios da Base, busca-se a não transmissão de informações, mas a criação de oportunidades para que os alunos construam seu entendimento sobre a dualidade da luz. Pois, a integração de experiências práticas, de projeções visuais e de situações do cotidiano permite que os estudantes estabeleçam conexões entre a teoria abstrata e o mundo real, facilitando a internalização dos conceitos.

A aprendizagem significativa também se apoia na promoção da discussão em sala de aula, na análise crítica de informações e na resolução de problemas contextualizados. Ao concluir a análise do que foi proposto no início (problematização inicial e questões referentes aos textos históricos), destaca-se que, apesar das dificuldades inerentes ao processo, a construção do conhecimento a partir do uso da história da óptica e da teoria da aprendizagem significativa apresentou resultados interessantes para este grupo de estudantes. Destacam-se a seguir alguns resultados observados:

(1) A questão 1 da problematização inicial tinha como objetivo identificar o processo de visão relacionando com a concepção espontânea que diz “A luz vai do olho até o objeto para captá-lo visualmente, ou seja, a luz sai do olho, viaja até o objeto e volta para o olho, transportando a imagem”. A maioria dos estudantes respondeu corretamente, mas ao se observar algumas justificativas dadas pelos estudantes notou-se a dificuldade de apresentar os conceitos corretamente. Exemplo: o estudante A11 disse que “a luz está batendo na



mulher, o que permite melhor visualização” e A6 afirmou que “os raios de luz batem nos olhos da mariana e depois nos olhos do Issac”. Já a questão 2 do texto I faz referência direta à atividade 1 do questionário inicial. Aqui verifica-se que houve aumento significativo para essa escolha (17 estudantes) e as justificativas estão mais voltadas para a explicação correta. Por exemplo, o estudante A6 afirmou que “primeiramente a luz incide na imagem e depois ela chega aos nossos olhos” e A7 disse que “a luz atinge o objeto que reflete luz para nós e assim podemos vê-lo”. Mesmo que o resultado não represente a totalidade dos estudantes, indica-se que a leitura e a análise do texto histórico, sem nenhuma intervenção do professor, surtiram resultados.

(2) Referente à questão 5, ainda da problematização inicial que tratava da natureza da luz, os estudantes não conseguiram responder sobre a natureza da luz. Eles argumentaram com outras evidências, como por exemplo: A13 disse que “a luz não atravessa a estátua pois a estátua é de matéria sólida” e A17 entendeu que “a luz não interfere em outra luz, pois a luz em si não é sólida e não tem matéria”. A questão 1 do texto IV volta a trazer essa temática, mas aqui percebe-se que todos os estudantes conseguiram perceber a dualidade da luz, ou seja, o comportamento corpuscular e ondulatório. Por exemplo, G1, G4 e G5 afirmaram que “a luz possui natureza dupla, tanto onda quanto partícula”. Nesse item fica claro que o desenvolvimento da sequência foi positivo, pois um dos objetivos era que os estudantes compreendessem o comportamento dual da luz por meio da história da física.

(3) Sobre as concepções espontâneas analisadas nos conhecimentos prévios e em outras trabalhadas na aplicação dos textos históricos, também pode-se notar um avanço no processo de aprendizagem. Na medida em que os estudantes interagiram com os textos históricos, suas concepções espontâneas foram desafiadas e modificadas pela maioria deles. Isso possibilitou avanço no conhecimento individual e também na compreensão do conhecimento científico. Citam-se algumas: A luz é identificada como estando ou na fonte emissora ou no objeto iluminado, em muitos casos não é reconhecido a propagação da luz (questão 5 da problematização inicial, questão 1 do texto I); O alcance de uma fonte de luz depende da sua intensidade luminosa, quanto maior a intensidade da fonte maior será o alcance da luz e essa se propaga numa distância maior no escuro do que em um meio claro (questão 3 da problematização inicial); A

propagação da luz pode não se dar somente de modo retilíneo, há confusão entre a propagação retilínea com a propagação paralela considerando somente a emissão de raios paralelos (questão 2 da problematização inicial); A luz vai do olho até o objeto para captá-lo visualmente, ou seja, a luz sai do olho, viaja até o objeto e volta para o olho, transportando a imagem (questão 1 da problematização inicial, questão 2 e 3 do texto I); A luz é entendida como um ente estático, sem movimento, não sendo possível ocupar todos os espaços e iluminar todos os objetos para que sejam vistos, só o que estiver em frente a fonte de luz (questão 5 da problematização inicial).

(4) De uma forma geral, também se observou que em todas as questões dos textos históricos (Texto I, II, III e IV), a maioria dos estudantes conseguiu chegar à resposta esperada para cada questão. Ao revisar os objetivos propostos, a maioria foi alcançada de maneira satisfatória (desde as primeiras evidências da teoria da luz até a dualidade onda-partícula, passando por vários episódios da história).

Assim, ao finalizar esta pesquisa, reforça-se o comprometimento em não apenas transmitir conteúdo, mas cultivar uma compreensão profunda, rigorosa e significativa. Que este trabalho possa contribuir não apenas para o sucesso acadêmico dos alunos, mas também para o desenvolvimento de habilidades cognitivas, de atitudes científicas e de apreço pela aprendizagem ao longo da vida, conforme preconizado pela BNCC para a disciplina de física no ensino médio.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Voltaire de Oliveira. **Concepções alternativas em óptica**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2007.

ARAÚJO, Virgínia Maria de. **A aprendizagem significativa torna o aluno mais confiante e ágil no aprendizado**. Disponível em: <<http://www.cpt.com.br/cursos-metodologia-de-ensino/artigos/aprendizagem-significativa-aluno-confiante-aprendizado>>, acesso em 10 de junho de 2016.

AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

BACHELARD, Gaston. **A Formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BASSALO, J. M. F. **A Crônica da Óptica clássica (PARTE III: 1801-1905)**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.6, p.37-58, 1989.

\_\_\_\_\_, Gaston. **O novo espírito científico**. Rio de Janeiro: Edições 70, 2008.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular. Proposta preliminar. Terceira versão revista**. Brasília: MEC, 2017. Disponível em: <[http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_publicacao.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_publicacao.pdf)>. Acesso em: 23 de julho de 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular do Ensino Médio**. Brasília, 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério da educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **PCN + Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. MEC/SEMTEC, Brasília, 2002.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio - Ciência da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. MEC/SEMTEC, Brasília, 2002.

EINSTEIN, A. (1879-1955); INFELD, Leopold (1898-1968). **A evolução da Física**. Rio de Janeiro: Zahar, (1ª edição 1938), 2008.

CIOLDIN, Frederico Hummel. **Relatório final: Projeto: Oscilador de Hertz**. UNICAMP - disciplina f-609 (tópicos de ensino da física). Campinas, 2010.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello. **Texto 4: Fim do século XVII: corpúsculos ou pulsos no éter?** Curso: O éter, a luz e a natureza da ciência. USP, 2016.

HARRES João Batista Siqueira. **Um teste para detectar concepções alternativas sobre tópicos introdutórios de ótica geométrica**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis., v.10, n.3: p.220-234, dez.1993.

JUNIOR, A. & Palomino, P. & Isotani, S. (2020). **O uso de metodologias ativas no ensino a distância e os ambientes virtuais de aprendizagem – um estudo de caso**. **Anais dos Trabalhos de Conclusão de Curso**. Pós-Graduação em Computação Aplicada à Educação Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação. Universidade de São Paulo.

HEW, KF e BRUSH, T. Integrando a tecnologia no ensino e aprendizagem do ensino fundamental e médio: lacunas de conhecimento atuais e recomendações para pesquisas futuras. **Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologia Educacional**, 55(3), 2007.

KENSKI, Vani Moreira. **Tecnologias e ensino presencial e a distância**. Campinas: Papyrus, 2003.

KLOPFER, E. e SQUIRE, K. **Detetives Ambientais - O Desenvolvimento de uma Plataforma de Realidade Aumentada para Simulações Ambientais**. Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologia Educacional, 56(2), 2008.

MARTINS, M.; BUFFON, A. **A história da ciência no currículo de física do ensino médio**. ACTIO: Docência em Ciências. 2. 420. 10.3895/actio.v2n1.6790, 2017.

MARTINS, R. de A.; SILVA, C. C. As pesquisas de Newton sobre a luz: Uma visão histórica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, 4202, 2015. www.sbfisica.org.br DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11173731817>

LEITE, Kamila Nethielly Souza. **A utilização das Tecnologias da Informação e Comunicação pelos docentes de enfermagem e as dificuldades no processo de ensino-aprendizagem**. 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado em Enfermagem) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

MISHRA, P. e KOEHLER, MJ. Conhecimento do conteúdo pedagógico tecnológico: uma estrutura para o conhecimento do professor. **Registro da Faculdade de Professores**, 108(6), 1017-1054, 2006.

MIZUKAMI, M. da G. N. Pesquisa colaborativa e produção de conhecimento sobre desenvolvimento profissional de professores. **Pro-Posições**, Campinas, SP, v. 11, n. 1, p. 5–14, 2016.

MOREIRA, Marco Antonio, MASINI, Elcie F. Salzano. **Aprendizagem Significativa - A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes, 1982.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Ed. da UnB, 1998.

MOURA, B.A.; BOSS, S. L. B. **Thomas Young e o resgate da teoria ondulatória da luz**: Uma tradução comentada de sua Teoria Sobre Luz e Cores. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 4, 4203. 2015. www.sbfisica.org.br. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11173731818>

PEDUZZI, L. O. Q. **Sobre a Utilização Didática da História da Ciência. In: Ensino de Física: Conteúdo, Metodologia e Epistemologia numa Concepção Integradora**. Editora: UFSC, 2001. PIETROCOLA, Maurício (Org.).

PIAGET, J. **O tempo e o desenvolvimento intelectual da criança**. In: Piaget. Rio de Janeiro: Forense, 1973.

PIETROCOLA, Maurício et al. **Física em contextos**, vol. 2: ensino médio. São Paulo, SP: Do Brasil, 2016.

**PROJETO POLÍTICO PEDAGÓGICO**. EEB José Marcolino Eckert, Pinhalzinho-SC, 2021.

PUGLIESE, Renato Marcon. **A história da Física e a Física escolar: incoerências entre a Ciência e o ensino**. Khronos, Revista de História da Ciência, nº4, p. 32-44. 2017.

REIS, J. C. **Einstein e o universo relativístico**. São Paulo: Editora Atual. 2000.

RENN, Jürgen. **A Física Clássica de cabeça para baixo: Como Einstein descobriu a Teoria da Relatividade Especial**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 1, p. 27-36, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v27n1/a04v27n1.pdf>>, acesso em 16 de maio de 2016.

SANTOS, A.M. N. **Física e realidade**. 1ª ed. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 1990.

SILVA, Boniek Venceslau da Cruz. **Controvérsias sobre a natureza da luz: uma aplicação didática**. 2010.

SILVA, Plínio Giorgio Arruda da. **Física moderna para o ensino médio: relato de uma experiência**. UFRPE. 2015. Disponível em: <[http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacao\\_Plinio.pdf](http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacao_Plinio.pdf)>, acesso em: 28 de agosto de 2017.

SCHWARTZ, J.; MCGUINNESS, M. **Einstein para principiantes**. Trad. Cardigos dos Reis. Lisboa: Dom Quixote, 1980.

SMITH, AN, et al. **Realidade Virtual na Educação Física: Atitudes, Resultados e Desafios**. Fronteiras nas TIC, 4, 5. 2017.

SNYDERS, Georges. **A Alegria na escola**. São Paulo: Editora Manole, 1988.

SOUSA, RP., MIOTA, FMCSO., and CARVALHO, ABG., orgs. **Tecnologias digitais na educação** [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2011

STACHEL, J. **O annus mirabilis de Einstein: cinco artigos que revolucionaram a física**. Trad. Ana Sampaio. 1ª ed. Lisboa: Gradiva, 2005

TAJRA, S. F. **Informática na educação**. São Paulo: Érica, 2001.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação**. 11. ed. São Paulo, SP: Cortez, 2002.

THORNTON, RK (2002). **Aprendendo física com jogos de simulação digital**. *Jornal de Educação Científica e Tecnologia*, 11(3), 2002.

VALENTE, J. A. **Formação de educadores à distância e integração de mídias**. São Paulo: Avercamp, 2012.

VILLANI, A.; PACCA, J. L. A.; KISHINAMI, R. I.; HOSOUME, Y. **Analisando o ensino de física: contribuições de pesquisas com enfoques diferentes**. *Rev. Ens. Fis.*, v. 38, n. 3, p. 24-51, 1982.

WENGER, E. **Comunidades de Prática: Aprendizagem, Significado e Identidade**. Cambridge University Press, 1998.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física IV - ótica e física moderna**, 14a ed. São Paulo, 2016.

ZANETIC, João. **Física também é Cultura**. Tese (Doutorado em Educação). Universidade de São Paulo. São Paulo: FFLCH/USP, 1989.

## Apêndice A: Produto Educacional



---

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física –MNPEF Polo UFSC – Florianópolis

Produto educacional: Guia de aulas e atividades para o estudo dos gráficos do movimento retilíneo uniforme com a robótica educacional.

COMPORTAMENTO DUAL DA LUZ, UMA PROPOSTA DE ENSINO  
NO ENSINO MÉDIO.

NILCE ANA CREMONINI BACKES

Produto educacional elaborado sob a orientação do Prof. Dr. Paulo José Sena dos Santos, apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UFSC.

Florianópolis – SC, 2023.

## APRESENTAÇÃO

### PREZADO PROFESSOR,

O presente trabalho é parte integrante da dissertação de Mestrado intitulada “Comportamento dual da luz, uma proposta de ensino no ensino médio”, do Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal de Santa Catarina.

Trata-se de um Produto Educacional, que oferece aos professores de física uma proposta de roteiros pedagógicos para o ensino do comportamento dual da Luz no Ensino Médio. Através da utilização de ambiente virtual de aprendizagem inseridos no ensino regular presencial, utilizando a história da Física como construção do conhecimento e a teoria da aprendizagem de Ausubel como base teórica do processo ensino aprendizagem, além de sugestões de material sobre o tema que poderá ser utilizado pelo professor como uma ferramenta auxiliar nas aulas sobre o estudo dos conceitos básicos da óptica geométrica e física. As atividades propostas foram elaboradas com base nas concepções alternativas dos estudantes e na análise da problematização inicial aplicada aos estudantes. O uso do ambiente virtual como sugestão para a prática pedagógica busca motivar e instigar os estudantes a um aprendizado mais participativo e dinâmico.

As atividades podem ser aplicadas individuais ou em equipes ao longo de um bimestre e o planejamento do número de aulas, para realização das atividades propostas, pode ocorrer conforme o horário e a realidade das turmas de cada escola, sendo no período normal de aula. A sequência didática foi planejada com 9 aulas presenciais, com sugestão de atividades para serem realizadas à distância (extraclasse). Cada aula proposta foi planejada para um período de 45 min de hora-aula e o tempo à distância será definido pelo próprio estudante.

Todo o material produzido neste trabalho, como a problematização inicial, os textos históricos, as atividades de análise dos textos históricos, os slides utilizados em sala, sugestões de vídeos, as listas de exercícios, os roteiros de simulações, estão disponíveis para *downloads no link* (<https://drive.google.com/drive/folders/0B5H4V63->



*doxnfk1WODdQX0dvdFJRV0diSkhBbklBTDR6YnFZODBPOVZIX0VlczhfU0hueDA?resourcekey=0-U93QSIAM7EG5HNPQ3W0Ng&usp=sharing*).

Espera-se que esse material facilite as aulas dos professores, motive os estudantes e gere bons frutos. As atividades propostas podem ser modificadas e adaptadas para vários contextos.

## **1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A Óptica é um ramo da física que estuda a luz e seus fenômenos, dividindo-se em Óptica Geométrica e Óptica Física. A Óptica Geométrica considera a luz como feixes de raios que se propagam em linha reta, focando-se na descrição dos fenômenos sem considerar suas propriedades ondulatórias. Por outro lado, a Óptica Física aborda a natureza dual da luz, considerando suas características ondulatórias e corpusculares.

Na Óptica Geométrica, os princípios básicos incluem a propagação retilínea da luz, onde a luz se propaga em linha reta no vácuo ou em meios homogêneos. Além disso, destacam-se os fenômenos de reflexão, onde a luz incide numa superfície e é refletida, e a refração, quando a luz passa de um meio para outro e muda sua direção devido à mudança na velocidade.

A reflexão luminosa segue a Lei da Reflexão, onde o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão em relação à normal da superfície. Este fenômeno pode ser observado em reflexões especulares, em que a luz é refletida de maneira organizada, e difusas, onde a luz é espalhada em várias direções.

A Lei de Snell-Descartes descreve a relação entre os ângulos de incidência e refração, juntamente com os índices de refração dos meios envolvidos. O índice de refração, que indica a rapidez da luz em um meio, influencia a mudança de direção da luz ao atravessar superfícies de diferentes meios. A reflexão total interna é um fenômeno observado quando a luz não pode mais passar de um meio para outro, sendo fundamental em aplicações como fibras ópticas para transmissão de dados.

Algumas aplicações da óptica geométrica são espelhos planos e esféricos, lentes convexas e côncavas e na visão humana. Espelhos planos produzem imagens com características específicas, como a manutenção do tamanho e inversão lateral. Já os espelhos esféricos (côncavos e convexas)

geram imagens distintas de acordo com suas curvaturas e posições. As equações de Gauss e de espelhos auxiliam na determinação das características das imagens formadas por esses espelhos. As lentes convexas e côncavas possuem propriedades distintas na formação de imagens. As equações das lentes permitem calcular as características das imagens formadas por essas lentes. A estrutura complexa do olho humano permite a formação de imagens na retina. Defeitos visuais como miopia, hipermetropia, presbiopia e astigmatismo resultam de irregularidades no processo de formação de imagens e são corrigidos com o uso de lentes oftálmicas adequadas.

Já a óptica física estuda os fenômenos que melhor são explicados pelo comportamento ondulatório da luz, por exemplo, fenômenos de interferência e difração que são observados quando a luz passa por fendas estreitas ou por múltiplos caminhos, resultando em padrões característicos de intensidade luminosa. A polarização que envolve a orientação preferencial das ondas luminosas. Fenômenos como a polarização por reflexão e por filtros polarizadores permitem a manipulação da direção das vibrações luminosas.

