



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE



Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Sociedade Brasileira de Física

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

**Priscila dos Santos Caetano de Freitas**

**ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E VISÃO: MATERIAL COMPLEMENTAR PARA  
O ENSINO MÉDIO SOB A PERSPECTIVA DO CURRÍCULO MÍNIMO**

Campos dos Goytacazes/RJ

2019, 1



Priscila dos Santos Caetano de Freitas

## ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E VISÃO: MATERIAL COMPLEMENTAR PARA O ENSINO MÉDIO SOB A PERSPECTIVA DO CURRÍCULO MÍNIMO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, 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. Pierre Schwartz Augé.

Campos dos Goytacazes/RJ

2019, 1

Biblioteca Anton Dakitsch  
CIP - Catalogação na Publicação

F866o Freitas, Priscila dos Santos Caetano de  
Ondas Eletromagnéticas e Visão: material complementar para o Ensino Médio sob a perspectiva do currículo mínimo / Priscila dos Santos Caetano de Freitas - 2019.  
226 f.: il. color.

Orientador: Pierre Schwartz Augé

Dissertação (mestrado) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campus Campos Centro, Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.  
Referências: f. 148 a 158.

1. Ensino de Física. 2. Currículo mínimo-RJ. 3. Estratégias de ensino. 4. Interdisciplinaridade. 5. Olho humano. I. Augé, Pierre Schwartz, orient. II. Título.

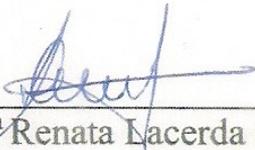
## ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E VISÃO: MATERIAL COMPLEMENTAR PARA O ENSINO MÉDIO SOB A PERSPECTIVA DO CURRÍCULO MÍNIMO

Priscila dos Santos Caetano de Freitas

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, 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.

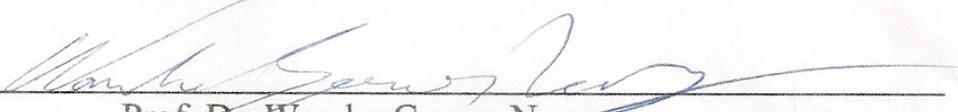
Aprovada em 22 de março de 2019.

Banca Examinadora:



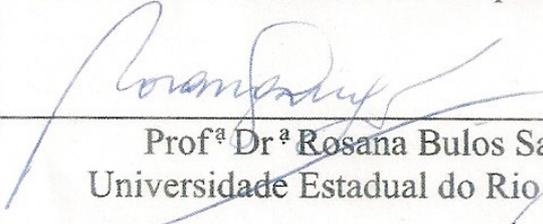
---

Prof.ª Dr.ª Renata Lacerda Caldas  
Instituto Federal Fluminense *campus* Campos-Centro



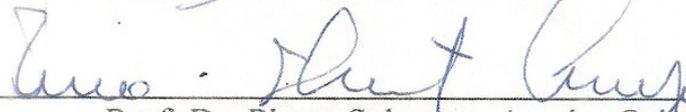
---

Prof. Dr. Wander Gomes Ney  
Instituto Federal Fluminense *campus* Campos-Centro



---

Prof.ª Dr.ª Rosana Bulos Santiago  
Universidade Estadual do Rio de Janeiro



---

Prof. Dr. Pierre Schwartz Augé – Orientador  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora  
Instituto Federal Fluminense *campus* Campos-Centro

Campos dos Goytacazes/RJ

Dedico este trabalho à minha família, especialmente ao meu pai Jorge Luiz Caetano de Freitas e a minha avó Maria de Lourdes Caetano de Freitas que, mesmo não estando mais aqui, são as minhas fontes propulsoras.

Priscila dos Santos Caetano de Freitas

## AGRADECIMENTOS

Eu agradeço a Deus por me dar a capacidade de correr atrás de meus sonhos, abrindo os caminhos para que eles possam se concretizar, fazendo-me vivenciar certas situações para o meu engrandecimento pessoal e profissional, como a oportunidade em cursar o Mestrado Nacional em Ensino de Física e pelo carinho que recebo de meus alunos.

Agradeço à minha mãe por todo apoio e compreensão nos momentos em que abdiquei de interagir com a família para a produção deste trabalho.

Ao meu professor e orientador Pierre Schwartz Augé que, com muita sabedoria e parceria, construiu juntamente comigo essa dissertação, cedendo horas de seu tempo para a orientação. Pessoa a quem admiro, que muito me ensinou, a quem tenho grande empatia e estima.

Aos meus professores do mestrado, a quem tenho como amigos e inspiração: Marília Linhares, Renata Lacerda, Wander Gomes e Cristine Oliveira. Pessoas humildes, que me enriqueceram com todo o conhecimento ensinado.

À ex-secretária do mestrado em Ensino de Física Aline Oliveira por sua amizade, dedicação e competência. Agradeço também a atual secretária Karine pela sua disposição em nos ajudar sempre que preciso com assuntos burocráticos.

À minha turma tão unida, alegre e dinâmica, um presente que Deus colocou na minha vida, tornando possível a conclusão de uma etapa tão importante para mim. Em especial, sobretudo, àqueles que ouviram meus conflitos, me ajudaram com a minha ansiedade e tornaram-se parceiros de pesquisa: a Rafaella e o Jackson.

Aos meus amigos e familiares que sempre me apoiaram: Érika, Alexandre, Diana, Nicolas, Jacqueline, Ewertom, Yasmin e Lara. À Larissa que, mesmo de longe, torce pela minha vitória.