Ainda temos a óptica moderna, incluindo a óptica quântica, explora fenômenos ópticos, como por exemplo o fenômeno do efeito fotoelétrico, em níveis subatômicos e suas aplicações práticas. Tecnologias atuais, como lasers e comunicação óptica, são exemplos das inúmeras aplicações da óptica moderna em diversas áreas.

De certa 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. Essa metodologia baseada em formalismo ópticos, em alguns casos, não denota, por exemplo, aspectos históricos, políticos e sociais, faz parecer que o ensino seja supérfluo, sem sentido, não que esse formalismo não seja importante, mas ele por si só é insuficiente na maioria das vezes. Acredita-se que envolvendo aspectos históricos, desenvolvimento tecnológico, entre outros, o ensino da óptica faria mais sentido para os estudantes, percebendo de onde veio tal ideia, como ela evoluiu, ou até questionando a trajetória evolutiva, de certa forma,

mostra o reconhecimento dos conceitos como objeto de construção e não como algo revelados ou meramente um sujeito passível de transmissão.

## **2. ROTEIROS PEDAGÓGICOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL:**

Reconhecer a Física, sua importância histórica, sua relação com a evolução da humanidade, suas aplicações no desenvolvimento tecnológico e em diversas áreas, percebendo assim o conhecimento científico como um dos pilares no desenvolvimento cultural e tecnológico.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Entender a natureza da luz;
- Compreender os fenômenos relacionados a luz, como:
  - Velocidade da luz;
  - Refração da luz;
  - Reflexão da luz;
  - Difração da luz;
  - Interferência da luz;
  - Polarização da luz;
  - Quantização da energia;
  - Efeito fotoelétrico.

### **2.3 PÚBLICO ALVO:**

O conteúdo pode ser ministrado com estudantes da 3ª série, no último bimestre, bem como ser desenvolvido com alunos da 2ª série, ambos do ensino médio.

### **2.4 DURAÇÃO TOTAL:**

09 aulas de 45 min.

## 2.5 METODOLOGIA

Esses roteiros pedagógicos serão aplicados em dois momentos, ou seja, as atividades serão desenvolvidas presencialmente e em complemento, contará com o uso do ambiente virtual Google Classroom, que permite a criação de uma sala de aula virtual, onde os estudantes farão as atividades propostas à distância (extraclasse).

Para as aulas presenciais:

1. Introdução: Discussão acerca do ambiente virtual.
2. Desenvolvimento: Apresentação do conteúdo com explicações claras e objetivas, atividades a serem desenvolvidas presencialmente.
3. Conclusão: Explicações e orientações sobre as atividades que estudantes realizarão no ambiente virtual tanto presencial como extraclasse.

Para as atividades a serem desenvolvidas na plataforma:

1. Ler com atenção as instruções de cada atividade.
2. Desenvolver as atividades na própria plataforma.
3. Sempre respeitar as datas de devolução de cada atividade.

Tabela 1: descrição do conteúdo abordado em cada aula.

<b>Aula</b>	<b>Conteúdo</b>
<b>Aula 1</b>	Problematização inicial
<b>Aula 2</b>	Primeiras impressões
<b>Aula 3</b>	Novas descobertas: Refração e reflexão da luz
<b>Aula 4</b>	Entendendo os conceitos: introdução à óptica geométrica
<b>Aula 5</b>	Entendendo os conceitos: Refração e reflexão da luz
<b>Aula 6</b>	O Trabalho continua: Difração, interferência e polarização da luz
<b>Aula 7</b>	Conclusões: Efeito fotoelétrico
<b>Aula 8</b>	Entendendo os conceitos: Difração, interferência e polarização da luz
<b>Aula 9</b>	Entendendo os conceitos: Efeito fotoelétrico

Fonte: a autora

## ROTEIRO PEGAGÓGICO – AULA 1: PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

A óptica é uma das áreas da Física, ela explica muitos fenômenos naturais. Um deles é a luz. Tais fenômenos são utilizadas como princípio de funcionamento em equipamentos da medicina e da indústria, sendo de enorme importância para a sociedade.

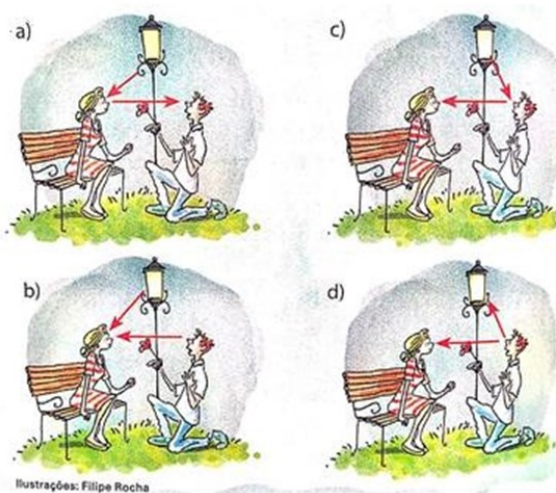
A luz está sempre presente em nossa vida, mesmo quando não percebemos, ela pode ser modelada e explicada com diferentes modelos teóricos e matemáticos que foram propostos por grandes cientistas durante a história.

Esse roteiro pedagógico, foi elaborado para discutir tais modelos, entender a natureza da luz, compreender os fenômenos ópticos e relacioná-los a um modelo da luz.

Para iniciar nossa caminhada vamos debater alguns aspectos relacionados a luz, para isso, disponibilizar o questionário abaixo, deixando uns 15 a 20 min para cada estudante respondê-lo. Após ler as respostas em voz alta, provocando um debate entre todos.

Tabela 2: Problematização inicial.

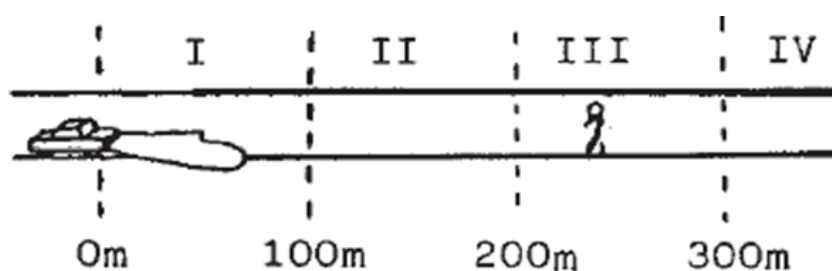
1. (Adaptada do livro Física em contextos 2). Mariana e Issac estão em uma praça iluminada por uma única lâmpada. Assinale a alternativa em que melhor representa o modo que permite Issac enxergar Mariana. Justifique sua escolha.



2. (Adaptada do livro Física em contextos 2). Na figura abaixo, observamos um homem com uma lanterna acesa, a luz emitida pela lanterna tem um formato de cachoeira. Você concorda que esse fenômeno seja possível? Porque?

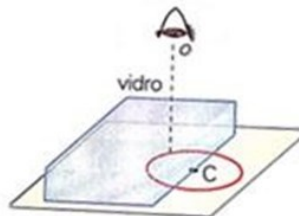


3. (Retirada de: Um teste para detectar concepções alternativas sobre tópicos introdutórios de óptica geométrica - João Batista Siqueira Harres – 1993). Em uma noite escura e sem nevoeiro um carro está parado em uma estrada reta e plana. O carro está com seus faróis ligados. Um pedestre, também parado na estrada, é capaz de ver os faróis. A figura abaixo ilustra esta situação e está subdividida em quatro seções. Até onde a luz dos faróis do carro alcança?

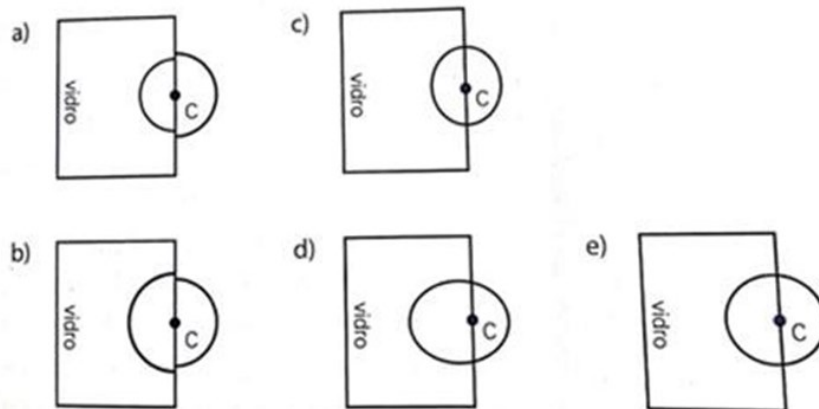


- No máximo até a seção I.
- No máximo até a seção II.
- No máximo até a seção III.
- Até a seção IV e ainda vai mais além.

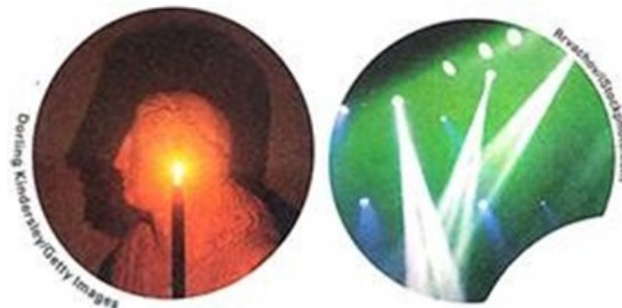
4. (Adaptada do livro Física em contextos 2). Em uma folha de papel, colocada sobre uma superfície horizontal, foi desenhado um círculo de centro C. Sobre a folha é colocado uma placa grossa de vidro, cobrindo metade do círculo. Com seus olhos na direção do eixo vertical OC, como representado na figura abaixo:



Assinale a figura que melhor representa o que você vê:



5. (Imagem retirada do livro Física em contextos 3, questão elaborada pela autora). Abaixo estão representadas duas situações que ocorrem com a Luz:



Você consegue explicar por que na primeira imagem a Luz não atravessa a estátua? E por que na segunda imagem a Luz emitida por uma lanterna, não interfere na direção da Luz emitida por outra lanterna?

Com vistas ao conhecimento prévio, iniciar com essas questões tem o objetivo de introduzir os conceitos, instigar a curiosidade dos estudantes sobre o assunto que será trabalhado e fazer com que eles se familiarizem com os fenômenos.

A próxima etapa de aplicação do roteiro pedagógico refere-se a leituras, discussões e atividades referentes a textos históricos construídos na pesquisa de Boniek Venceslau da Cruz Silva – A natureza da luz e o ensino da óptica: uma experiência didática envolvendo o uso da história e da filosofia da ciência no ensino médio e um texto elaborado pela autora.

Tabela 3: Textos históricos.

TEXTO	CONTEÚDOS FÍSICOS ABORDADOS
Texto 1	Explicação do por que se enxerga um objeto/ Introdução à discussão relacionada à natureza da luz. (Autor: Boniek Venceslau da Cruz Silva).
Texto 2	Velocidade da luz/ Reflexão / Refração/ Discussão sobre a natureza da luz. (Autor: Boniek Venceslau da Cruz Silva).
Texto 3	Velocidade da Luz/ Difração/ Interferência/Discussão sobre a natureza da luz.( Autor: Boniek Venceslau da Cruz Silva).
Texto 4	Efeito fotoelétrico/Discussão sobre a natureza da luz. (Elaborado pela autora).

Fonte: a autora

Ao final dessa aula solicitar a leitura do **TEXTO I: Antecedentes: a natureza da luz antes do Século XVII (disponível no ambiente virtual)**, fazendo anotações no próprio ambiente virtual.

### ROTEIRO PEGAGÓGICO – AULA 2: PRIMEIRAS IMPRESSÕES

Discutir o texto, o que cada estudante anotou (Sugestão: o professor deve sempre destacar as questões mais importante).



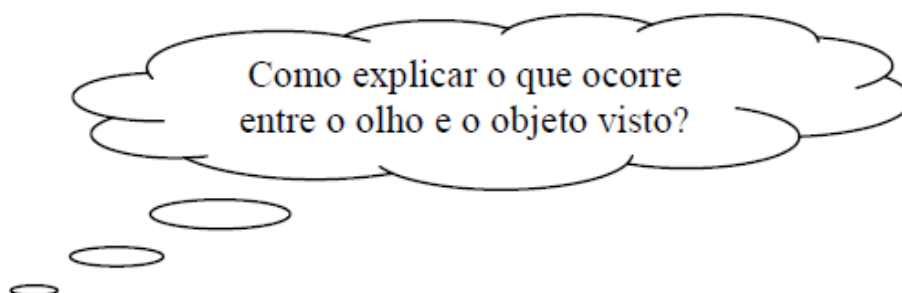
**TEXTO I: Antecedentes: a natureza da luz antes do Século XVII**

Autor: Boniek Venceslau da Cruz Silva.

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.

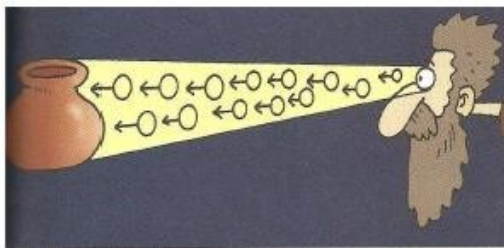
Com os gregos, surgem perguntas intrigantes, que fariam alavancar o estudo da Óptica. Os gregos demonstravam uma preocupação em explicar o que ocorre no espaço entre os nossos olhos e o objeto visto.



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.

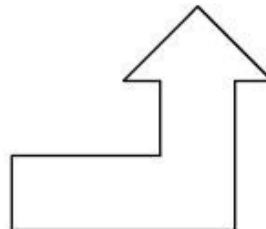
Figura 1: Modelo idealizado por Pitágoras.



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.

Figura 2: Aristóteles (384 – 322 a.C.)

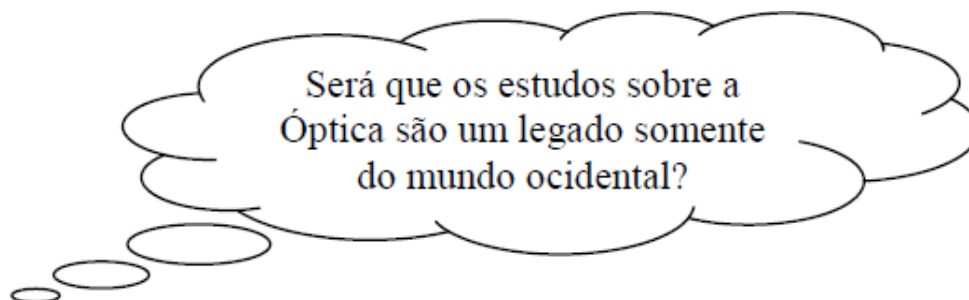
TODOS OS MODELOS DE VISÃO APRESENTADOS  
CONSIDERAVAM A LUZ COMO PARTÍCULAS.  
OPS!! ALGUÉM PENSAVA DIFERENTE?!



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.



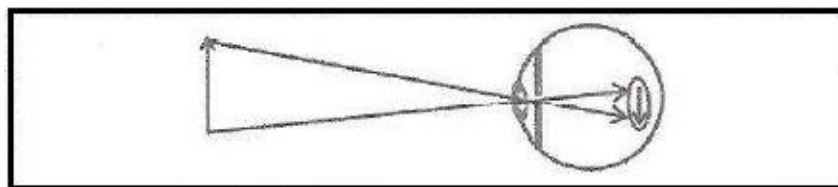
Já Euclides (século II a.C) e Ptolomeu (século II d.C), com base no já formulado conceito de raio de luz formulado pelos gregos, vão além do caráter metafísico, dando descrições de propriedades ópticas, como reflexão e refração, e, também, formulando as leis da reflexão e refração, mesmo de forma incipiente.

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:

Figura 3: 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.

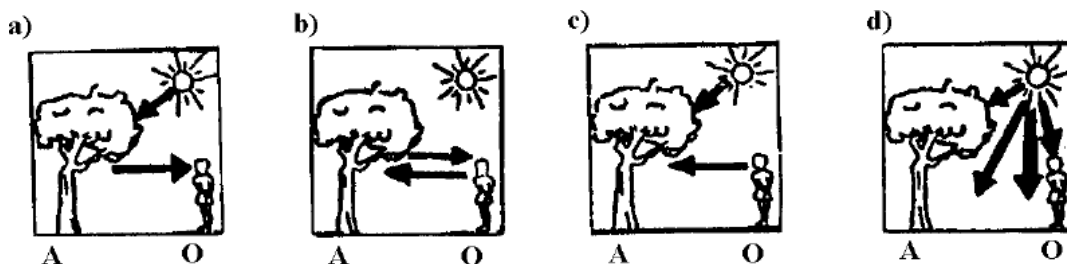
Aristóteles voltaria à cena com Santo Tomás de Aquino (1225-1274), que retoma as ideias do filósofo grego e as funde com as da Igreja. Para falar sobre a imaterialidade da luz, Santo Tomás de Aquino vale-se de um bom argumento: dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar ao mesmo tempo, porém a luz pode. 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?

Após a discussão do texto I, entregar o texto II impresso, fazer a leitura no coletivo, discutir e fazer as anotações necessárias.

### ROTEIRO PEGAGÓGICO – AULA 3: NOVAS DESCOBERTAS

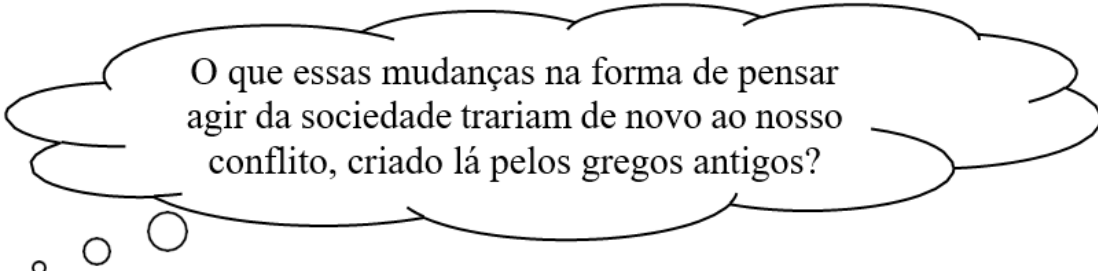
#### **TEXTO II: Mudanças de cenário: revoluções e mais controvérsias**

Autor: Boniek Venceslau da Cruz Silva.

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.



O que essas mudanças na forma de pensar agir da sociedade trariam de novo ao nosso conflito, criado lá pelos gregos antigos?

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 associado 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).

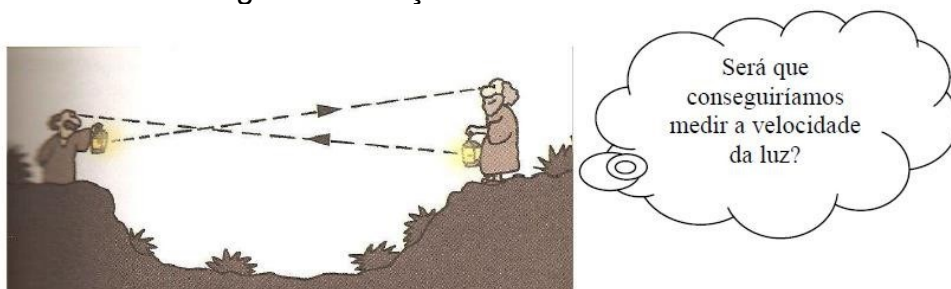
Figura 4: Newton estudando fenômenos luminosos.



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.

Figura 5: Medição da velocidade da luz

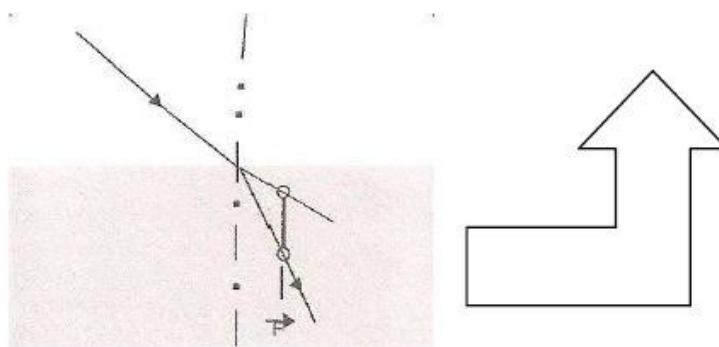


Um dos primeiros a tentar medir a velocidade da luz foi Galileu. Antes do século XVII, acreditava-se que a velocidade da luz era infinita (como também defendia René Descartes). Galileu investigou a velocidade da luz, mas ele não conseguiu resolver o problema do nosso conflito em questão, pois não foi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

Outros estudiosos também tentaram realizar experimentos para medir a

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:

Figura 6: refração



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.



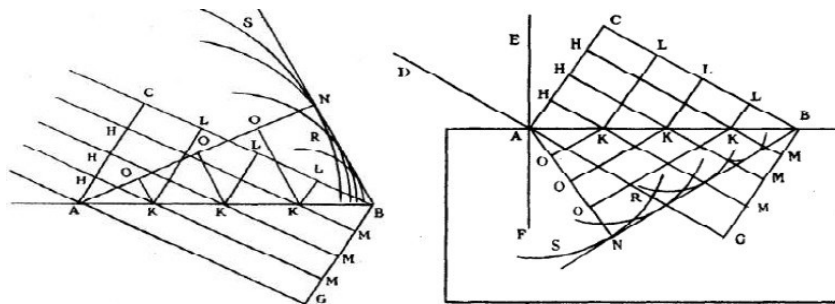
[...] os raios luminosos atravessam quando vemos um objeto luminoso. Isso não poderia ocorrer pelo transporte de uma matéria que venha do objeto até nós, como uma flecha ou bala que atravessa o ar.

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 a 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”.

### 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?”

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 às suas explicações teóricas? Ou outros fatores foram importantes para a aceitação do modelo corpuscular? Explique.

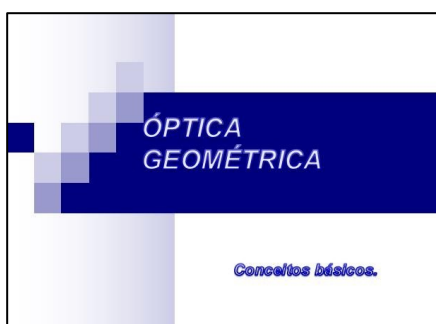
4. Após a publicação do seu livro *Óptica*, em 1704, os seguidores de Newton passam a ver suas conclusões como verdades absolutas, que deveriam seguir para desenvolver as suas pesquisas. Você vê a postura dos seguidores de Newton como positiva ou negativa? Explique.

NOTA: Ao final da aula, solicitar que sejam respondidas as questões do texto I e II no ambiente virtual.

## ROTEIRO PEGAGÓGICO – AULA 4: ENTENDENDO OS CONCEITOS: CONCEITOS BÁSICOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

Nesta aula serão disponibilizado apresentações em slides com o conteúdo a ser estudado, videos para auxiiar na aprendizagem e uma lista de atividades.

### SLIDES:



### VÍDEOS:

*Cores.* Disponível em <<https://youtu.be/GDN8Uyw1uRI>>, acesso em 07/12/2021.

*Cosmos – Eclipses e Auroras.* Disponível em <<https://youtu.be/IFuIM1T7jvk>>, acesso em 07/12/2021.

### EXERCÍCIOS:

1. A distância média entre a Terra e o Sol é de 150.000.000km. Quanto tempo a luz demora para chegar à Terra?

2. Quando as missões espaciais chegaram à Lua foram deixados espelhos em sua superfície para que pudessem ser feitos experimentos com eles. Suponhamos que, usando um destes espelhos, você deseje descobrir a distância entre a Terra e a Lua. É usado, então, um feixe de laser que é captado após 2,54 segundos. Desconsiderando os movimentos da Terra e da Lua, qual a distância entre o nosso planeta e o seu satélite natural?

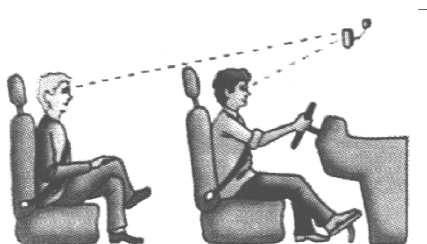
3. Andrômeda é uma galáxia distante  $2,3 \times 10^6$  anos-luz da Via Láctea, a nossa galáxia. Qual é a distância, em Km, que a luz proveniente de Andrômeda, viajando à velocidade de  $3,0 \cdot 10^5$  km/s, percorre aproximadamente até a Terra?

4. (Enem 2001) SEU OLHAR (Gilberto Gil, 1984)

Na eternidade  
 Eu quisera ter  
 Tantos anos-luz  
 Quantos fosse precisar  
 Pra cruzar o túnel  
 Do tempo do seu olhar

Gilberto Gil usa na letra da música a palavra composta ANOS-LUZ. O sentido prático, em geral, não é obrigatoriamente o mesmo que na ciência. Na Física, qual a definição de ano luz?

5. Em uma aula de física foi comentada a situação esquematizada abaixo, onde motorista e passageiro conversam olhando no espelho retrovisor interno do carro. Esse exemplo, serve para demonstrar qual princípio de propagação da luz?



6. Coloque (V) para verdadeiro e (F) para falso:

- ( ) o valor da velocidade a luz é finita.
- ( ) a velocidade da luz é igual a velocidade do som;
- ( ) a luz se propaga em linha reta;
- ( ) a velocidade da luz solar é maior que a da luz de uma vela;
- ( ) a luz não se propaga no vácuo;
- ( ) a velocidade da luz no vácuo é uma constante física importante, cujo valor é de aproximadamente 300 milhões de metros por segundo.

7. Uma parede de madeira é um meio \_\_\_\_\_ de propagação da luz, pois \_\_\_\_\_

8. Os corpos que permitem a passagem parcial da luz se chamam \_\_\_\_\_. Cite alguns exemplos:\_\_\_\_\_.

9. Indique a diferença entre as fontes de luz fluorescentes e fosforescentes.

10. De exemplos de fontes de luz primária:

11. Explique um eclipse parcial do Sol.

12. Os eclipses do Sol e da Lua comprovam o princípio da \_\_\_\_\_

13. Em 3 de novembro de 1994, no período da manhã, foi observado, numa faixa ao sul do Brasil, o último eclipse solar total do milênio. Supondo retilínea a trajetória da luz, um eclipse pode ser explicado pela participação de três corpos alinhados: um anteparo, uma fonte e um obstáculo.

a) Quais são os três corpos do Sistema Solar envolvidos nesse eclipse?

b) Desses três corpos, qual deles faz o papel de anteparo?

c) Desses três corpos, qual deles faz o papel de fonte?

d) Desses três corpos, qual deles faz o papel de obstáculo?

14. Os versos a seguir lembram uma época em que a cidade de São Paulo tinha iluminação a gás:

"Lampião de gás! Lampião de gás!

Quanta saudade você me traz.

Da sua luzinha verde azulada

Que iluminava a minha janela

Da almofadinha, lá na calçada

Palheta branca, calça apertada" (Zica Bergami)

Quando uma "luzinha cor verde azulada" incide sobre um cartão vermelho, a cor da luz absorvida é \_\_\_\_\_

15. Durante a final da Copa do Mundo, um cinegrafista, desejando alguns efeitos especiais, gravou cena em um estúdio completamente escuro, onde existia uma bandeira da "Azurra" (azul e branca) que foi iluminada por um feixe de luz amarela monocromática. Quando a cena foi exibida ao público, a bandeira apareceu \_\_\_\_\_

### ROTEIRO PEGAGÓGICO – AULA 5: ENTENDENDO OS CONCEITOS: REFLEXÃO E REFRAÇÃO.

Continuando, nessa aula o conteúdo também será apresentado em slides, vídeos e após os estudantes irão realizar a simulação com auxílio do roteiro.

SLIDES:



VÍDEO:

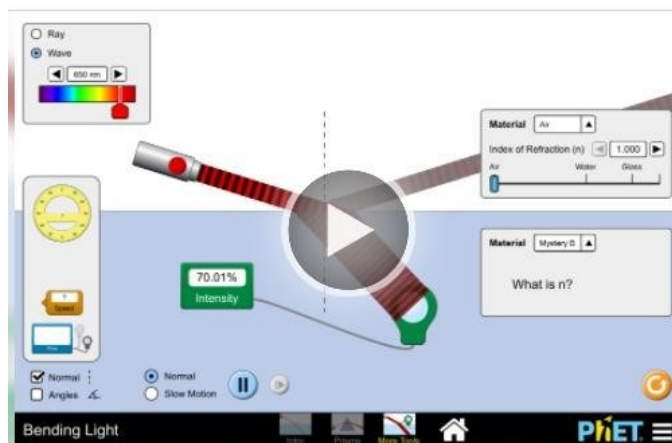
*Espelhos Planos, Côncavos e Convexos (Como as Imagens se Formam?)*. Disponível em < <https://youtu.be/KPykPLP7osA>>, acesso em 07/12/2021.

SIMULAÇÃO:

Desvio da Luz. Disponível em <[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/bending-light](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/bending-light)>, acesso em 07/12/2021.

## ROTEIRO: SIMULAÇÃO “DESVIO DA LUZ”.

Abra o simulador “Desvio da Luz”, utilizando o link [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/bending-light](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/bending-light).



Simulação “desvio da luz”.

Clique em iniciar. Abrirá a tela abaixo, clique em intro.

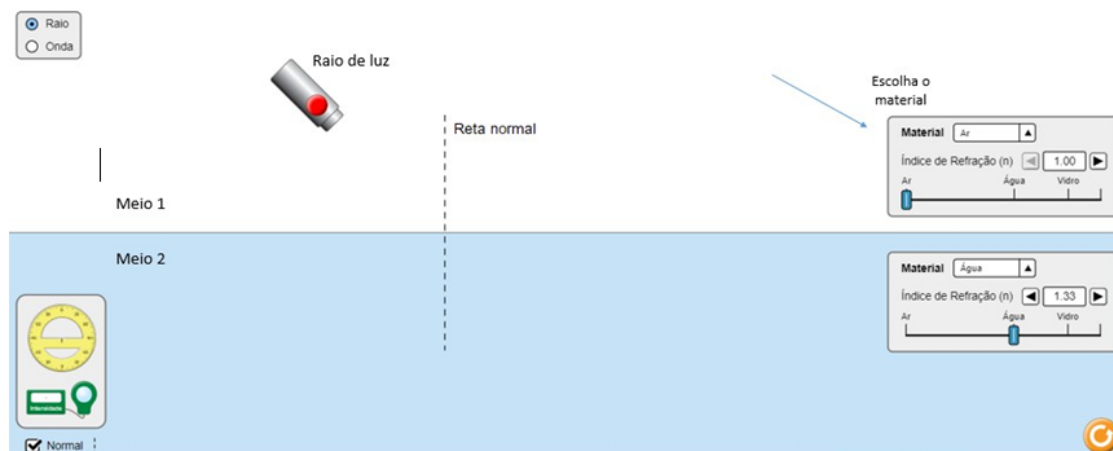


Na próxima tela está representado um raio laser, que neste caso é nossa fonte luminosa. O laser simula um “raio luminoso”, uma vez que seu feixe se propaga em linha reta e não diverge muito.

Nós podemos escolher até dois meios diferentes. Note que você pode mudar os meios de propagação, com seus respectivos índices de refração. O raio luminoso vai sempre atravessar uma interface plana (representada pela linha horizontal).

Vamos ver o que acontece se os meios nos dois lados da interface for

o mesmo material. Escolha na caixa à direita da tela do simulador o material “Ar” tanto na parte superior quanto na inferior e ligue o laser no botão vermelho. OBS: verifique se na caixa superior esquerda a opção “Raio” está marcada.



Responda: Nesta situação, como o raio de luz se comporta? Ele sofre algum desvio? Por que isso ocorre?

Agora escolha na parte de baixo (meio 2) o material água, observe o que acontece. Responda: Mudou alguma coisa? A luz que passa do ar para a água continua a mesma trajetória, ou desvia? Aparece mais algum raio de luz? Se sim, qual o seu significado?

Defina reflexão:

Agora mude o material do meio 1 para água e do meio 2 para ar, observe.

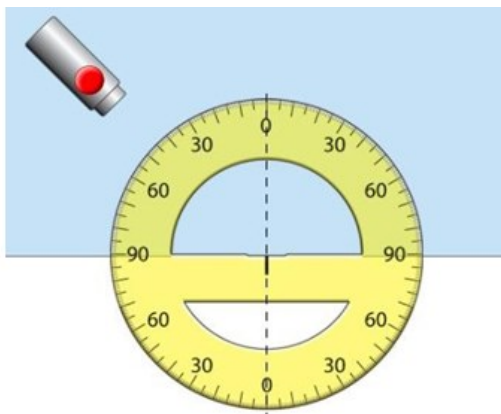
Responda: O que acontece com o raio de luz que passa da água para o ar? Ele se aproximou ou se afastou da reta normal?

Qual o fenômeno que representa esse desvio do raio de luz no meio 2? Quando ele ocorre?

Você sabe qual é o ângulo que o feixe refletido faz com a normal? Vamos medir o ângulo de incidência e de reflexão? Inverta novamente os materiais, para o meio 1, ar, e para o meio 2, água. Arraste o transferidor até o ponto de incidência do raio incidente fazendo coincidir com sua origem (tracinho do meio).

Verifique que o ângulo de  $90^\circ$  está alinhado com a interface.





Em seguida mova o laser com o mouse fazendo com que o raio incidente passe pelo ângulo de  $30^\circ$  com a normal. Note que a normal passa pelo ZERO do transferidor. Ou seja, o ângulo incidente ( $i$ ), ângulo formado entre o raio incidente e a reta normal, neste caso é  $30^\circ$ . Responda:

Qual o valor do ângulo de reflexão ( $r$ ), ou seja, o ângulo formado entre o raio refletido e a reta normal?

Represente no desenho acima, o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão.

Mude agora o ângulo incidente para  $60^\circ$

E agora, qual o valor do ângulo de reflexão?

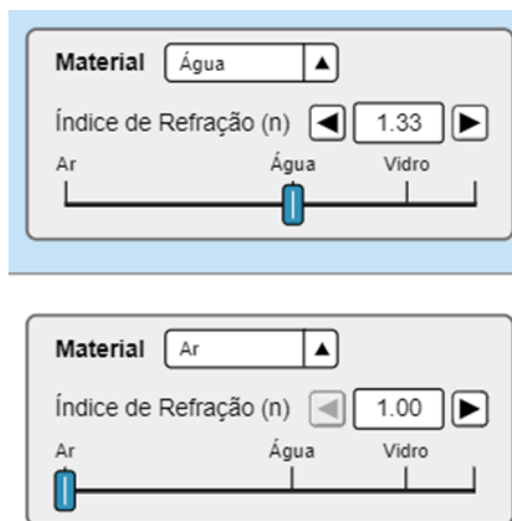
Experimente outros valores para o ângulo de incidência.

Responda: Qual foi o ângulo de reflexão medido para cada ângulo de incidência fixado? Foram diferentes? Foram iguais? Tem alguma lei que explica este resultado?

Vamos analisar agora o que acontece com feixe que passa para a água.

Na caixa da direita da tela do simulador na parte inferior, que contém “água”, clique no botão azul que está abaixo da indicação de “Água” e arraste o para esquerda até tocar no marcador “Ar”. Note o que você simulou foi a troca gradual do meio 2 de propagação. Observe no transferidor o ângulo que o feixe

incidente e o feixe refratado fazem com a normal. Note que com Ar em cima e em baixo este ângulo é igual.



Agora, lentamente, volte com o botão do meio 2 para a indicação "Água". Repare o que acontece com o raio refratado.

Responda:

Observe na direita do simulador, nas caixas de material, aparece a inscrição índice de refração (n), conforme você escolhe o material, seu valor se modifica. O que significa índice de refração? Como ele é calculado?

O que aconteceu gradativamente com o raio que passa para água, no momento em que você arrastou da água para o ar e vice-versa? Ele se aproximou ou se afastou da reta normal?

Por que isso acontece?

O que acontece com a velocidade da luz quando ela passa do ar para a água?

O que acontece com o comprimento de onda da luz quando vai do ar para a água?

Calcule, usando a simulação, a velocidade da luz em diferentes meios, usando a relação  $n=cv$ , o índice de refração indicado na simulação e sabendo que  $c= 300000 \text{ km/s}$ . Realize os cálculos para os meios materiais: ar e água e ar e vidro.

Vejamos agora o que acontece quando invertemos a situação, selecionando para a parte de cima um material mais refringente e para parte de baixo um material menos refringente.

Escolha na caixa da direita da tela do simulador o material “vidro” para o meio superior e para o meio na inferior a água.

Responda: O ângulo do raio refratado com a normal aumentou ou diminuiu? Ou seja, o raio se afastou ou se aproximou do normal? Por quê observamos este comportamento?