À SBF, ao MNPEF e ao IF Fluminense pela oferta do mestrado na nossa região, com um curso de qualidade de forma a contribuir para a minha trajetória acadêmica.

Aos professores que colaboraram em minha pesquisa, em especial à professora Sandra que cedeu a sua turma durante um bimestre letivo para que eu aplicasse o produto didático.

Priscila dos Santos Caetano de Freitas

Sem a curiosidade que me move, que me inquieta, que me insere na busca, não aprendo nem ensino.

Paulo Reglus Neves Freire

## RESUMO

### ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E VISÃO: MATERIAL COMPLEMENTAR PARA O ENSINO MÉDIO SOB A PERSPECTIVA DO CURRÍCULO MÍNIMO

Priscila dos Santos Caetano de Freitas

Prof. Dr. Pierre Schwartz Augé

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, 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.

A presente pesquisa possui caráter qualitativo e tem como objetivo fazer apreensões sobre o ensino, diante de uma intervenção didática diferenciada por meio de material didático sobre Ondas Eletromagnéticas aplicadas ao olho humano, abrangendo os aspectos físicos, químicos e biológicos, na perspectiva do Currículo Mínimo do Estado do Rio de Janeiro, para a 3ª série do Ensino Médio. Tem como embasamento teórico os modelos didáticos de intervenção no Ensino de Ciências e nos modelos didáticos dos professores, enquanto saberes docentes. Na intenção de proporcionar um ensino mais contextualizado e interessante, a proposta apresenta como estratégias de ensino a História e Filosofia da Ciência e o uso de experimentações. Perante a nova proposta curricular do Estado, destaca-se a dificuldade encontrada pelos professores de encontrar materiais e livros didáticos que tenham uma abordagem adequada ao currículo. Sendo uma pesquisa que se enquadra na tipologia estudo de caso, utiliza entrevistas semiestruturadas para destacar na fala dos entrevistados as seguintes categorias de análise: interdisciplinaridade, contextualização, história da ciência e/ou o uso de experimentos, conteúdos de Física, estratégia didática e atitude. Essas temáticas são postas em relevo no que concerne ao potencial do material para o ensino dos assuntos de Física em evidência.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Currículo Mínimo-RJ. Estratégias de ensino. Interdisciplinaridade. Olho humano.

## **ABSTRACT**

### **ELECTROMAGNETIC WAVES AND VISION: COMPLEMENTARY MATERIAL FOR HIGH SCHOOL UNDER THE MINIMUM CURRICULUM PERSPECTIVE**

Priscila dos Santos Caetano de Freitas

Prof. Dr. Pierre Schwartz Augé

Master's dissertation presented to the Program of Graduate Studies at the Federal Institute of Education, Science and Technology Fluminense, in the Course of Professional Master of Physical Education (MNPEF) as part of the requirements for obtaining the Master's degree in Physical Education.

The present research work has a qualitative character and aims to make apprehensions about the teaching, before a didactic intervention differentiated through didactic material on Electromagnetic waves applied to the human eye, covering the physical, chemical and biological aspects, from the Curriculum perspective Minimum of the State of Rio de Janeiro for the 3rd grade of High School. It has as theoretical background the didactic models of intervention in the Teaching of Sciences and in the didactic models of the teachers, as teaching knowledge. In order to provide a more contextualized and interesting teaching, the proposal presents as teaching strategies the History and Philosophy of Science and the use of experiments. Faced with the new curricular proposal of the State, it is highlighted the difficulty encountered by the teachers to find materials and textbooks that have a proper approach to the curriculum. Being a research that falls within the typology of a case study because it considers a restricted portion of reality, it uses semi-structured interviews to highlight in the interviewees' speech the categories of analysis in which the didactic material is framed, allowing to verify its significant potential.

**Keywords:** Physics education. Currículo Mínimo. Teaching strategies. Interdisciplinarity. Didactic intervention. Human eye. Electromagnetic Waves.

## LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1:</b> Lei de Reflexão.....	48
<b>Figura 2:</b> Lei da Refração.....	49
<b>Figura 3:</b> Índice de refração de algumas substâncias (valores correspondentes à luz amarela).....	50
<b>Figura 4:</b> Sol abaixo do horizonte e sol aparente.....	50
<b>Figura 5:</b> Espectro eletromagnético.....	54
<b>Figura 6:</b> Sensibilidade relativa do olho humano às diferentes radiações do Espectro Eletromagnético.....	55
<b>Figura 7:</b> Representação de uma onda eletromagnética.....	55
<b>Figura 8:</b> Características de ondas.....	57
<b>Figura 9:</b> Fenômenos de difração e interferência numa onda.....	58
<b>Figura 10:</b> Relação entre diferentes áreas do saber associadas ao tema visão.....	59
<b>Figura 11:</b> Secção sagital do olho humano.....	60
<b>Figura 12:</b> Índice de refração das partes transparentes do olho humano.....	60
<b>Figura 13:</b> Estrutura do olho humano.....	61
<b>Figura 14:</b> Conversão da porção retinal resultando na visão.....	62
<b>Figura 15:</b> Grade cintilante de Lingelbach.....	64
<b>Figura 16:</b> Livro <i>Conexões com a física</i> .....	67
<b>Figura 17:</b> Livro <i>Curso de física</i> .....	67
<b>Figura 18:</b> Livro <i>Física Aula por aula</i> .....	68
<b>Figura 19:</b> Ficha de avaliação dos trabalhos sobre Luz e Visão.....	88
<b>Figura 20:</b> Habilidades e competências de Física pretendidas no 3º bimestre do 3º ano do ensino médio nas escolas estaduais do RJ.....	90
<b>Figura 21:</b> Capturas de tela da apresentação de <i>slides</i> do <i>prezi</i> à respeito da natureza da luz....	99
<b>Figura 22:</b> Vídeos gravados pelos grupos das atividades experimentais.....	99
<b>Figura 23:</b> Captura de tela da atividade online presente no <i>Edpuzzle</i> .....	106
<b>Figura 24:</b> Gráfico da assertividade dos alunos quanto a questão 1 do <i>Edpuzzle</i> .....	106
<b>Figura 25:</b> Gráfico das respostas dos alunos à questão 4.....	108
<b>Figura 26:</b> Captura de tela da apresentação de <i>slides</i> sobre células fotorreceptoras.....	110
<b>Figura 27:</b> Experimento do controle remoto com luz infravermelha e câmera de celular.....	111
<b>Figura 28:</b> Captura de tela dos slides sobre daltonismo.....	112
<b>Figura 29:</b> Captura de tela de <i>slide</i> com explicação sobre um exemplo de ilusão de ótica.....	112
<b>Figura 30:</b> Uso do aplicativo <i>Plickers</i> na intervenção didática.....	113

<b>Figura 31:</b> Porcentagem de acertos da questão 10 do questionário <i>Plickers</i> .....	114
<b>Figura 32:</b> Porcentagem de acertos da questão do questionário <i>Plickers</i> .....	114
<b>Figura 33:</b> Alunos utilizando a câmera escura.....	115
<b>Figura 34:</b> Apresentação oral sobre câmera escura e formação da imagem no olho.....	116
<b>Figura 35:</b> Seminário sobre o mecanismo da visão.....	117
<b>Figura 36:</b> Turma 301 de Edificações IFF 2017.2.....	121
<b>Figura 37:</b> Gráfico de gênero.....	121
<b>Figura 38:</b> Gráfico da concepção dos alunos sobre as aulas de física.....	122
<b>Figura 39:</b> Gráfico sobre recursos e estratégias didáticos.....	123
<b>Figura 40:</b> Gráfico sobre os elementos que tornam as aulas de física desestimulantes.....	123

## LISTA DE QUADROS

<b>QUADRO 1</b> - Saberes dos professores, fontes sociais e modos de integração.....	20
<b>QUADRO 2</b> - Enfoques para o ensino de ciências .....	26
<b>QUADRO 3</b> - Análise da composição geral dos textos do livro Física aula por aula .....	70
<b>QUADRO 4</b> - Análise da proposta de atividades do livro Física aula por aula.....	71
<b>QUADRO 5</b> - Análise das ilustrações do livro Física aula por aula.....	72
<b>QUADRO 6</b> - Análise do manual do professor do livro Física aula por aula.....	72
<b>QUADRO 7</b> - Síntese dos momntos investigativos.....	81
<b>QUADRO 8</b> - Respostas dos alunos sobre a questão 2.....	95
<b>QUADRO 9</b> - Respostas dos alunos sobre a questão 3.....	96
<b>QUADRO 10</b> - Respostas dos alunos sobre a questão 4.....	96
<b>QUADRO 11</b> - Respostas dos alunos sobre a questão 5.....	97
<b>QUADRO 12</b> - Respostas dos grupos a algumas questões do roteiro do experimento I.....	100
<b>QUADRO 13</b> - Respostas dos grupos a algumas questões do roteiro experimental II.....	101
<b>QUADRO 14</b> - Proposição de alunos sobre as simulações observadas.....	102
<b>QUADRO 15</b> - Proposição de alunos sobre o papel da experimentação I.....	103
<b>QUADRO 16</b> - Proposição de alunos sobre o papel da experimentação II.....	104
<b>QUADRO 17</b> - Respostas dos alunos sobre a questão 1.....	117
<b>QUADRO 18</b> - Respostas dos alunos sobre a questão 2.....	118
<b>QUADRO 19</b> - Respostas dos alunos sobre a questão 3.....	118
<b>QUADRO 20</b> - Respostas dos alunos sobre a questão 4.....	120
<b>QUADRO 21</b> - Respostas dos alunos sobre a questão 5.....	120
<b>QUADRO 22</b> - Respostas dos alunos sobre os aspectos positivos e negativos das aulas de física.....	123

## **LISTA DE SIGLAS**

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CM – Currículo Mínimo base da escola estadual Rio de Janeiro