Troque os materiais em ambos os meios, fazendo combinações como: ar e água, ar e vidro, vidro e água,...

Como são chamadas as combinações como:: ar e água, ar e vidro, vidro e água,...?

Vamos medir agora o ângulo de incidência e de refração? Escolha ar na parte superior e água na parte inferior e em seguida mova o laser com o mouse fazendo com que o raio incidente passe pelo ângulo de  $20^\circ$  com a reta normal.

Responda: Qual o ângulo de refração(R), ou seja, o ângulo formado entre o raio refratado e a reta normal?

Mude agora o ângulo incidente para  $40^\circ$ . Qual é o novo ângulo de refração?

Responda: Em que meio temos o maior ângulo? E o menor ângulo?

Agora escolha água na parte superior e ar na parte inferior. Mova o raio incidente fazendo com que ele passe pelo ângulo de  $20^\circ$  com a reta normal.

Responda: Qual o ângulo de refração(R) neste caso?

Mude agora o ângulo incidente para  $40^\circ$ . Qual é o novo ângulo de refração? Em que meio temos o maior ângulo? E o menor ângulo?

Pesquise se existe alguma maneira de calcularmos o ângulo de refração, ou seja, o desvio sofrido pelo raio de luz.

Coloque agora no meio 1 material “Água” (mais refringente) e no meio 2 material “Ar” (menos refringente). Você já deve ter observado que a medida que aumentamos o ângulo de incidência, aumenta a quantidade de luz refletida e diminui a quantidade de luz refratada.

Isso pode ser observado pelo tom mais claro do raio de luz à medida que o mesmo incide próximo a reta normal e é girado até a marca próxima dos  $45^\circ$ .

Comprove este fenômeno colocando-se o raio de luz passando pelo ângulo incidente de  $10^\circ$  e você verá o raio de luz refletido menos intenso (vermelho mais claro), aproximando-se o raio incidente de aproximadamente  $45^\circ$  você verá no raio refletido um aumento do tom de vermelho gradativamente. Se isso acontece é porque a parcela de luz dos raios refratados diminui com essa ação.

Responda: Será que existe um raio incidente inclinado formando um certo ângulo com a reta normal, de tal maneira, que o raio refratado tenda a encontrar-se sobre a interface que separa os dois meios? Qual seria o valor que esse ângulo refratado tende a atingir? Se um raio incidente possuir um ângulo superior a este, o que acontecerá com o raio refratado? A partir desse ângulo, que fenômeno predominante você vê na interface dos meios?

**ROTEIRO PEGAGÓGICO – AULA 6: O TRABALHO CONTINUA**

Após disponibilizar o texto III, fazer leitura individual, cada um anotar suas conclusões e dúvidas para posterior discussões.

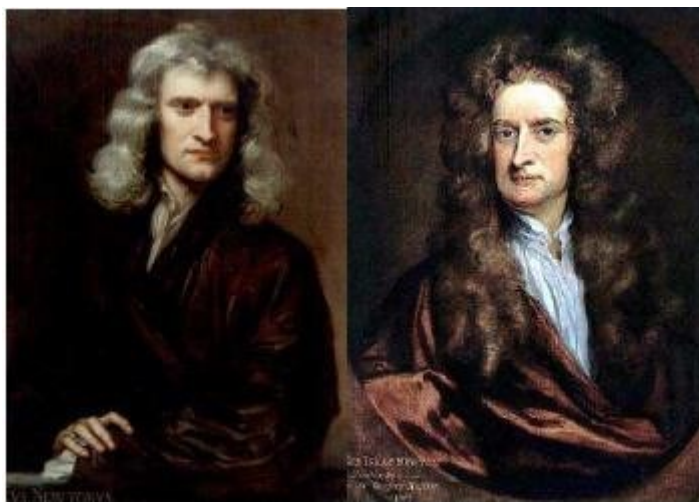
**TEXTO III – Difração e Interferência: o ressurgimento da teoria ondulatória**

Autor: Boniek Venceslau da Cruz Silva.

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.

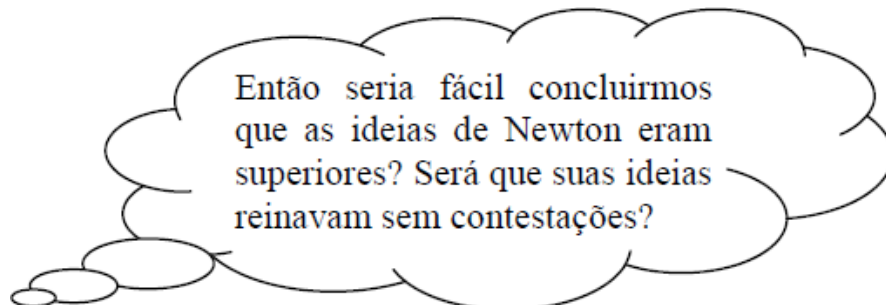
Naquela época, era comum encontrarmos pinturas e gravuras de Newton em castelos e repartições públicas, além da sua própria imagem gravada em moedas e em estátuas.

As figuras abaixo representam algumas dessas imagens desenhadas de Newton:



Retratos de Newton pintados em 1689 e 1702 por Kneller.

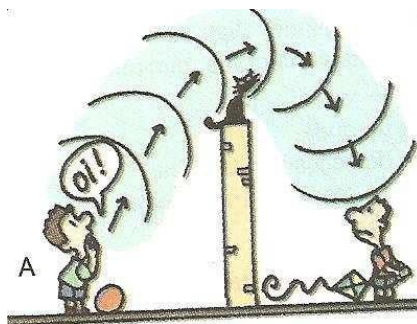
No meio da população mais educada da Inglaterra, as ideias newtonianas, que já eram bem aceitas, foram difundidas em enciclopédias e em textos da época, fundamentando e disseminando ainda mais as suas concepções.



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.

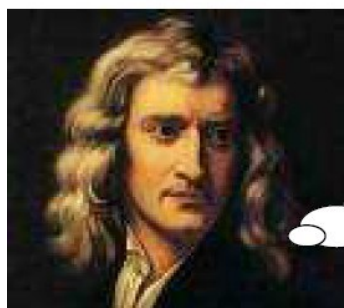
A difração, nos dias de hoje, é entendida como desvio dado pela luz em relação a um obstáculo. Ela foi descrita pelo estudioso jesuíta italiano Francesco Maria Grimaldi (1618- 1663), que, na sua obra *Physico-Mathesis de Lumine, Coloribus et Iride*, publicada em 1665, descreve que a luz poderia possuir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

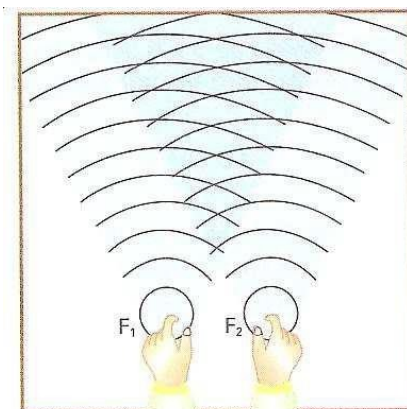
No seu artigo de 1675, Newton daria créditos a Hooke e Grimaldi, como sendo os primeiros a realizar observações sobre esse novo fenômeno. Nesse mesmo artigo, ele rebate as críticas feitas por Hooke ao seu primeiro artigo sobre as cores. Dizia Newton, com intenção de se afastar da ideia de possuidor de 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.



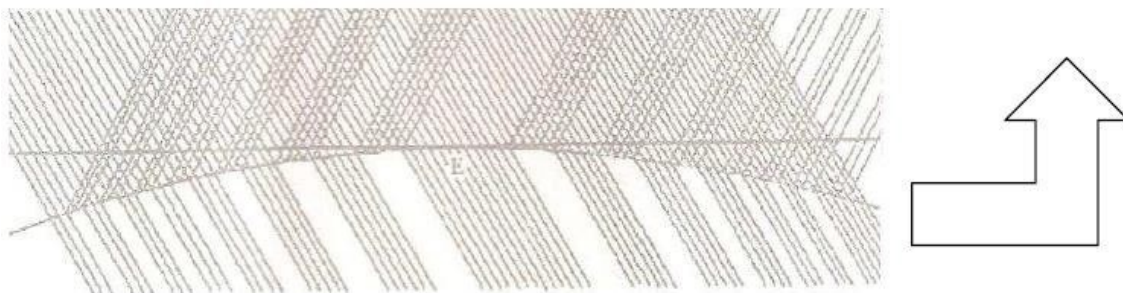


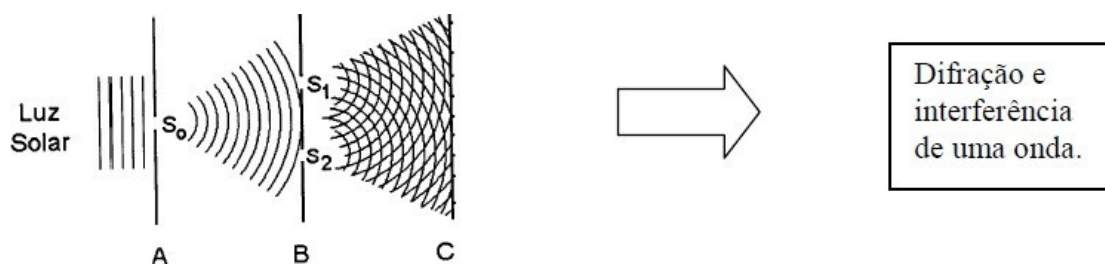
Figura elaborada por Newton para explicar o fenômeno dos anéis de Newton (interferência).

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 surgiram 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, lingüista 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.

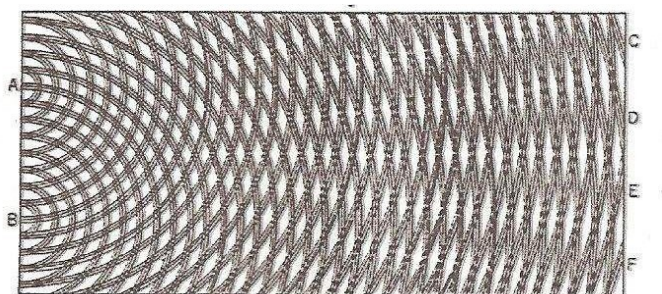


Figura utilizada por Young para explicar a interferência em ondas de água.

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. A experiência realizada por Young teve grande repercussão entre os cientistas e teve por consequência a aceitação da teoria ondulatória.

O físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) ampliou os conhecimentos sobre o assunto, chegando à teoria eletromagnética, colaborando com o caráter ondulatório da luz. Maxwell mostrou que quando a luz se propaga através de um meio, ela o faz com uma velocidade determinada. Essa velocidade é extremamente alta quando comparada com velocidades registradas em fenômenos cotidianos. No vácuo, a velocidade de propagação da luz, qualquer que seja a frequência ou cor, é de aproximadamente  $3,0 \times 10^5$  km/s ou  $3,0 \times 10^8$  m/s. É no vácuo que a luz atinge sua maior velocidade.

## 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.

Ao final dessa aula solicitar que respondam as questões do texto III no ambiente virtual.

## ROTEIRO PEGAGÓGICO – AULA 6: CONCLUSÕES

Discussão do texto.

Sugestão: Forme grupos entre os estudantes de 4 a 5 integrantes, peça que façam a leitura e discussão entre os integrantes do grupo e também façam uma lista com as principais ideias para posterior discussão com a turma, após esse momento entregar as questões para serem respondidas.

### TEXTO IV – Efeito Fotoelétrico

As primeiras evidências sobre a descoberta do efeito fotoelétrico foram obtidas, em 1887, pelo físico alemão Henrich Rudolf Hertz (1857-1894) quando ele verificou que radiações eletromagnéticas de um tipo específico, ao incidirem sobre uma superfície metálica, faziam que os elétrons que pertenciam a ela escapassem, logo após absorverem certa quantidade de energia. Ele publicou um trabalho sobre suas experiências com osciladores que produziam ondas eletromagnéticas. O oscilador de Hertz constituía-se de duas esferas metálicas, cada uma possuía uma haste que em sua extremidade tinha uma outra esfera metálica, porém pequena, estando ambas ligadas por uma bobina de Rühmkorff (1851) ao alimentar essa bobina com um circuito elétrico oscilante, Hertz observou que havia faíscas entre as esferas. Hertz construiu um ressoador com um grosso fio de cobre circular e interrompido por um pequeno arco, tendo em uma de suas extremidades uma pequena esfera e na outra um parafuso que podia avançar ou recuar para controlar a abertura do circuito. Quando o ressoador captava uma onda eletromagnética, faíscas elétricas saltavam entre a esfera e a ponta do parafuso. Movendo esse dispositivo, Hertz pode calcular o comprimento de onda da radiação eletromagnética, por ocasião dessas experiências Hertz observou que quando a esfera eletrizada negativamente era iluminada com luz ultravioleta, as centelhas surgiam mais facilmente. Mas tarde esse fenômeno foi identificado como o efeito fotoelétrico. Logo depois, em 1888, o engenheiro e físico italiano Augusto Righi (1850-1920) percebeu que, quando

dois eletrodos eram expostos a uma radiação ultravioleta, eles atuavam como um par voltaico. A esse fenômeno Righi deu o nome de efeito fotoelétrico. Ainda em 1888, o físico alemão Wilhelm Hallwachs (1859-1922) realizou experiências nas quais observou que uma placa de zinco descarregada e isolada, passava a carregar-se positivamente quando recebia radiação ultravioleta proveniente de uma lâmpada de quartzo. Em 1889 Hallwachs anunciou que outros metais [rubídio (Rb), potássio (K), sódio (Na), lítio (Li), magnésio (Mg) e tório (Th)] se comportavam como o zinco, quando iluminados com luz ultravioleta.

Antes ainda, o físico russo Aleksandr Grigoryevich Stoletov (1839-1896) realizou, em 1872, uma primeira observação experimental sobre o efeito fotoelétrico. O experimento de Stoletov era consistido de dois discos metálicos de 22 cm de diâmetro, um maciço e o outro em forma de rede, que foram colocados verticalmente frente a um arco voltaico, unidos por intermédio de uma bateria elétrica e de um galvanômetro. Durante a iluminação, com luz ultravioleta, do disco metálico maciço, unido ao pólo negativo da bateria, foi registrado uma corrente elétrica através do galvanômetro.

Em 1888, Stoletov desenvolveu um método experimental para estudar o efeito fotoelétrico. Nele ele observou que, iluminando a placa negativa de um condensador com luz ultravioleta, percebia-se uma corrente elétrica contínua em um circuito contendo esse condensador, cuja intensidade era proporcional à intensidade da luz incidente e à área iluminada. Além do mais, investigando a relação entre essa foto-corrente e a diferença de potencial externa ao circuito considerado, Stoletov descobriu a existência de uma corrente de saturação. Essas são, portanto, as primeiras leis do efeito fotoelétrico.

Ao físico húngaro-alemão Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947), assistente de Hertz, se atribui a descoberta das leis do efeito fotoelétrico. Em 1899 ele realizou experiências que o levaram a essa descoberta. Nessas experiências, observou que elétrons eram emitidos de superfícies metálicas quando nelas incidiam radiação eletromagnética. No entanto, somente em 1902, Lenard apresentou as hoje conhecidas leis do efeito fotoelétrico:

- I. Os elétrons emitidos têm velocidades iniciais finitas, são independentes da intensidade da luz incidente, porém, dependem de sua frequência;
- II. O número total de elétrons emitidos é proporcional à

intensidade da luz incidente.

Essas leis, contudo, não eram explicadas pelo eletromagnetismo que o físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) desenvolvera. Por exemplo, segundo esse eletromagnetismo, quanto mais intensa a radiação eletromagnética incidente em um material fotoelétrico, maior seria a velocidade do elétron arrancado. Além do mais, como essa radiação era distribuída em uma onda, de acordo com o eletromagnetismo Maxwelliano, era necessário um tempo razoável para que tal radiação arrancasse elétrons do material emissor.

Esse fenômeno foi explicado pelo físico Albert Einstein (1879-1955), em 1905 com sua interpretação quântica da luz. A ideia de Einstein era bastante simples, pois admitiu que a energia da radiação eletromagnética não era distribuída uniformemente sobre as frentes de ondas de frequência e sim, concentrada em pequenas regiões, isto é, eram verdadeiros “pacotes” de energia denominados por Einstein de Lichtquantum (“quantum de luz”). Portanto, no efeito fotoelétrico, o “quantum de luz” ao colidir com um elétron do átomo emissor, cede uma parte de sua energia ao elétron, que o utiliza para vencer a energia de ligação que o liga ao átomo, e a diferença, pelo Princípio da Conservação da Energia, é a energia cinética com que o elétron sai do material. O quantum de luz recebeu o nome de fóton, em 1926 pelo químico norte-americano Gilbert Newton Lewis (1875-1946), e que o Prêmio Nobel de física de 1921 recebido por Einstein foi devido a sua explicação do efeito fotoelétrico.

Albert Einstein comprovou assim, a dualidade onda partícula da luz, explicando satisfatoriamente esse efeito, através da teoria do efeito fotoelétrico, isso porque, para comprovar essa teoria, precisava-se considerar a teoria corpuscular da luz. A partícula luminosa – o fóton –, que como qualquer outra partícula, possui uma certa energia ( $E$ ), logo, a relação entre energia e frequência ( $f$ ) é proporcional e está relacionada pela constante de Plank ( $h$ ) e é expressa pela equação:

$$E = h.f$$

Expressando a frequência e a constante de proporcionalidade através de característica angular, temos que:



$$\omega = 2\pi f \rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi}$$

E sabendo que:

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \rightarrow h = 2\pi\hbar$$

Podemos assim determinar a energia do fóton:

$$E = h \cdot f \rightarrow E = 2\pi\hbar \cdot \frac{\omega}{2\pi} \rightarrow E = \hbar \cdot \omega$$

Pode-se dizer que um fóton é formado durante a transição de um elétron de um átomo entre dois estados de energias diferentes, o elétron ao passar de uma camada mais interna para uma mais externa recebe energia, e ao retornar para o estado inicial, emite essa energia, portanto o fóton correspondente a essa diferença energética. Os fótons são partículas elementares que viajam com a velocidade da luz, portanto, não tem massa e nem carga.

Conforme visto anteriormente, podemos dizer que a luz tem caráter dual, ou seja, ela se comporta como onda ou como partícula, de acordo com o fenômeno analisado. Portanto, os fótons em alguns fenômenos exibem mais claramente a natureza ondulatória, como no experimento de interferência de Young, e em outros se torna mais evidente a natureza de partículas, como no efeito fotoelétrico. Dessa forma, os dois modelos se complementam perfeitamente.

### QUESTÕES.

1. ( Adaptada - UFMG) A natureza da luz é uma questão que preocupa os físicos há muito tempo. No decorrer da história da Física, houve o predomínio ora da teoria corpuscular - a luz seria constituída por partículas -, ora da teoria ondulatória - a luz seguia uma onda -. Como você descreve a ideia aceita atualmente pela comunidade científica da natureza da luz? Quais os experimentos que servem de evidência para a concepção descrita no item

anterior? Explique- os resumidamente.

2. Para a Teoria Eletromagnética Clássica, a luz é tratada como uma onda eletromagnética e, baseando-se nos conceitos e fundamentos de tal teoria clássica, esperava-se que o Efeito Fotoelétrico exibisse algumas características, quais seriam essas características?

3. Quais são os princípios básicos resultantes descobertos por Einstein nas experiências feitas com o efeito fotoelétrico?

4. Por que existe um limiar de frequência da luz para a emissão de elétrons da placa?

5. O que se entende por função trabalho?

## ROTEIRO PEGAGÓGICO – AULA 7: ENTENDENDO OS CONCEITOS: DIFRAÇÃO, INTERFERÊNCIA E

POLARIZAÇÃO DA LUZ

Buscando a compreensão dos conceitos, o conteúdo será apresentado em slides, como complementação, será apresentados alguns vídeos. Ao final os estudantes farão os exercicios propostos.

### SLIDES



### VÍDEOS:

*A História da Velocidade da Luz*, disponível em [https://youtu.be/bkRxUMvn\\_uA](https://youtu.be/bkRxUMvn_uA), acesso em 07/12/2021.

*O que é a Luz: Onda ou Partícula?*, disponível em <https://youtu.be/oSUHXeiaQ98>, acesso em 07/12/2021.

*Interferência e Difração Explicadas*, disponível em <https://youtu.be/edidweXxbqU>, acesso em 07/12/2021.

*FiBra - Polarização da Luz*, disponível em <https://youtu.be/e3JhouzUG54>, acesso em 07/12/2021.

*Polarização da luz, linear e circular*, disponível em <https://youtu.be/uR7r8HxjHHQ>, acesso em 07/12/2021.

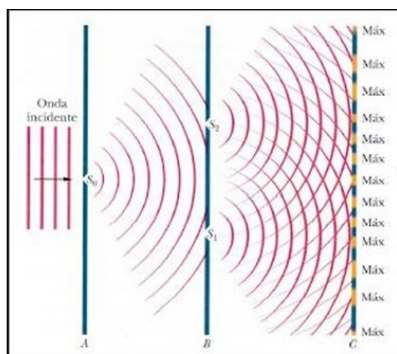
*Experimento de Young ou da Fenda dupla*, disponível em [https://youtu.be/RWtC0SZ\\_ViU](https://youtu.be/RWtC0SZ_ViU), acesso em 07/12/2021.

## EXERCÍCIOS

1. O que a teoria corpuscular previa para o fenômeno da difração? Por que esse fenômeno consistia em um desafio para essa teoria?

2. Que condição deve ser satisfeita para que ocorra a difração de onda ao passar por uma fenda?

3. Na figura de interferência a seguir,  $S_1$  e  $S_2$  são fendas de difração que provocam a interferência das ondas difratadas. Considere que cada traço de semicircunferência representa uma crista. O que representa o cruzamento de dois traços dessas semicircunferências? O que se pode dizer acerca da região interna compreendida entre quatro daqueles traços?

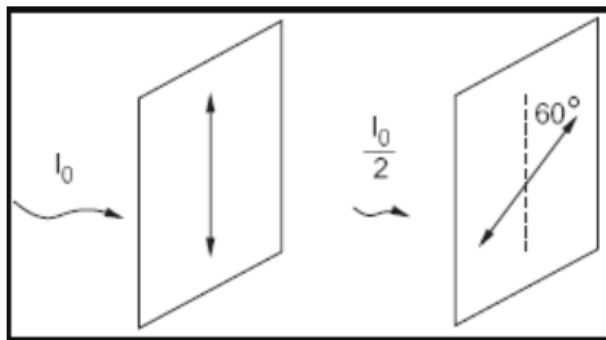


4. Na figura de interferência do exercício anterior, quando se traça uma semicircunferência pontilhada bem no meio de duas semicircunferências de linhas contínuas, preenchendo todo o espaço, pode-se observar os vales das ondas. O cruzamento de duas linhas contínuas, como já se percebe, é o próprio encontro de dois vales. O que representa o cruzamento de uma linha contínua com uma linha pontilhada?

5. Na imagem do exercício 3, quais são os fenômenos ópticos que

podem ser observados?

6. Uma luz não polarizada de intensidade  $I_0$ , ao passar por um primeiro polaroide, tem sua intensidade reduzida pela metade, como mostra a figura. A luz caminha em direção a um segundo polaroide, que tem seu eixo inclinado em determinado ângulo em relação ao primeiro. O que deve ocorrer com a intensidade de luz que emerge do segundo polaroide?

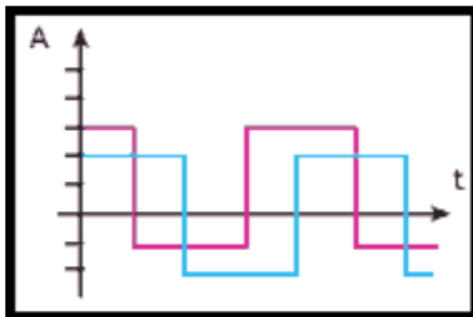


7. Por que o fenômeno de polarização não pode ser observado nas ondas mecânicas longitudinais?
8. (UFRGS - RS) Mediante uma engenhosa montagem experimental, Thomas Young (1773- 1829) fez a luz de uma única fonte passar por duas pequenas fendas paralelas, dando origem a um par de fontes luminosas coerentes idênticas, que produziram sobre um anteparo uma figura como a registrada na fotografia a seguir. A figura observada no anteparo é típica do fenômeno físico ondulatório denominado.

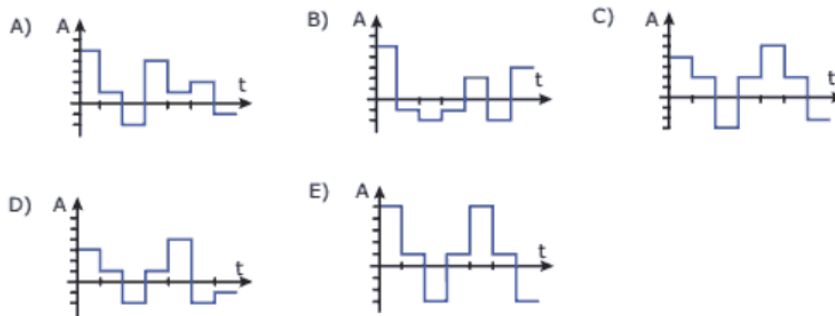


- A) REFLEXÃO
- B) DISPERSÃO
- C) DIFRAÇÃO
- D) INTERFERÊNCIA
- E) REFRAÇÃO

9. (UFC-CE) Duas ondas ocupam a mesma região no espaço e têm amplitudes que variam com o tempo, conforme o gráfico.



Assinale das alternativas adiante a que contém o gráfico resultante da soma dessas duas ondas.



## ROTEIRO PEGAGÓGICO – AULA 8: ENTENDENDO OS CONCEITOS: EFEITO FOTOELÉTRICO

Para finalizar os roteiros pedagógicos, novamente vamos trabalhar os conceitos com slides, vídeos e uma simulação.

SLIDES



## VÍDEOS:

A *Ideia do Quantum - Efeito Fotoelétrico*, disponível em <<https://youtu.be/CEuMmMxD-vI>>, acesso em 07/12/2021.

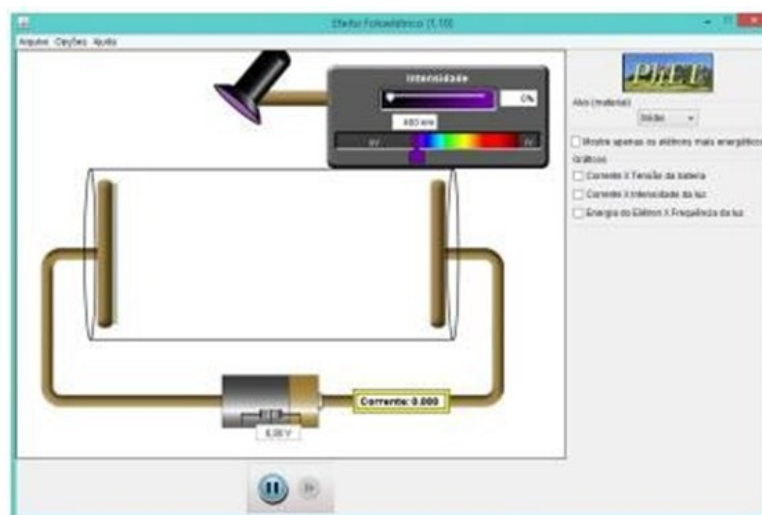
*Efeito Fotoelétrico - O Nobel de Einstein*, disponível em <<https://youtu.be/l9WG6lWpc20>> acesso em 07/12/2021.

## SIMULAÇÃO:

*Efeito fotoelétrico*, disponível em, <[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/photoelectric](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric), acesso em 07/12/2021.

## ROTEIRO: SIMULAÇÃO “EFEITO FOTOELÉTRICO”.

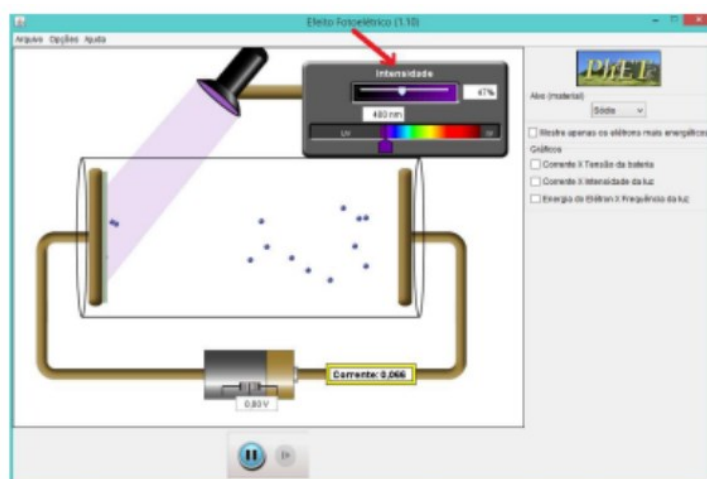
Abra o simulador “Efeito fotoelétrico”, link disponível na aula 8. A seguir está ilustrada a tela que encontramos ao abrir a simulação.



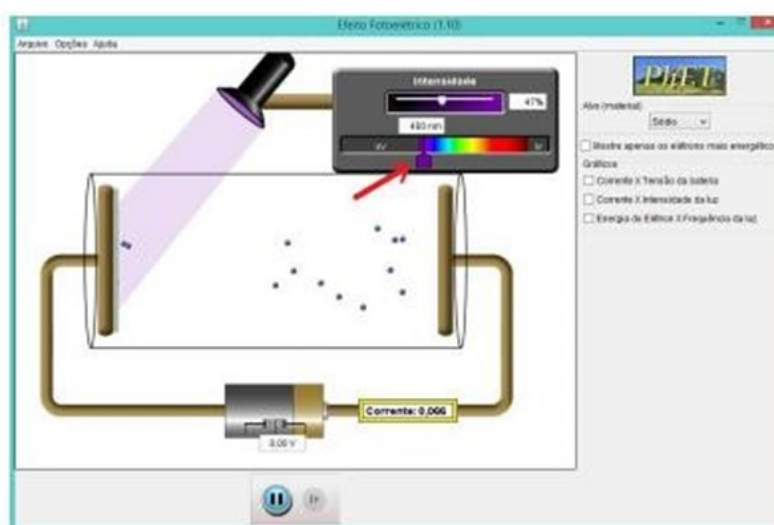
Nessa simulação é possível vermos elementos como: a intensidade da luz, o comprimento de onda, a voltagem entre as placas, a corrente elétrica que passa pelo fio, a fonte, a câmara de vácuo e o material da placa que irá sofrer o efeito fotoelétrico. Também é possível ilustrar o efeito simultaneamente com os seguintes gráficos: corrente x tensão da bateria, corrente x intensidade da luz e energia do elétron x frequência da luz.

- Intensidade da luz: O controle de intensidade da luz encontra-se

na parte superior da simulação, indicado na figura abaixo pela seta vermelha. Sua escolha pode ser feita de duas formas: a primeira delas seria deslizando o “botão” que se encontra abaixo da palavra intensidade e a outra seria clicando sobre o valor do percentual de intensidade que se encontra do lado direito e definir qual seu valor, digitando-o.

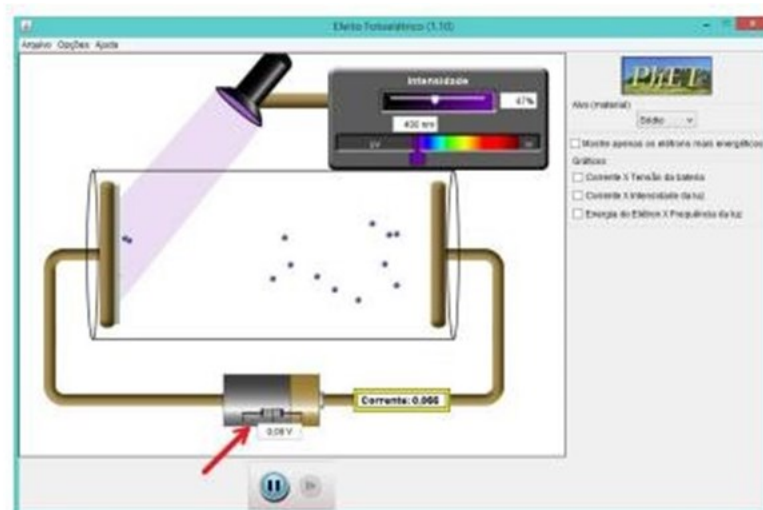


- Comprimento de onda: Para selecionar o comprimento de onda, que se encontra no menu abaixo do seletor de intensidade, na figura abaixo indicamos pela seta vermelha, desliza-se o “botão” ou digitando o valor numérico de comprimento de onda.

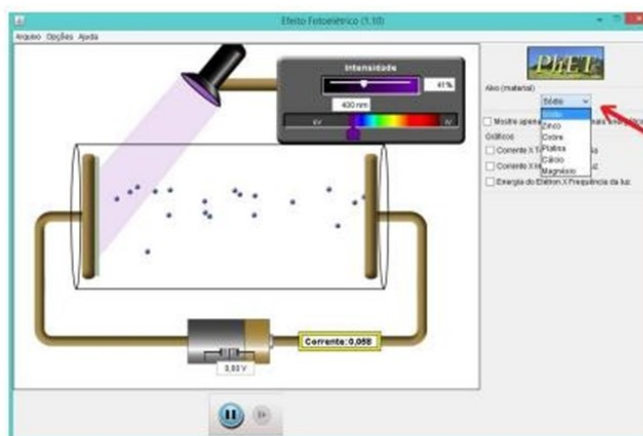


- Voltagem entre as placas: Na parte inferior simulação

encontramos a ilustração de uma pilha ligada ao circuito, representado na figura abaixo com a seta vermelha, nela pode-se escolher a voltagem que será aplicada às placas, deslizando o botão ou digitando o valor escolhido. Destacamos aqui que caso seja digitado, não deve ser utilizada a vírgula em valores decimais e sim o ponto, caso seja feito uso da vírgula o programa apresentará uma caixa de erro.

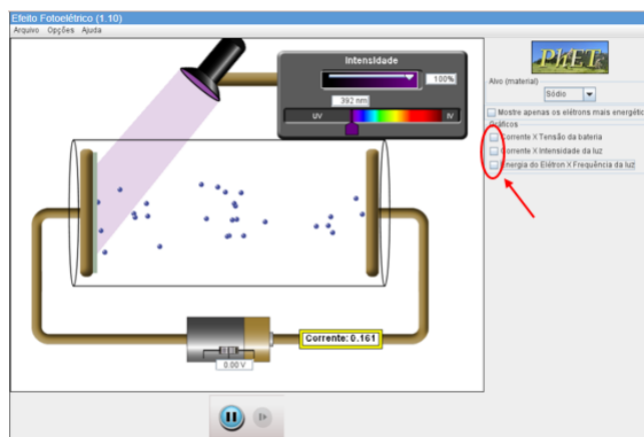


- Material da placa que irá sofrer o efeito fotoelétrico: A simulação apresenta como opções seis materiais diferentes sendo eles: sódio, zinco, cobre, platina, cálcio e magnésio. A escolha do material pode ser feita no canto direito superior da tela, na caixa que se encontra abaixo do logotipo do Phet, na figura abaixo representado pela seta vermelha. Inicialmente o material que já vem predeterminado é o sódio, para a escolha de outro material basta clicar sobre a caixa e fazer a seleção.





- Gráficos: corrente x tensão da bateria, corrente x intensidade da luz e energia do elétron x frequência da luz. Para fazer uso dos gráficos basta fazer a seleção das opções que se encontram na parte direita da tela. A seleção pode ser feita de acordo com o interesse do usuário, podendo ser apenas um ou mais de um ao mesmo tempo.