EM – Ensino Médio

ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio

HFC – História e Filosofia da Ciência

MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

PCN'S – Parâmetros Curriculares Nacionais

PCN'S+ – Orientações Educacionais Complementares aos PCN'S

PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio

PNLD – Plano Nacional do Livro Didático

PCNs – Parâmetros Curriculares Nacionais

LDB – Lei de Diretrizes e Bases

RJ – Rio de Janeiro

SAERJ – Sistema de Avaliação da Educação do Estado do Rio de Janeiro

SEEDUC-RJ – Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>18</b>
2.1 O ENSINO DE CIÊNCIAS.....	18
2.1.1 Epistemologia da docência.....	18
2.1.2 Enfoques didáticos em Ensino de ciências.....	22
2.1.3 Modelos didáticos dos professores em ciências.....	27
2.1.4. O currículo mínimo de física.....	29
2.2 TEORIAS DA APRENDIZAGEM.....	32
2.2.1 A teoria da equilíbrio de Piaget.....	33
2.2.2 A teoria da aprendizagem construtivista de Vygotsky, os pressupostos filosóficos e as implicações educacionais do pensamento vygotskiano.....	36
2.2.3 A aprendizagem significativa de Ausubel.....	39
2.3 HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS .....	40
2.4 EXPERIMENTAÇÃO - USO DE DEMONSTRAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS.....	45
2.5 LUZ: UNIFICAÇÃO DA ÓTICA COM O ELETROMAGNETISMO.....	47
2.5.1 Breve histórico sobre a natureza da luz.....	47
2.5.2 Luz como onda eletromagnética e visão.....	51
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>65</b>
3.1 O ENSINO.....	65
3.1.1 O livro didático.....	65
3.1.2 O ensino de Física.....	69
3.1.3 O material didático proposto.....	73
3.2 A PESQUISA.....	75
3.2.1 Pesquisa qualitativa.....	75
3.2.2 Sujeitos .....	77
3.2.3 Instrumentos .....	78
<b>4 DESCRIÇÃO DO PRODUTO .....</b>	<b>80</b>
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	80
4.2 ROTEIRO DO PRODUTO .....	88
4.3 ESTRUTURA DO MATERIAL DIDÁTICO .....	90
<b>5 APLICAÇÃO DO PRODUTO.....</b>	<b>93</b>

<b>6 ANÁLISE DE DADOS</b> .....	126
6.1 ANÁLISE DAS ENTREVISTAS POR SUJEITO.....	126
6.2 ANÁLISE DAS ENTREVISTAS POR QUESTÃO.....	136
6.3 DIALOGANDO COM OS REFERENCIAIS TEÓRICOS.....	138
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	144
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	148
<b>APÊNDICES</b> .....	159
APÊNDICE A: Roteiro da entrevista.....	160
APÊNDICE B: Material didático Luz e visão.....	161
<b>Apêndice I:</b> Tutorial <i>Edpuzzle</i> .....	206
<b>Apêndice II:</b> Tutorial <i>Plickers</i> .....	215

## 1 INTRODUÇÃO

Há uma concordância entre os estudiosos que a crise no Ensino de Ciências é uma realidade. Entre vários fatores que podem ser apontados para essa crise estão os conteúdos abordados, a formação de professores no ensino superior, a desvinculação com as novas tecnologias e a falta de interesse ou uma atitude negativa dos alunos frente às ciências e seu ensino (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 15). A crise no Ensino de Ciências permanece atual e tem se agravado (FOUREZ, 2003, p. 109).

Entre os atores dominantes nessa crise estão “os alunos, os professores de ciências, os dirigentes da economia, os pais, os cidadãos (trabalhadores manuais ou outros), etc” (FOUREZ, 2003, p. 110), ou seja, pode-se dizer que diversos segmentos estão envolvidos.

No Brasil, é perceptível a preocupação do Estado diante dessa problemática no Ensino de Ciências e na educação de uma maneira geral. No Rio de Janeiro, em particular, à medida que o Estado propõe incentivar os jovens em carreiras científicas, também atua diretamente na educação por meio da proposta do “Currículo Mínimo” (RIO DE JANEIRO, 2012, p. 2-3), que tem como uma de suas intenções direcionar as escolas em relação aos conteúdos pertinentes e a uma boa formação educacional e cidadã.

Em relação ao ensino de Física, o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) diz que:

Deve contemplar, portanto, não só a escolha cuidadosa dos elementos principais mais importantes, presentes na estrutura conceitual da Física, como uma disciplina científica, como uma área do conhecimento sistematizado, em termos de conceitos e definições, princípios e leis, modelos e teorias, fenômenos e processos; mas deve também incorporar um tratamento articulado desses elementos entre si e com outras áreas disciplinares, bem como com aspectos históricos, tecnológicos, sociais, econômicos e ambientais, de modo a propiciar as aprendizagens significativas necessárias aos alunos, e, assim, contribuir para que o ensino médio efetive sua função como etapa final da formação educacional básica de todo e qualquer cidadão (BRASIL, 2012, p. 8).

Neste trabalho, optou-se por elaborar um material didático sobre *visão humana*, adotando conceitos de ondas eletromagnéticas associados aos fatores biológicos e químicos que atuam nesse mecanismo.

Para compreensão do recorte temático, faz-se necessário discutir a crise no Ensino de Ciências e a tentativa do Estado do Rio de Janeiro em indicar caminhos para a atenuação da mesma.

Assim, a proposta do Currículo Mínimo Estadual surge como uma alternativa para as escolas em relação ao planejamento, tendo como finalidade direcionar conteúdos tidos como importantes no processo de ensino e de aprendizagem em cada disciplina.

Outra perspectiva é a reaproximação entre Ensino e História e Filosofia da Ciência, sugerida por Matthews (1995). Ele aponta que esta aproximação tornaria o ensino mais humanizado e o aproximaria dos interesses pessoais, éticos e culturais dos alunos (MATTHEWS, 1995, p. 165). Tais aportes teóricos também podem ser observados no currículo mínimo de 2012, proposto pelo Estado do Rio de Janeiro, como no fragmento: “elaborou-se um currículo que contemple tanto temas de Física Moderna e Contemporânea quanto uma abordagem histórico-filosófica” (RIO DE JANEIRO, 2012, p. 3). No entanto, como ressalta Matthews, essa tentativa de reaproximação e atenuação da crise somente se dará de forma efetiva se também ocorrer mudança do ensino rígido e fechado dos cursos de formação de professores para a compreensão de uma ciência mais contextualizada (MATTHEWS, 1995, p. 169).