Após conhecer os principais elementos da simulação, responda as questões a seguir:

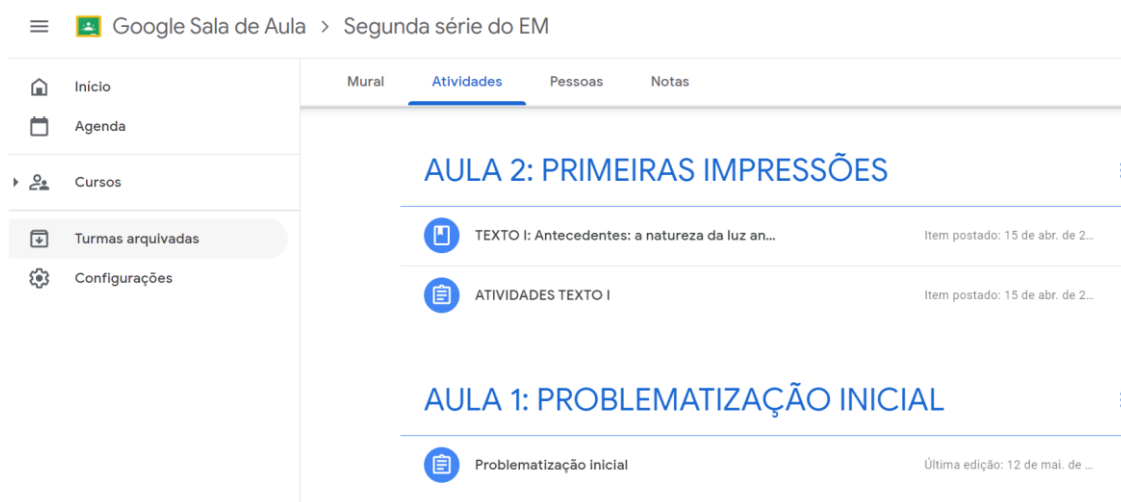
1. Para um dado elemento, mantendo o mesmo valor de intensidade da luz, o que ocorre quando alteramos o comprimento de onda da luz?
2. Escolha um comprimento de onda, no qual tenhamos elétrons passando de uma placa para a outra, e em seguida escolha diferentes valores de intensidade de luz. O que podemos observar?
3. Selecione diferentes valores de tensão para um mesmo comprimento de onda, no qual os elétrons estejam sendo ejetados de uma placa para outra, e procure explicar o que ocorre?
4. Para um dado valor de comprimento de onda, tente identificar o potencial de corte (valor limite de tensão para que os elétrons consigam atravessar de uma placa para outra).
5. Escolha o valor da intensidade da luz para 50%, no qual tenhamos elétrons passando de uma placa para a outra, escreva qual é o valor do comprimento de onda inicial e qual corrente está marcando no amperímetro \_\_\_\_\_. Altere o valor da intensidade de luz para 100% e verifique o

valor da corrente mostrada pelo amperímetro, compare o resultado da corrente com o valor encontrado no item anterior \_\_\_\_\_. Quando aumentamos a intensidade da luz, o que acontece com a corrente elétrica no sistema? E a quantidade de elétrons ejetados foi maior, menor, ou igual? Justifique.

6. É possível identificar o comportamento corpuscular da luz no experimento? Justifique.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi muito motivador a implementação desse produto educacional, principalmente por se tratar de um conteúdo que chama a atenção dos estudantes. Os fenômenos relacionados aos conceitos de luz. Dentro dessa perspectiva, foi proposto, como produto educacional, roteiros pedagógicos para o estudo do óptica geométrica e física com o objetivo de discutir a dualidade da luz, que utilizou textos históricos como ferramenta pedagógica, para auxiliar na compreensão da evolução dos conceitos envolvidos. Este roteiro pedagógico foi aplicado em uma escola pública estadual com estudantes da segunda série do ensino médio, onde se utilizou o ambiente virtual do classroom para postar o material a ser desenvolvido pelos estudantes, como a problematização inicial, os textos históricos, as atividades de análise dos textos históricos, os slides utilizados em sala, sugestões de vídeos, as listas de exercícios, os roteiros de simulações, separados em aulas, como podemos ver na imagem seguinte:



Nesse ambiente, os estudantes puderam, ler os textos, responder os exercícios, realizar as simulações, tirar dúvidas e o professor acompanhar todo processo, tanto na aula presencial como nas atividades à distância.

Durante o desenvolvimento da proposta pode-se notar nos estudantes um crescente interesse pelo tema. No primeiro instante os estudantes mostraram-se tímidos e com certa insegurança de apresentar as suas opiniões durante a aula, mas no decorrer do processo, essa insegurança começou a dar lugar a estudantes mais curiosos e questionadores.

## REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física - Ondas, Óptica e Termodinâmica**. 3. ed. v.2. São Paulo: Ática, 2016.

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física - Eletromagnetismo e Física Moderna**. 3. ed. v.3. São Paulo: Ática, 2016.

GUIMARÃES, Osvaldo, PIQUEIRA, José Roberto, CARRON, Wilson. **Física 2**. V. 2, 2° ed. São Paulo: Ática, 2016.

GUIMARÃES, Osvaldo, PIQUEIRA, José Roberto, CARRON, Wilson. **Física 3**. V. 3, 2° ed. São Paulo: Ática, 2016.

HARRES João Batista Siqueira. **Um teste para detectar concepções alternativas sobre tópicos introdutórios de ótica geométrica**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis., v.10, n.3: p.220-234, dez.1993.

PEREIRA, Guilherme. **Postulado de Einstein sobre o 'quanta' de luz e efeito fotoelétrico**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAATrkAB/postulado-einstein-sobre-quanta-luz-efeito-fotoeletrico#>>, acesso em 16 de maio de 2016.

PIETROCOLA, Maurício et al. **Física em contextos**, vol. 2: ensino médio. São Paulo, SP: Do Brasil, 2016.

PIETROCOLA, Maurício et al. **Física em contextos**, vol. 3: ensino médio. São Paulo, SP: Do Brasil, 2016.

PRASS, Alberto Ricardo. **Aplicação do Efeito Fotoelétrico**. Disponível em: <<http://www.algosobre.com.br/fisica/aplicacao-do-efeito-fotoeletrico.html#.Ulk9JtIQba8>>. Acesso em 20 de março de 2016.

RENN, J. A Física Clássica de cabeça para baixo: Como Einstein descobriu a Teoria da Relatividade Especial. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.27, n. 1, p. 27-36, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v27n1/a04v27n1.pdf>>, acesso em 16 de maio de 2016

SILVA, Boniek Venceslau da Cruz. **Controvérsias sobre a natureza da luz: uma aplicação didática**. 2010.

## Apêndice B: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido aos Pais/Responsáveis



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS**  
**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

## **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

### **Senhores Pais e/ou Responsáveis**

Seu (sua) filho (a) está sendo convidado (a) a participar de um projeto a ser desenvolvido intitulado “**Comportamento dual da luz: uma proposta para o ensino médio**”.

Neste estudo, pretendemos desenvolver uma sequência didática baseada na evolução histórica da teoria da luz para o ensino do comportamento dual da luz, com o uso do ambiente virtual Google *Classroom*, que permite a criação de uma sala de aula virtual e analisar como um grupo de estudantes se manifesta tendo que manipular essa plataforma virtual, em complemento às aulas presenciais.

As atividades desenvolvidas terão como intuito trabalhar assuntos relativos à óptica geométrica e física de uma forma diferenciada, interativa e colaborativa. Pretendemos aplicar este projeto nas turmas de segunda série do ensino médio.

O motivo que nos leva a este estudo baseia-se nos resultados apontados por inúmeras pesquisas, as quais vêm indicando uma melhora no interesse e na aprendizagem dos estudantes ao entrarem em contato com metodologias diferenciadas dentro da sala de aula.

Os responsáveis por este trabalho são: Nilce Ana Cremonini Backes, professora da Escola de Educação Básica José Marcolino Eckert, a qual poderá ser contatada pelo telefone: (49) 988614864 ou pelo e-mail: nilceana27@yahoo.com.br e seu orientador Paulo José Sena dos Santos, professor do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, o qual poderá ser contatado pelo telefone: (48) 3721-3708 ou pelo e-mail: paulo.sena@ufsc.br.

Ao longo de algumas aulas da disciplina de física que ocorrem normalmente no colégio de seu (sua) filho (a), os estudantes participarão de atividades envolvendo o uso de computadores/celulares com acesso à internet. Nestas atividades os alunos entrarão em contato com diversas situações educacionais planejadas para serem executadas de forma individual ou colaborativa. Durante a aplicação do projeto, poderão ser coletados dados através dos seguintes instrumentos:

- Gravações em vídeo e áudio das discussões em sala de aula;
- Registros escritos pelos alunos;
- Questionários, entrevistas, roteiros e atividades *online*.

Estes dados coletados serão analisados posteriormente de forma a garantir o sigilo absoluto sobre a identidade dos participantes, atendendo a legislação brasileira (Resoluções N<sup>os</sup> 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde). Os resultados deste projeto, cujos objetivos são estritamente acadêmicos e científicos, poderão ser

divulgados através de trabalho de conclusão de curso, artigos científicos e comunicações em congressos, sempre envolvendo o anonimato entre os participantes.

Para participar deste projeto, o estudante sob sua responsabilidade não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Ressalta-se que não é previsto nenhum risco ou desconforto ao seu (sua) filho (a) além dos quais ele (a) naturalmente estaria sujeito ao participar de uma atividade educacional coletiva como ficar cansado ou aborrecido ao responder questionários, sentir desconforto durante as gravações de vídeo ou áudio ou até mesmo ficar constrangido ao realizar uma atividade colaborativa com os demais colegas. Durante as entrevistas, pode ocorrer de seu (sua) filho (a) sentir-se desconfortável ou ficar constrangido de responder alguma questão. No entanto, durante a elaboração do roteiro de entrevista, todos os cuidados foram tomados para minimizar essas situações. Inclusive seu (sua) filho (a) terá total liberdade para desistir e retirar sua participação em qualquer momento do processo.

Existe também o risco de quebra de sigilo involuntária e não intencional caso porventura houver furto ou extravio de computador ou dispositivos com arquivos armazenados. Por isso os professores/pesquisadores comprometem-se a tomar todas as precauções para evitar ou minimizar qualquer risco. Salienta-se que ao participar do projeto, seu (sua) filho (a) está contribuindo para a melhoria do ensino de física no país.

Como esta pesquisa será realizada dentro do ambiente escolar, caso seu filho (a) sofra algum acidente ou mal-estar durante sua realização, ele (a) será encaminhado (a) aos setores ou órgãos de assistência aos quais seria encaminhado em caso de acidente ou mal-estar durante qualquer outra atividade escolar. Caso seu filho (a) tenha alguma despesa adicional ou sintas-se lesado física ou moralmente por algo comprovadamente relacionado à sua participação no projeto, poderá, nos termos e procedimentos da lei, solicitar o ressarcimento dos valores gastos e indenização pelos danos sofridos.

Caso o Sr. (Sra.) perceba a necessidade de descontinuar a participação do seu (sua) filho (a) no projeto, informamos que esta solicitação poderá ser feita a qualquer momento através do contato anteriormente disponibilizado. O (A) estudante será esclarecido (a) sobre o projeto em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se. Salienta-se que a aplicação da sequência didática faz parte das aulas regulares da disciplina, assim, a não concordância com a participação no projeto não isenta o estudante das atividades propostas em sala de aula pelo professor/pesquisador. A participação dele (a) é voluntária e a recusa em participar no projeto não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que é atendido (a) pelo professor/pesquisador.

Os aspectos éticos desta pesquisa são regulamentados pelas resoluções 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde e leis complementares, das quais os professores/pesquisadores estão cientes e comprometem-se a seguir rigorosamente. O projeto de pesquisa, seus objetivos e metodologia, bem como este termo de consentimento livre e esclarecido, foram avaliados e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH-UFSC), que pode ser contatado pessoalmente na rua Desembargador Vitor Lima 222, Prédio Reitoria II, 7º andar, sala 701, Florianópolis, SC, pelo telefone (48) 3721-6094 e pelo e-mail [cep.propesq@contato.ufsc.br](mailto:cep.propesq@contato.ufsc.br). Este termo será assinado em

duas vias, uma cópia ficará com o Sr. (Sra.) para eventuais consultas e a segunda cópia será arquivada pelos professores/pesquisadores.

Pretende-se que este trabalho tenha como benefícios: a integração da evolução histórica das ciências e dos ambientes virtuais aos conteúdos, que pode proporcionar uma nova dinâmica ao ensino e aprendizagem de conceitos. Nesta perspectiva um outro benefício possível é o incentivo ao uso das informações disponíveis na rede de maneira a construir seu próprio conhecimento, não só na área de física, mas em todas as áreas do conhecimento, provocando mudanças na maneira de estudar, buscando valorização no processo ensino-aprendizagem. Colocamo-nos à disposição para quaisquer esclarecimentos sobre o projeto.

### **Declaração dos pais ou responsáveis**

Eu, \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_, declaro estar suficientemente informado  
(a) a respeito do projeto intitulado “**Comportamento dual da luz: uma proposta para o ensino médio**”, e concordo voluntariamente que meu (minha) filho (a)  
\_\_\_\_\_ participe da coleta  
dos dados deste projeto.

\_\_\_\_\_  
Assinatura da mãe, pai ou responsável

\_\_\_\_\_  
Prof. Nilce Ana Cremonini Backes  
EEB José Marcolino Eckert

Florianópolis, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2022.

Apêndice C: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido ao Professor



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

**Senhor(a) Professor(a)**

Gostaríamos de desenvolver algumas atividades de pesquisa envolvendo alunos de sua(s) turma(s). Eles serão convidados a participar de um projeto intitulado **“Comportamento dual da luz: uma proposta para o ensino médio.”**

Neste estudo, pretendemos desenvolver uma sequência didática baseada na evolução histórica da teoria da luz para o ensino do comportamento dual da luz, com o uso do ambiente virtual Google *Classroom*, que permite a criação de uma sala de aula virtual e analisar como um grupo de estudantes se manifesta tendo que manipular essa plataforma virtual, em complemento às aulas presenciais.

As atividades desenvolvidas terão como intuito trabalhar assuntos relativos à óptica geométrica e física de uma forma diferenciada, interativa e colaborativa. Pretendemos aplicar este projeto nas turmas de segunda série do ensino médio.

O motivo que nos leva a este estudo baseia-se nos resultados apontados por inúmeras pesquisas, as quais vêm indicando uma melhora no interesse e na aprendizagem dos estudantes ao entrarem em contato com metodologias diferenciadas dentro da sala de aula.

Os responsáveis por este trabalho são: Nilce Ana Cremonini Backes, professora da Escola de Educação Básica José Marcolino Eckert, a qual poderá ser contatada pelo telefone: (49) 988614864 ou pelo e-mail: nilceana27@yahoo.com.br e seu orientador Paulo José Sena dos Santos, professor do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, o qual poderá ser contatado pelo telefone: (48) 3721-3708 ou pelo e-mail: paulo.sena@ufsc.br.

Caso esteja de acordo, ao longo de algumas aulas da disciplina de física, os estudantes participarão de atividades envolvendo o uso de computadores/celulares com acesso à internet. Nestas atividades eles terão a possibilidade de entrar em contato com diversas situações educacionais planejadas para serem executadas de forma individual ou colaborativa.

Durante a aplicação do projeto, poderão ser coletados dados através dos seguintes instrumentos:

- Gravações em vídeo e áudio das discussões em sala de aula;
- Registros escritos pelos alunos;
- Questionários, entrevistas, roteiros e atividades *online*.

Os dados coletados serão analisados posteriormente de forma a garantir o sigilo absoluto sobre a identidade dos participantes, atendendo a legislação brasileira (Resoluções N<sup>os</sup> 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde). Os resultados



deste projeto, cujos objetivos são estritamente acadêmicos e científicos, poderão ser divulgados através da dissertação de mestrado, artigos científicos e comunicações em congressos, sempre envolvendo o anonimato entre os participantes.

Para participar deste projeto, o estudante sob sua responsabilidade não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Ressalta-se que não é previsto nenhum risco ou desconforto para eles além dos quais já naturalmente estaria sujeito ao participar de uma atividade educacional coletiva como ficar cansado ou aborrecido ao responder questionários, sentir desconforto durante as gravações de vídeo ou áudio ou até mesmo ficar constrangido ao realizar uma atividade colaborativa com os demais colegas. Durante as entrevistas, pode ocorrer de os alunos selecionados sentirem-se desconfortáveis ou ficarem constrangidos de responder alguma questão. Por isso, durante a elaboração do roteiro de entrevista, todos os cuidados foram tomados para minimizar essas situações, inclusive o aluno terá total liberdade para desistir e retirar sua participação em qualquer momento do processo. Tanto eles quanto seus responsáveis terão total ciência dessa possibilidade por meio do termo de assentimento e do termo de consentimento livre e esclarecido.

Existe também o risco de quebra de sigilo involuntária e não intencional caso porventura houver furto ou extravio de computador ou dispositivos com arquivos armazenados. Por isso os professores/pesquisadores comprometem-se a tomar todas as precauções para evitar ou minimizar qualquer risco. Salienta-se que ao participar do projeto, seu (sua) aluno (a) está contribuindo para a melhoria do ensino de física no país.

Como esta pesquisa será realizada dentro do ambiente escolar, caso seu aluno (a) sofra algum acidente ou mal-estar durante sua realização, ele (a) será encaminhado (a) aos setores ou órgãos de assistência aos quais seria encaminhado em caso de acidente ou mal-estar durante qualquer outra atividade escolar. Caso seu aluno (a) tenha alguma despesa adicional ou sinta-se lesado física ou moralmente por algo comprovadamente relacionado à sua participação no projeto, poderá, nos termos e procedimentos da lei, solicitar o ressarcimento dos valores gastos e indenização pelos danos sofridos.

Caso o Sr.(a) perceba a necessidade de descontinuar a participação de sua(s) turma(s) no projeto, informamos que esta solicitação poderá ser feita a qualquer momento através do contato anteriormente disponibilizado ou pessoalmente. Além disso, os estudantes receberão esclarecimentos sobre o projeto e sobre quaisquer aspectos que desejarem e estarão livres para participarem ou não.

Os aspectos éticos desta pesquisa são regulamentados pelas resoluções 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde e leis complementares, das quais os professores/pesquisadores estão cientes e comprometem-se a seguir rigorosamente. O projeto de pesquisa, seus objetivos e metodologia, bem como este termo de consentimento livre e esclarecido, foram avaliados e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH-UFSC), que pode ser contatado pessoalmente na rua Desembargador Vitor Lima 222, Prédio Reitoria II, 7º andar, sala 701, Florianópolis, SC, pelo telefone (48) 3721-6094 e pelo e-mail [cep.propesq@contato.ufsc.br](mailto:cep.propesq@contato.ufsc.br). Este termo será assinado em duas vias, uma cópia ficará com o Sr. (a) para eventuais consultas e a segunda cópia será arquivada pelos professores/pesquisadores.