Diante das constantes modificações que a nova sociedade da informação vivencia, novos sujeitos são formados e surge, então, a questão do como ensinar (LEMOS, 2006, p. 25). Partindo-se desses questionamentos é que se tem como alternativa, por exemplo, a aprendizagem significativa proposta por David Ausubel, que propõe que se construa o conhecimento numa relação não arbitrária. A aprendizagem significativa serve como âncora para as novas responsabilidades e situações que surgem para o sujeito. É nesse contexto que cabe ao professor diagnosticar os conhecimentos prévios dos seus alunos para elaborar um material que lhes sirva de referencial e dar novos significados aos conhecimentos que eles já trazem consigo, sejam inatos ou adquiridos. E ao aluno cabe captar e negociar os novos significados (LEMOS, 2006, p. 33).

A abordagem com ênfase experimental também pode ser evocada como uma possibilidade didática a ser explorada no ensino de Física. Este deixaria de ser apenas teórico para se tornar teórico-experimental. O processo de ensino se desenvolve, muitas vezes, ignorando-se a atividade experimental, constituinte da formação e desenvolvimento da Física, ou, apesar de levá-la em consideração, o faz de forma mecanicista, como mera constatação da teoria (PEREZ; GONZÁLEZ, 1992, p. 47-60), o que acontece muito frequentemente nos laboratórios de Física dos colégios de Ensino Médio. Segundo Silva e Zanon (2000, p. 121), uns pensam ser possível comprovar a teoria através do laboratório e outros pensam que através de experimentos em laboratórios didáticos o aluno consiga chegar à teoria. Tais posturas remetem a uma visão de ciência

objetiva e de cientista como uma pessoa neutra, o que favorece a preservação de modelos de ensino centrados na transmissão-recepção.

Diante do que foi dito, a presente investigação possui a seguinte questão de pesquisa: **o que se pode apreender, com relação ao ensino, diante de uma proposta didática diferenciada sobre Ondas Eletromagnéticas, na perspectiva do Currículo Mínimo de Física do Estado do Rio de Janeiro, mediante avaliação de professores de Física?**

Destaca-se que não basta seguir o Currículo Mínimo estabelecido pelo Estado do Rio de Janeiro. É importante que o docente desenvolva os conteúdos de maneira agradável ao aluno, dispondo de materiais didáticos que incentivem a curiosidade pelo saber científico, proporcionando ao sujeito da aprendizagem uma capacidade efetiva de aprender os conceitos e suas aplicações em seu dia a dia. Daí a motivação para a produção de um material didático diferenciado, com teor construtivista, proporcionando ao discente a tecelagem do saber de forma lúdica, agradável e significativa, formando-o como sujeito participativo e crítico em relação à ciência e à sociedade.

Assim, a proposta desta pesquisa é a elaboração de textos com viés histórico e atividades com material experimental sobre Ondas Eletromagnéticas, visando o mecanismo da visão humana, que vão dar suporte aos professores de Física da 3ª série do Ensino Médio nas escolas estaduais fluminenses. A intenção é uma abordagem de conceitos com base em sua história, estimulando a observação e a confrontação experimental dos mesmos pelos alunos, que se tornariam cada vez mais críticos diante de uma informação dita equivocadamente como verdadeira e única. Considerando ainda, os conhecimentos prévios do discente, acredita-se que a atividade proporciona a construção do conhecimento de forma ativa e significativa.

O material didático produzido foi exposto à avaliação de professores de Física de escolas públicas estaduais localizadas na cidade de Campos dos Goytacazes-RJ por meio de entrevista semiestruturada. Além de ser aplicado pela autora deste trabalho numa turma de 3º ano do ensino médio no 3º bimestre letivo de 2017 do IFF, Campos *campus* centro.

O capítulo 2 deste trabalho aborda os saberes docentes; os modelos didáticos de intervenção em Ensino de Ciências propostos por Pozo e Gómez Crespo (2009); os modelos didáticos de professores de Ciências abordados principalmente por Santos Júnior e Marcondes (2010) e Garcia Pérez (2000); aborda, também, a utilização didática da História da Ciência e o uso de experimentos, o conteúdo da física sobre luz relacionando-a com a visão e a proposta curricular do RJ.

No terceiro capítulo apresentam-se as metodologias de ensino e de pesquisa, através da discussão sobre o papel do livro didático com a análise de alguns livros de física, enfocando a não contemplação satisfatória por parte dos mesmos em relação ao conteúdo de física em destaque na dissertação. Além disso, são abordados os métodos e procedimentos relacionados à pesquisa. São postos em relevo a elaboração do material didático e a construção de um roteiro de entrevistas aplicado aos docentes.

A descrição do produto educacional é efetivada no capítulo quatro com a apresentação da sequência didática.

Em seguida, é apresentada no capítulo 5 a descrição da aplicação do material didático, fruto desta pesquisa, com algumas observações e reflexões realizadas pela autora deste trabalho.

No capítulo 6, são realizadas análises das entrevistas aos professores, de acordo com o sujeito, as questões e de forma a dialogar com os referenciais teóricos.

O capítulo 7 representa as considerações finais da autora desta pesquisa no tocante ao que foi apreendido durante a análise de dados. É realizada, ainda, sugestões para que haja continuidade e melhoria em pesquisas futuras sobre o tema.

Em seguimento, há o levantamento das referências bibliográficas utilizadas na dissertação e apresentados os apêndices.

## **2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

Neste capítulo serão abordados os pressupostos teóricos que servem de apoio para a interpretação dos dados da pesquisa.

Os tópicos foram subdivididos de maneira a contemplar a epistemologia docente, os enfoques didáticos para o Ensino de Ciências, os modelos didáticos dos professores, a história e experimentação como estratégias didáticas, a interdisciplinaridade, o currículo mínimo e o tema da física abordado no produto educacional.

### **2.1 O ENSINO DE CIÊNCIAS**

Esta pesquisa tem como base as investigações em Educação com foco no professor. Por esta razão, faz-se necessária a compreensão dos saberes docentes, seus modelos didáticos e enfoques que estão presentes em sua prática educativa.

#### **2.1.1 Epistemologia da docência**

Numa perspectiva tradicional, há uma banalização do papel do professor. Este é detentor do saber e teria a função de transmitir o conhecimento. Segundo Tardif (2014, p. 31), seu papel é definir a sua prática em relação aos saberes que possuem e transmitem.

Para melhor compreensão do papel do professor, faz-se necessário um esboço da problemática do saber docente, que pode ser desmembrada em três aspectos, a serem explorados nos próximos parágrafos: um saber plural, um saber estratégico e um saber desvalorizado (TARDIF, 2014, p. 33).

O saber docente é constituído de vários saberes oriundos de fontes diversas. Saberes como os disciplinares, curriculares, profissionais e experienciais (Ibid.).

O conjunto de saberes de que dispõem uma sociedade são os saberes sociais. Com base nesses saberes, a educação, através do conjunto de processos de formação e de aprendizados elaborados socialmente, instrui os membros da sociedade.

Os processos de produção dos saberes sociais e os processos sociais de formação podem ser considerados “dois fenômenos complementares no âmbito da cultura moderna e contemporânea” (TARDIF, 2014, p. 34).

A aprendizagem, por sua vez, está subordinada à produção de novos conhecimentos. No âmbito de tais conhecimentos, a aquisição da dimensão formadora de

saberes proporciona uma transformação positiva das formas de pensar, de agir e de ser. Questiona-se, então, se os educadores e pesquisadores e o corpo docente e a comunidade científica são grupos distintos. Para responder essa questão, é necessário a retirada da transmissão e produção de saberes do círculo limitado de problemas e questões científicas pertinentes e tecnicamente solucionáveis (Ibid., p. 34-35).

A evolução das universidades evidenciou uma crescente separação das missões de pesquisa e ensino. Segundo Tardif, todo saber

[...] implica em um processo de aprendizagem e de formação; e, quanto mais desenvolvido, formalizado e sistematizado é um saber, como acontece com as ciências e os saberes contemporâneos, mais longo e complexo se torna o processo de aprendizagem, o qual, por sua vez, exige uma formalização e uma sistematização adequadas (TARDIF, 2014, p. 35).

O novo pode surgir do antigo e, por sua vez, é reatualizado constantemente por processos de aprendizagem.

Assim, a função social do corpo docente é tão importante quanto a da comunidade científica e dos grupos produtores de saberes. Ela não se reduz à transmissão dos conhecimentos já constituídos. O saber docente é “um saber plural, formado pela amálgama mais ou menos coerente de saberes oriundos da formação profissional e de saberes disciplinares, curriculares e experienciais” (TARDIF, 2014, p. 36).

Os saberes profissionais são denominados por Tardif (2014, p. 36) para designar “o conjunto de saberes transmitidos pelas instituições de formação de professores”. Consiste nos conhecimentos que foram incorporados na prática docente. Esta, por sua vez, mobiliza os saberes pedagógicos.

Os saberes pedagógicos “apresentam-se como doutrinas ou concepções provenientes de reflexões sobre a prática educativa” (Ibid., p. 37). Eles são articulados com as ciências da educação.

Os saberes sociais incorporados pelo saber docente e definidos pela instituição universitária são chamados por saberes disciplinares. São integrados através da formação inicial e contínua dos professores nos cursos ofertados pelas universidades (Ibid., p. 38).

Todos os discursos, objetivos, métodos e conteúdos que categorizam os saberes sociais, pela universidade definidos e selecionados, correspondem aos saberes curriculares. Eles são apresentados como programas escolares que os professores devem aprender a aplicar.

Já os saberes experienciais, conforme Tardif (2014, p. 39), correspondem aos saberes específicos desenvolvidos pelos professores ao longo de sua prática docente, partindo da experiência. Todos esses saberes constituem a prática docente. O professor deve dominar, unificar e mobilizar esses saberes enquanto condições para a sua prática.

Tardif (2014, p. 39) designa como professor ideal “alguém que deve conhecer a sua matéria, sua disciplina, seu programa, além de possuir certos conhecimentos relativos às ciências da educação e à pedagogia e desenvolver um saber prático baseado em sua experiência cotidiana com os alunos”.

Os professores ocupam uma posição estratégica mais socialmente desvalorizada entre os diferentes grupos que atuam no campo dos saberes. As universidades assumem a função de produzir e legitimar os saberes científicos e pedagógicos. Compete ao professor apropriar-se dos saberes ao longo de sua formação profissional e usá-los em suas experiências em sala de aula.