Pretende-se que este trabalho tenha como benefícios: a integração da evolução histórica das ciências e dos ambientes virtuais aos conteúdos, que pode proporcionar

uma nova dinâmica ao ensino e aprendizagem de conceitos. Nesta perspectiva um outro benefício possível é o incentivo ao uso das informações disponíveis na rede de maneira a construir seu próprio conhecimento, não só na área de física, mas em todas as áreas do conhecimento, provocando mudanças na maneira de estudar, buscando valorização no processo ensino-aprendizagem. Colocamo-nos à disposição para quaisquer esclarecimentos sobre o projeto.

### **Declaração do professor(a)**

Eu, \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_, declaro estar suficientemente informado  
(a) a respeito do projeto intitulado “**Comportamento dual da luz: uma proposta para o ensino médio**” e concordo voluntariamente com a participação da(s) minha(s) turma(s) na coleta dos dados deste projeto.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do professor

\_\_\_\_\_  
Prof. Nilce Ana Cremonini Backes  
EEB José Marcolino Eckert

Florianópolis, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2022.

## Apêndice D: Termo de Assentimento aos Estudantes



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS**  
**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**TERMO DE ASSENTIMENTO**

**Estimado estudante**

Você está sendo convidado (a) a participar de um projeto a ser desenvolvido intitulado “**Comportamento dual da luz: uma proposta para o ensino médio**”.

Neste estudo, pretendemos desenvolver uma sequência didática baseada na evolução histórica da teoria da luz para o ensino do comportamento dual da luz, com o uso do ambiente virtual Google *Classroom*, que permite a criação de uma sala de aula virtual e analisar como um grupo de estudantes se manifesta tendo que manipular essa plataforma virtual, em complemento às aulas presenciais.

As atividades desenvolvidas terão como intuito trabalhar assuntos relativos à óptica geométrica e física de uma forma diferenciada, interativa e colaborativa. Pretendemos aplicar este projeto nas turmas de segunda série do ensino médio.

O motivo que nos leva a este estudo baseia-se nos resultados apontados por inúmeras pesquisas, as quais vêm indicando uma melhora no interesse e na aprendizagem dos estudantes ao entrarem em contato com metodologias diferenciadas dentro da sala de aula.

Os responsáveis por este trabalho são: Nilce Ana Cremonini Backes, professora da Escola de Educação Básica José Marcolino Eckert, a qual poderá ser contatada pelo telefone: (49) 988614864 ou pelo e-mail: nilceana27@yahoo.com.br e seu orientador Paulo José Sena dos Santos, professor do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, o qual poderá ser contatado pelo telefone: (48) 3721-3708 ou pelo e-mail: paulo.sena@ufsc.br.

Ao longo de algumas aulas da disciplina de física que ocorrem normalmente no seu colégio, você participará de atividades envolvendo o uso de computadores/celulares com acesso à internet. Nestas atividades você entrará em contato com diversas situações educacionais planejadas para serem executadas de forma individual ou colaborativa. Durante a aplicação do projeto, poderão ser coletados dados através dos seguintes instrumentos:

- Gravações em vídeo e áudio das discussões em sala de aula;
- Registros escritos pelos alunos;
- Questionários, entrevistas, roteiro e atividades *online*.

Estes dados coletados serão analisados posteriormente de forma a garantir o sigilo absoluto sobre a identidade dos participantes, atendendo a legislação brasileira (Resoluções N<sup>os</sup> 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde). Os resultados deste projeto, cujos objetivos são estritamente acadêmicos e científicos, poderão ser divulgados através do trabalho de conclusão de curso, artigos científicos e

comunicações em congressos, sempre envolvendo o anonimato entre os participantes.

Para participar deste projeto, você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Ressalta-se que não é previsto nenhum risco ou desconforto além dos quais você naturalmente estaria sujeito ao participar de uma atividade educacional coletiva. Você poderá ficar cansado ou aborrecido ao responder questionários, sentir algum desconforto durante as gravações de vídeo e áudio ou até mesmo ficar constrangido ao realizar uma atividade colaborativa com os demais colegas. Durante as entrevistas, você pode se sentir desconfortável ou ficar constrangido de responder alguma questão. Por isso, durante a elaboração do roteiro de entrevista, todos os cuidados foram tomados para minimizar essas situações. Inclusive você terá total liberdade para desistir e retirar sua participação em qualquer momento do processo.

Existe também o risco de quebra de sigilo involuntária e não intencional caso porventura houver furto ou extravio de computador ou dispositivos com arquivos armazenados. Por isso, os professores/pesquisadores comprometem-se a tomar todas as precauções para evitar ou minimizar quaisquer riscos. Salienta-se que ao participar do projeto, você estará contribuindo para a melhoria do ensino de física no país.

Como esta pesquisa será realizada dentro do ambiente escolar, caso venha sofrer algum acidente ou mal-estar durante sua realização, você será encaminhado aos setores ou órgãos de assistência da escola aos quais normalmente seria encaminhado em caso de acidente ou mal-estar durante qualquer outra atividade escolar. Caso você tenha alguma despesa adicional ou venha a sentir-se lesado física ou moralmente por algo comprovadamente relacionado à sua participação no projeto, poderá, nos termos e procedimentos da lei, solicitar o ressarcimento dos valores gastos e/ou indenização pelos danos sofridos.

Caso você perceba a necessidade de descontinuar a sua participação no projeto, informamos que esta solicitação poderá ser feita a qualquer momento através do contato anteriormente disponibilizado. Você será esclarecido (a) sobre o projeto em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se. Salienta-se que a aplicação da sequência didática faz parte das aulas regulares da disciplina, assim, a não concordância com a participação no projeto não lhe isenta da realização das atividades propostas em sala de aula pelo professor/pesquisador. Sua participação é voluntária e a recusa em participar no projeto não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que você é atendido (a) pelo professor/pesquisador.

Os aspectos éticos desta pesquisa são regulamentados pelas resoluções 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde e leis complementares, das quais os professores/pesquisadores estão cientes e comprometem-se a seguir rigorosamente. O projeto de pesquisa, seus objetivos e metodologia, bem como este termo de consentimento livre e esclarecido, foram avaliados e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH-UFSC), que pode ser contatado pessoalmente na rua Desembargador Vitor Lima 222, Prédio Reitoria II, 7º. andar, sala 701, Florianópolis, SC, pelo telefone (48) 3721-6094 e pelo e-mail [cep.propesq@contato.ufsc.br](mailto:cep.propesq@contato.ufsc.br). Este termo será assinado em duas vias, uma cópia ficará com você para eventuais consultas e a segunda cópia será arquivada pelo professor/pesquisador.

Pretende-se que este trabalho tenha como benefícios: a integração da evolução histórica das ciências e dos ambientes virtuais aos conteúdos, que pode proporcionar uma nova dinâmica ao ensino e aprendizagem de conceitos. Nesta perspectiva um outro benefício possível é o incentivo ao uso das informações disponíveis na rede de maneira a construir seu próprio conhecimento, não só na área de física, mas em todas as áreas do conhecimento, provocando mudanças na maneira de estudar, buscando valorização no processo ensino-aprendizagem. Colocamo-nos à disposição para quaisquer esclarecimentos sobre o projeto.

### **Declaração do estudante participante**

Eu, \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_, declaro estar suficientemente informado (a) a respeito do trabalho **“Comportamento dual da luz: uma proposta para o ensino médio”** e concordo em participar da pesquisa.

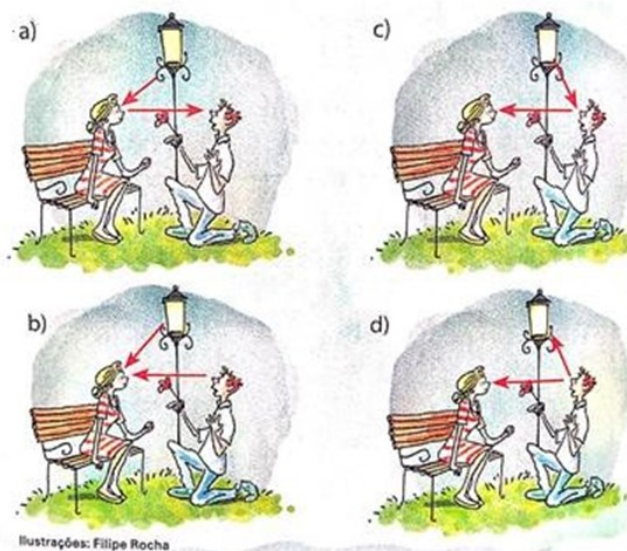
\_\_\_\_\_  
Estudante convidado

\_\_\_\_\_  
Prof. Nilce Ana Cremonini Backes  
EEB José Marcolino Eckert

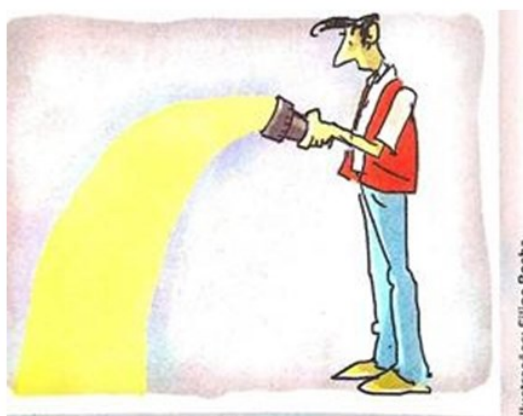
Pinhalzinho, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2022.

## Apêndice E: Problematização inicial: Concepções espontâneas

1 (Adaptada do livro Física em contextos 2). Mariana e Issac estão em uma praça iluminada por uma única lâmpada. Assinale a alternativa em que melhor representa o modo que permite Issac enxergar Mariana. Justifique sua escolha.

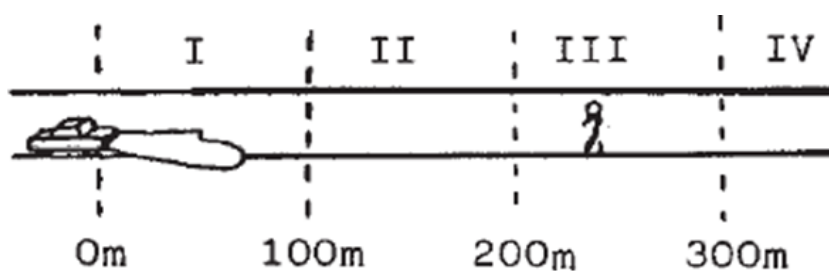


2 (Adaptada do livro Física em contextos 2). Na figura abaixo, observamos um homem com uma lanterna acesa, a luz emitida pela lanterna tem um formato de cachoeira. Você concorda que esse fenômeno seja possível? Por quê?



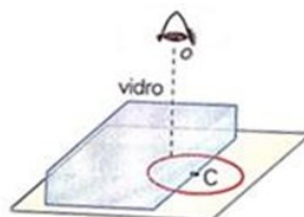
3 (Retirada de: Um teste para detectar concepções alternativas sobre tópicos introdutórios de óptica geométrica - João Batista Siqueira Harres – 1993). Em uma noite escura e sem nevoeiro um carro está parado em uma estrada reta e plana. O carro está com seus faróis ligados. Um pedestre, também parado na estrada, é capaz de ver os faróis. A figura abaixo ilustra esta situação e está subdividida em

quatro seções. Até onde a luz dos faróis do carro alcança?

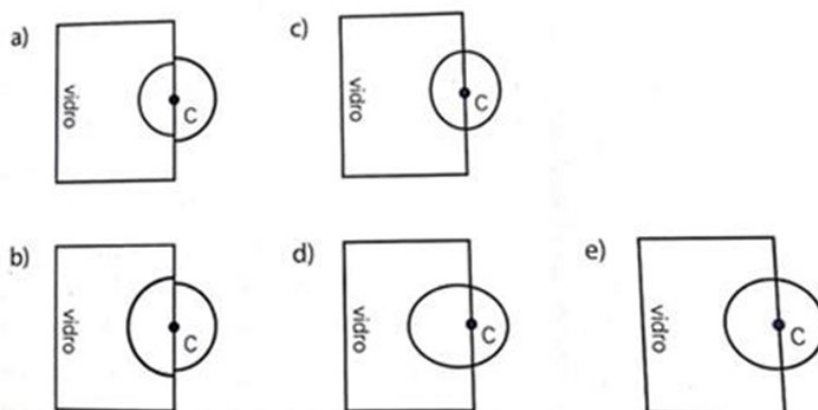


- No máximo até a seção I.
- No máximo até a seção II.
- No máximo até a seção III.
- Até a seção IV e ainda vai mais além.

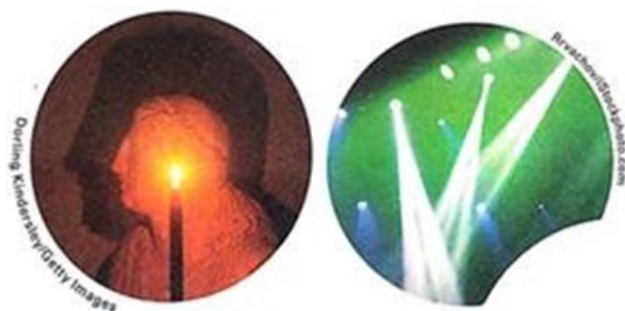
4 (Adaptada do livro Física em contextos 2). Em uma folha de papel, colocada sobre uma superfície horizontal, foi desenhado um círculo de centro C. Sobre a folha é colocado uma placa grossa de vidro, cobrindo metade do círculo. Com seus olhos na direção do eixo vertical OC, como representado na figura abaixo:



Assinale a figura que melhor representa o que você vê:



5 (Imagem retirada do livro Física em contextos 3, questão elaborada pela autora).  
 Abaixo estão representadas duas situações que ocorrem com a Luz:



Você consegue explicar por que na primeira imagem a Luz não atravessa a estátua? E por que na segunda imagem a Luz emitida por uma lanterna, não interfere na direção da Luz emitida por outra lanterna?



## Apêndice F: Texto IV: Efeito Fotoelétrico

**TEXTO IV – EFEITO FOTOELÉTRICO,**

As primeiras evidências sobre a descoberta do efeito fotoelétrico foram obtidas, em 1887, pelo físico alemão Henrich Rudolf Hertz (1857-1894) quando ele verificou que radiações eletromagnéticas de um tipo específico, ao incidirem sobre uma superfície metálica, faziam que os elétrons que pertenciam a ela escapassem, logo após absorverem certa quantidade de energia. Ele publicou um trabalho sobre suas experiências com osciladores que produziam ondas eletromagnéticas. O oscilador de Hertz constituía-se de duas esferas metálicas, cada uma possuía uma haste que em sua extremidade tinha uma outra esfera metálica, porém pequena, estando ambas ligadas por uma bobina de Rühmkorff (1851) ao alimentar essa bobina com um circuito elétrico oscilante, Hertz observou que havia faíscas entre as esferas. Hertz construiu um ressoador com um grosso fio de cobre circular e interrompido por um pequeno arco, tendo em uma de suas extremidades uma pequena esfera e na outra um parafuso que podia avançar ou recuar para controlar a abertura do circuito. Quando o ressoador captava uma onda eletromagnética, faíscas elétricas saltavam entre a esfera e a ponta do parafuso. Movendo esse dispositivo, Hertz pode calcular o comprimento de onda da radiação eletromagnética, por ocasião dessas experiências Hertz observou que quando a esfera eletrizada negativamente era iluminada com luz ultravioleta, as centelhas surgiam mais facilmente. Mas tarde esse fenômeno foi identificado como o efeito fotoelétrico.

Logo depois, em 1888, o engenheiro e físico italiano Augusto Righi (1850-1920) percebeu que, quando dois eletrodos eram expostos a uma radiação ultravioleta, eles atuavam como um par voltaico. A esse fenômeno Righi deu o nome de efeito fotoelétrico. Ainda em 1888, o físico alemão Wilhelm Hallwachs (1859-1922) realizou experiências nas quais observou que uma placa de zinco descarregada e isolada, passava a carregar-se positivamente quando recebia radiação ultravioleta proveniente de uma lâmpada de quartzo. Em 1889 Hallwachs anunciou que outros metais [rubídio (Rb), potássio (K), sódio (Na), lítio (Li), magnésio (Mg) e tório (Th)] se comportavam como o zinco, quando iluminados com luz ultravioleta.

Antes ainda, o físico russo Aleksandr Grigoryevich Stoletov (1839-1896) realizou, em 1872, uma primeira observação experimental sobre o efeito fotoelétrico. O experimento de Stoletov era consistido de dois discos metálicos de 22 cm de

diâmetro, um maciço e o outro em forma de rede, que foram colocados verticalmente frente a um arco voltaico, unidos por intermédio de uma bateria elétrica e de um galvanômetro. Durante a iluminação, com luz ultravioleta, do disco metálico maciço, unido ao pólo negativo da bateria, foi registrado uma corrente elétrica através do galvanômetro.

Em 1888, Stoletov desenvolveu um método experimental para estudar o efeito fotoelétrico. Nele ele observou que, iluminando a placa negativa de um condensador com luz ultravioleta, percebia-se uma corrente elétrica contínua em um circuito contendo esse condensador, cuja intensidade era proporcional à intensidade da luz incidente e à área iluminada. Além do mais, investigando a relação entre essa fotocorrente e a diferença de potencial externa ao circuito considerado, Stoletov descobriu a existência de uma corrente de saturação. Essas são, portanto, as primeiras leis do efeito fotoelétrico.

Ao físico húngaro-alemão Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947), assistente de Hertz, se atribui a descoberta das leis do efeito fotoelétrico. Em 1899 ele realizou experiências que o levaram a essa descoberta. Nessas experiências, observou que elétrons eram emitidos de superfícies metálicas quando nelas incidiam radiação eletromagnética. No entanto, somente em 1902, Lenard apresentou as hoje conhecidas leis do efeito fotoelétrico:

- I. Os elétrons emitidos têm velocidades iniciais finitas, são independentes da intensidade da luz incidente, porém, dependem de sua frequência;
- II. O número total de elétrons emitidos é proporcional à intensidade da luz incidente.

Essas leis, contudo, não eram explicadas pelo eletromagnetismo que o físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) desenvolvera. Por exemplo, segundo esse eletromagnetismo, quanto mais intensa a radiação eletromagnética incidente em um material fotoelétrico, maior seria a velocidade do elétron arrancado. Além do mais, como essa radiação era distribuída em uma onda, de acordo com o eletromagnetismo Maxwelliano, era necessário um tempo razoável para que tal radiação arrancasse elétrons do material emissor.