No quadro abaixo, apresentam-se os saberes dos professores que são utilizados em sala de aula:

**QUADRO 1 - Saberes dos professores, fontes sociais e modos de integração.**

<b>Saberes dos professores</b>	<b>Fontes sociais de aquisição</b>	<b>Modos de integração no trabalho docente</b>
Saberes pessoais dos professores	A família, o ambiente de vida, a educação no sentido lato, etc.	Pela história de vida e pela socialização primária
Saberes provenientes da formação escolar anterior	A escola primária e secundária, os estudos pós-secundários não especializados, etc.	Pela formação e pela socialização pré-profissionais
Saberes provenientes da formação profissional para o magistério	Os estabelecimentos de formação de professores, os estágios, os cursos de reciclagem, etc.	Pela formação e pela socialização profissionais nas instituições de formação de professores
Saberes provenientes dos programas e livros didáticos usados no trabalho	A utilização das “ferramentas” dos professores: programas,	Pela utilização das “ferramentas” de trabalho, sua adaptação às tarefas

	livros didáticos, cadernos de exercícios, fichas, etc.	
Saberes provenientes de sua própria experiência na profissão, na sala de aula e na escola	A prática do ofício na escola e na sala de aula, a experiência dos pares, etc.	Pela prática do trabalho e pela socialização profissional

Fonte: TARDIF (2014, p. 63).

Numa outra perspectiva de categorização, Gauthier (1998) classifica os saberes docentes conforme a tipologia abaixo:

- a) Disciplinar –referente ao que será ensinado;
- b) Curricular –transforma a componente curricular em programa de ensino;
- c) Ciências da educação – relaciona-se ao saber profissional de forma específica que não está diretamente relacionado com a ação pedagógica;
- d) Tradição pedagógica- relativo à didática docente que, de acordo com a experiência, será adaptado e remodelado, podendo ser validado pelo saber da ação pedagógica;
- e) Experiência - referente aos julgamentos particulares elaborados a partir da prática docente.
- f) Ação pedagógica – referente ao saber experimental após a prática docente, ou seja, na sua explicitação e comprovação.

O professor que possui uma gama de conhecimentos passa a ser visto como um profissional que, diante de uma situação complexa, aplica seus saberes para resolvê-la, de acordo com a sua interpretação e identidade.

Apesar de ocuparem uma posição estratégica importante no processo de formação-produção dos saberes sociais, há uma grande desvalorização do corpo docente em relação aos saberes que possui e transmite (TARDIF, 2014, p. 39). Essa desvalorização advém da relação dos professores com os saberes, minimizando-os à função de meros portadores ou transmissores e não de produtores/pesquisadores de um saber, havendo uma alienação entre eles (Ibid., p. 40).

Resumindo, “pode-se dizer que as diferentes articulações identificadas anteriormente entre a prática docente e os saberes constituem mediações e mecanismos que submetem essa prática a saberes que ela não produz nem controla” (Ibid., p. 41).

### 2.1.2 Enfoques didáticos em ensino de ciências

Segundo Pozo e Gómez Crespo (2009, p. 245), os enfoques ou estratégias para o Ensino de Ciências têm sido alvo de estudos sistemáticos, o que permitiu uma proposta de categorização feita por eles, e subdividida em seis grandes linhas.

Tais enfoques são analisados principalmente por Pozo e Gómez Crespo de acordo com seus pressupostos epistemológicos e metas, os critérios para seleção dos conteúdos, as atividades de ensino e avaliação e as possíveis dificuldades encontradas pelos alunos e professores.

O primeiro enfoque é denominado “ensino tradicional” da ciência, que é tido como um “enfoque dirigido” (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 247) devido ao seu principal elemento caracterizador, ou seja, o caráter de transmissão de conhecimento. Tem como pressuposto epistemológico a lógica de que a mente do aluno está formatada para receber o conhecimento científico e a meta é colocar seus produtos na mente dos alunos (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 247-248). Dessa forma, a mente do aluno é como uma “tábua rasa” em que toda a informação que gera o conhecimento é transmitida sem levar em consideração que a aprendizagem de conceitos se dá de maneira diferenciada.

O saber é tido como absoluto e verdadeiro; logo, conhecer a natureza é “aprender o que os cientistas sabem sobre a natureza” (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 248) de maneira o mais fiel possível. Nessa perspectiva, os critérios de seleção e organização dos conteúdos estão baseados no próprio conhecimento disciplinar, ou seja, os conteúdos mais relevantes e imprescindíveis da ciência (POZO; GÓMEZ CRESPO 2009, p. 248) sem nenhuma relação com o cotidiano e a realidade social dos alunos (LIBÂNEO, 1995, p. 22) expressando-se sob a forma de nomes, conceitos, princípios e teoremas (ZABALLA, 1998).

O papel do professor é ser o “porta-voz e sua função é apresentar aos alunos os produtos do conhecimento científico” (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 250) da forma mais fiel possível. As atividades de ensino e avaliação implicam em copiar e repetir os relatos dos professores e reproduzi-los nas avaliações, que tem como principal função a de seleção.

No entanto, este enfoque encontra como barreira a pouca funcionalidade no contexto atual, visto que nesse processo os alunos são apenas receptores passivos. Ocorre

que na atualidade a sociedade exige indivíduos mais ativos e críticos. Outra dificuldade é o fato dos alunos se tornarem desmotivados ao aprendizado.

Na tentativa de superar tal enfoque, foi desenvolvido um enfoque de ensino que pode ser denominado “por descoberta”, em que se concorda “que a melhor maneira para os alunos aprenderem ciência é fazendo ciência” (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 252), ou seja, o papel do aluno assemelha-se ao trabalho de um cientista. Parte do pressuposto que, se o aluno seguir de forma rigorosa o método científico, encontrará os mesmos resultados dos cientistas (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 253). O professor tem o papel de elaborar atividades e experiências que conduzam seus alunos à descoberta.

Os critérios para seleção dos conteúdos continuam sendo os mesmos do enfoque tradicional, só que organizados em torno das situações problemas, “em torno de perguntas mais do que de respostas” (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 253). Trata-se de transformar os alunos em agentes ativos no processo educativo aproximando-os do objeto de estudo.