Esse fenômeno foi explicado pelo físico Albert Einstein (1879-1955), em 1905 com sua interpretação quântica da luz. A ideia de Einstein era bastante simples, pois admitiu que a energia da radiação eletromagnética não era distribuída uniformemente

sobre as frentes de ondas de frequência e sim, concentrada em pequenas regiões, isto é, eram verdadeiros “pacotes” de energia denominados por Einstein de Lichtquantum (“quantum de luz”). Portanto, no efeito fotoelétrico, o “quantum de luz” ao colidir com um elétron do átomo emissor, cede uma parte de sua energia ao elétron, que o utiliza para vencer a energia de ligação que o liga ao átomo, e a diferença, pelo Princípio da Conservação da Energia, é a energia cinética com que o elétron sai do material. O quantum de luz recebeu o nome de fóton, em 1926 pelo químico norte-americano Gilbert Newton Lewis (1875-1946), e que o Prêmio Nobel de física de 1921 recebido por Einstein foi devido a sua explicação do efeito fotoelétrico.

Albert Einstein comprovou assim, a dualidade onda partícula da luz, explicando satisfatoriamente esse efeito, através da teoria do efeito fotoelétrico, isso porque, para comprovar essa teoria, precisava-se considerar a teoria corpuscular da luz. A partícula luminosa – o fóton –, que como qualquer outra partícula, possui uma certa energia ( $E$ ), logo, a relação entre energia e frequência ( $f$ ) é proporcional e está relacionada pela constante de Plank ( $h$ ) e é expressa pela equação:

$$E = h.f$$

Expressando a frequência e a constante de proporcionalidade através de característica angular, temos que:

$$\omega = 2\pi f \rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi}$$

E sabendo que:

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \rightarrow h = 2\pi\hbar$$

Podemos assim determinar a energia do fóton:

$$E = h.f \rightarrow E = 2\pi\hbar \cdot \frac{\omega}{2\pi} \rightarrow E = \hbar \cdot \omega$$

Pode-se dizer que um fóton é formado durante a transição de um elétron de um átomo entre dois estados de energias diferentes, o elétron ao passar de uma camada

mais interna para uma mais externa recebe energia, e ao retornar para o estado inicial, emite essa energia, portanto o fóton correspondente a essa diferença energética. Os fótons são partículas elementares que viajam com a velocidade da luz, portanto, não tem massa e nem carga.

Ainda no século XVII, os físicos já haviam produzido duas interpretações sobre a luz. Uma delas defendida por Isaac Newton, que no experimento realizado com a refração do feixe de luz branca, propunha a ideia de que a luz tem um caráter material, ou seja, corpuscular, ideia essa aceita pela comunidade científica. Já Christian Huygens, mostrou que a luz poderia ser entendida como uma onda, ideia essa descartada nessa época, devido a influência de Newton a favor da teoria corpuscular.

Já no século XIX, Maxwell ampliou o conhecimento sobre o assunto, em seus estudos chegou a teoria eletromagnética que colaborou com o caráter ondulatório da luz. De fato, é esse caráter que permite a explicação dos fenômenos de interferência e difração da luz.

Mas, já vimos que o efeito fotoelétrico não é compatível com a natureza ondulatória, mas sim com a teoria corpuscular da luz, ou seja, somente considerando-a composta por fótons, esse fenômeno foi esclarecido.

Portanto, podemos dizer que a luz tem caráter dual, ou seja, ela se comporta como onda ou como partícula, de acordo com o fenômeno analisado. Portanto, os fótons em alguns fenômenos exibem mais claramente a natureza ondulatória, como no experimento de dupla fenda de Young, e em outros se torna mais evidente a natureza de partículas, como no fenômeno do efeito fotoelétrico. Dessa forma, os dois modelos se complementam perfeitamente.

## ANEXOS

## Anexo 1 - Parecer do Comitê de Ética

UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
SANTA CATARINA - UFSC

**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** Comportamento dual da luz, uma proposta para o ensino médio

**Pesquisador:** Paulo José Sena dos Santos

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 60198022.1.0000.0121

**Instituição Proponente:** Universidade Federal de Santa Catarina

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

**DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 5.509.818

## Anexo 2 - TEXTO I: Antecedentes: a natureza da luz antes do Século XVII

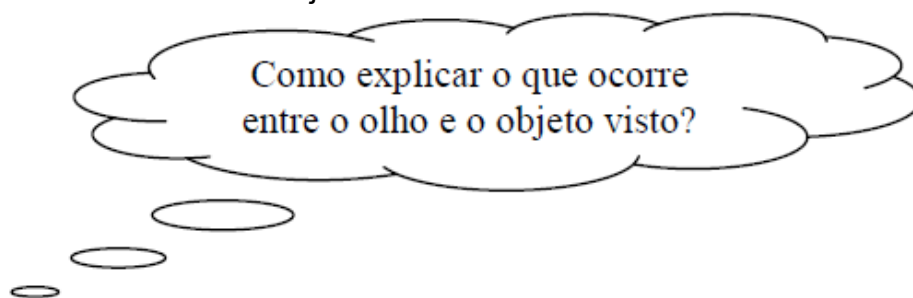
**TEXTO I: Antecedentes: a natureza da luz antes do Século XVII**

Autor: Boniek Venceslau da Cruz Silva.

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.

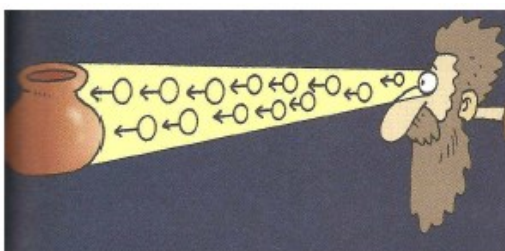
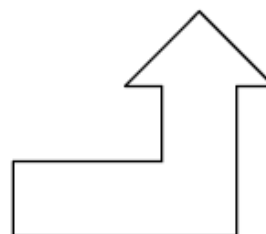
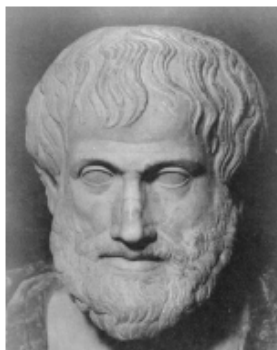


Figura 1: Modelo idealizado por Pitágoras.

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 *podia* 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.)

Figura 2: 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.

Será que os estudos sobre a  
Óptica são um legado somente  
do mundo ocidental?

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:

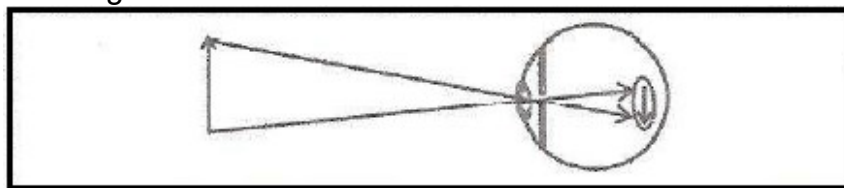


Figura 3: Modelo de visão idealizado por Alhazen.

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?





## Anexo 3 – TEXTO II: Mudanças de cenário: revoluções e mais controvérsias

**TEXTO II: Mudanças de cenário: revoluções e mais controvérsias**

Autor: Boniek Venceslau da Cruz Silva.

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.

O que essas mudanças na forma de pensar agir da sociedade trariam de novo ao nosso conflito, criado lá pelos gregos antigos?

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 associado 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).

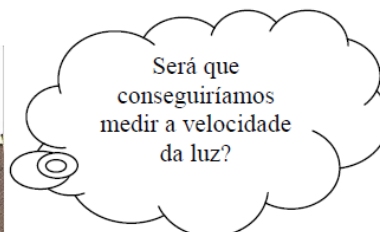
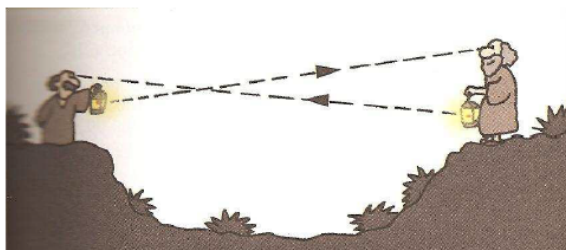


Figura 4: Newton estudando fenômenos luminosos.

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.

Figura 5:



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:

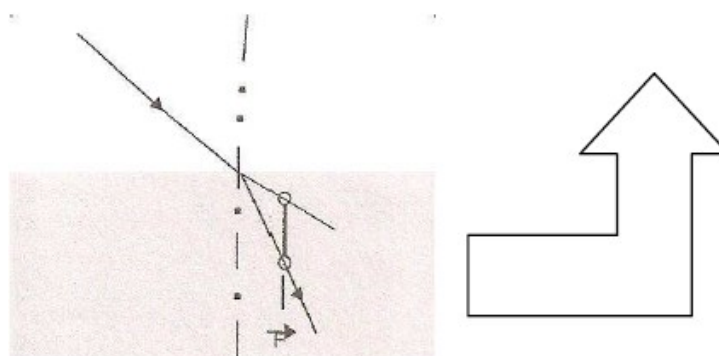


Figura 6: refração

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.



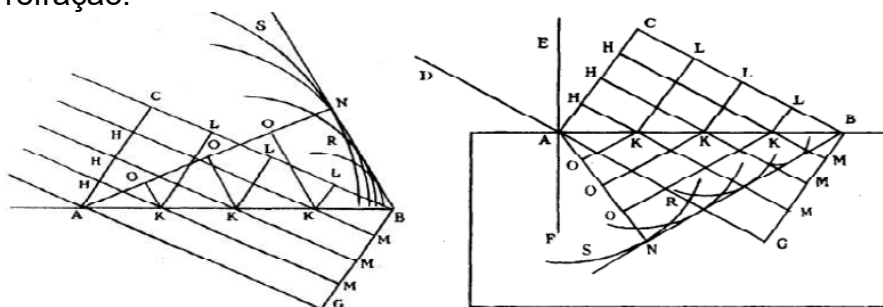
[...] os raios luminosos atravessam quando vemos um objeto luminoso. Isso não poderia ocorrer pelo transporte de uma matéria que venha do objeto até nós, como uma flecha ou bala que atravessa o ar.

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.

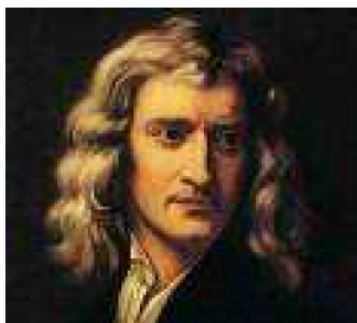
De acordo com a sua teoria, Huygens conseguiu explicar o processo de propagação retilínea da luz e alguns fenômenos bastante conhecidos na época, como a reflexão e a refração.



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 a 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”.

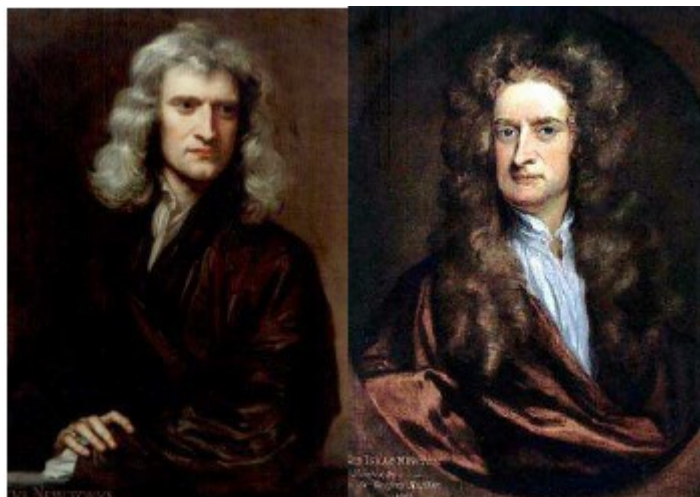
## Anexo 4 - TEXTO III: Difração e Interferência: o ressurgimento da teoria ondulatória

**TEXTO III – Difração e Interferência: o ressurgimento da teoria ondulatória**

Autor: Boniek Venceslau da Cruz Silva.

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.

Então seria fácil concluirmos que as ideias de Newton eram superiores? Será que suas ideias reinavam sem contestações?

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

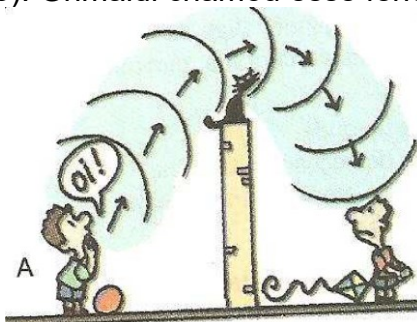


para outro mais denso, por exemplo, do ar para água. Para o modelo corpuscular, a velocidade aumentaria; para o ondulatório, não.

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.

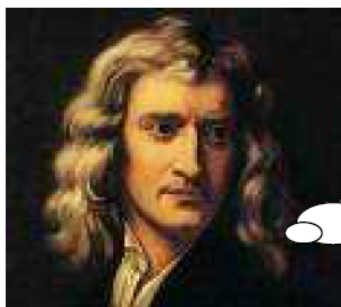
A difração, nos dias de hoje, é entendida como desvio dado pela luz em relação a um obstáculo. Ela foi descrita pelo estudioso jesuíta italiano Francesco Maria Grimaldi (1618-1663), que, na sua obra *Physico-Mathesis de Lumine, Coloribus et Iride*, publicada em 1665, descreve que a luz poderia possuir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

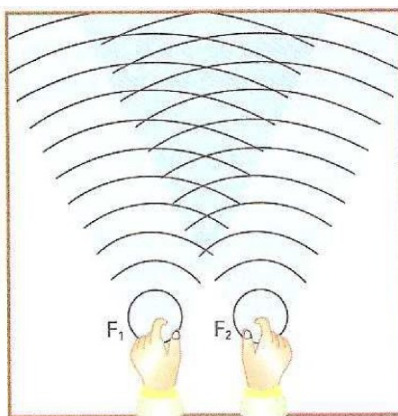
Newton afirmava que a falta de um exame mais adequado sobre as sombras e franjas largas decorrentes da refração ordinária do ar dificultava muito o desenvolvimento de estudos relacionados a esse assunto. Para ele, isso não decorria da refração, como muitos diziam, mas da inflexão, que, hoje, chamamos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

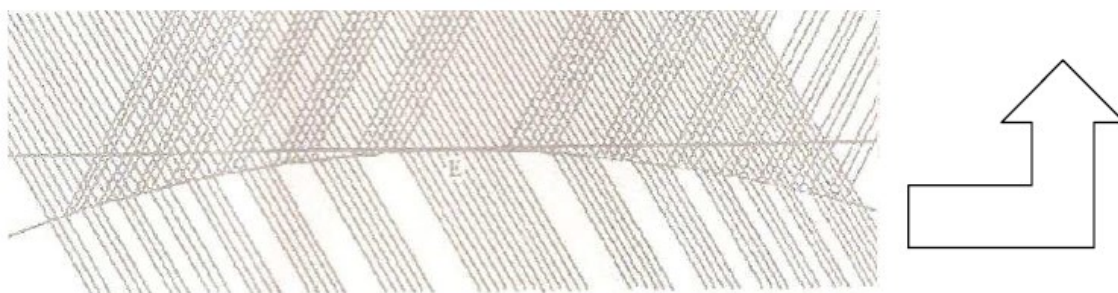


Figura elaborada por Newton para explicar o fenômeno dos anéis de Newton (interferência).

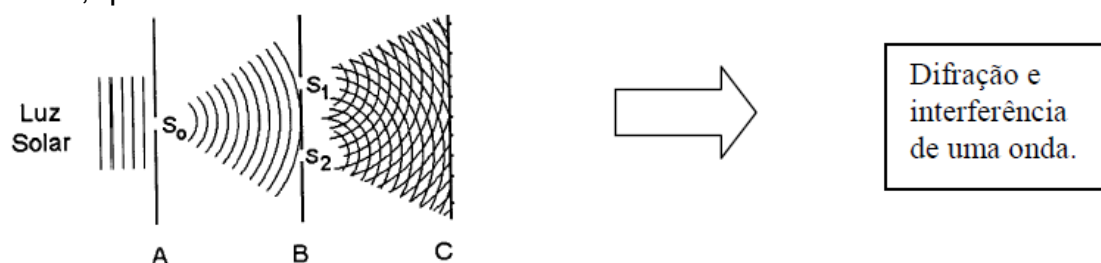


Newton desenvolveu sua teoria dos estados de fácil transmissão e fácil reflexão para tentar explicar a formação de anéis coloridos partindo de um modelo corpuscular da luz. O modelo corpuscular da luz de Newton foi aceito em sua época.

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.

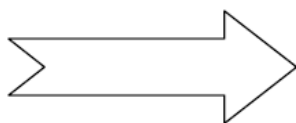


Na interferência luminosa, o que se percebe é uma alternância de claros e escuros formados no anteparo C. A teoria corpuscular, por sua vez, não conseguia realizar experimentos, nem muito menos possuía explicações convincentes, para esse fenômeno. A sua explicação era baseada nas hipóteses dos estados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

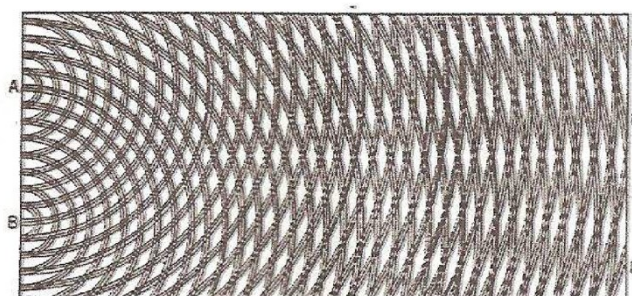


Figura utilizada por Young para explicar a interferência em ondas de água.

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. A experiência realizada por Young teve grande repercussão entre os cientistas e teve por consequência a aceitação da teoria ondulatória.

O físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) ampliou os conhecimentos sobre o assunto, chegando à teoria eletromagnética, colaborando com o caráter ondulatório da luz. Maxwell mostrou que quando a luz se propaga através de um meio, ela o faz com uma velocidade determinada. Essa velocidade é extremamente alta quando comparada com velocidades registradas em fenômenos cotidianos. No vácuo, a velocidade de propagação da luz, qualquer que seja a frequência ou cor, é de aproximadamente  $3,0 \times 10^5$  km/s ou  $3,0 \times 10^8$  m/s. É no vácuo que a luz atinge sua maior velocidade.