As atividades de ensino assemelham-se às próprias atividades de investigação e o professor deve criar tarefas que apresentem um fato e propiciem que seus alunos interpretem e reflitam sobre os dados obtidos (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 254). A avaliação não só leva em conta o conhecimento conceitual alcançado, mas também a forma como se alcançou (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 255).

Contudo, como afirmam Pozo e Gómez Crespo (2009, p. 255), “é frequente que isto não ocorra” devido à discordância que há entre a mente dos alunos e a mente dos cientistas. É destacado também que a ciência não segue, na maioria das vezes, esse indutivismo ingênuo. Outra dificuldade também apontada é com relação ao papel dos professores, pois estes têm pouca ou nenhuma atuação no processo de aprendizagem (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 255-257).

Frente ao modelo apresentado anteriormente, desenvolveu-se um enfoque denominado por Pozo e Gómez Crespo (2009, p. 258) de “ensino expositivo”, baseado na teoria de David Ausubel sobre aprendizagem significativa. Logo, este enfoque tem uma concepção construtivista e reforça que “não é necessário recorrer tanto à descoberta, senão melhorar a eficácia das exposições” (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 258). É necessário não só considerar a lógica dos conteúdos, mas também a lógica dos alunos (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 258).

Parte do pressuposto da importância das concepções prévias (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 258), sendo este o fator mais relevante no processo de aprendizagem.

O critério para selecionar e organizar os conteúdos parte do “princípio de diferenciação progressiva” (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 258), ou seja, do conceito geral para o específico.

Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1978, p. 158 apud POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 260), as atividades de ensino e avaliação devem estabelecer relações entre a nova informação e as concepções prévias por meio de um organizador prévio, resultante da interação não-arbitrária e não-literal (MOREIRA, 2011, p.8), pois este tem a função de criar uma ligação entre aquilo que o aluno já sabe e a nova informação. Esta organização deve estar sempre explícita ao professor.

A avaliação deve estar centralizada no conhecimento conceitual; as atividades estão dirigidas de modo a avaliar a capacidade do aluno de fazer relações entre os conceitos. Um meio de explicitar essas relações por parte dos alunos é através de mapas conceituais (POZO; GOMES CRESPO, 2009, p. 260-261).

Um das primeiras dificuldades desse enfoque é que apenas seria eficaz a partir da adolescência, pois os jovens já teriam passado, hipoteticamente, por algumas experiências, o que os levaria a ter algumas concepções prévias mais elaboradas (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 259). Também demonstra ser deficiente na reestruturação das concepções dos alunos, reestruturação que não ocorre de forma tão imediata como desejaria tal enfoque (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 263).

A partir da análise feita das dificuldades do enfoque anterior, Pozo e Gómez Crespo (2009, p. 264) sugerem uma nova categoria interpretativa para o ensino denominado “por conflito cognitivo”, que se baseia na ideia de que o aprendizado parte de uma construção pessoal fruto de sucessivos conflitos cognitivos. Nesse enfoque, o objetivo principal é fazer com que o aluno entre em conflito por meio de situações problemas e, ao perceber que suas hipóteses são limitadas, ou seja, não respondem de modo satisfatório aos problemas encontrados, então começará a aceitar modelos mais eficazes do ponto de vista da ciência (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 264).

Os critérios de organização e seleção dos conteúdos são feitos de maneira similar ao enfoque tradicional e ao expositivo, mudando a forma como é interpretada e desenvolvida, pois leva a uma mudança conceitual (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 265).

As atividades de ensino e avaliação têm por objetivo elaborar sequências com o fim de conduzir ou guiar as respostas mediante o conflito. O que requer certo cuidado

para não levar ao acúmulo de conflitos na mente do aluno (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 265).

No entanto, estudos demonstram que as concepções prévias dos alunos persistem mesmo após o conflito cognitivo, pois “essas ideias reflorescem imediatamente assim que a tarefa é apresentada em um contexto menos acadêmico” (POZO; GÓMEZ CRESPO; SANZ, 1999 apud POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 269).

Outro enfoque sugerido é o “ensino por meio da pesquisa dirigida” o qual se baseia não só na mudança conceitual, mas também em uma mudança de procedimentos e atitudes que desencadeia situações argumentativas, um dos elementos essenciais do processo ensino-aprendizagem (BELLUCCO; CARVALHO, 2014, p. 33). Adota que o conhecimento é uma construção social e o ensino se organizará em torno da resolução de problemas (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 270).

O currículo é organizado ao redor das estruturas conceituais da ciência e a história e filosofia da ciência teriam um papel muito importante, pois se assume que o “aprendizado desses conteúdos pelos alunos deve ser isomórfico<sup>1</sup> ao processo de construção científica” (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 271) superando a visão empirista e reducionista da ciência experimental (GIL PÉREZ, 1983, p. 28).

Este enfoque tem algumas semelhanças com o enfoque “por descobrimento”, sendo que neste é introduzido o caráter social no processo de resolução de problemas. As atividades de ensino deverão dirigir os processos de investigação e a avaliação é mais um instrumento a serviço da aprendizagem do que critério de seleção (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 272).

A principal dificuldade encontra-se no despreparo por parte dos professores em dirigir as atividades, pois têm que se antecipar aos momentos de construção do conhecimento. Outra dificuldade é que a lógica dos cientistas não é a mesma dos alunos, o que leva à confusão dos processos de investigação com os métodos de ensino e aprendizagem de procedimentos (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 273-274).

Frente às dificuldades encontradas nos últimos enfoques, é que se desenvolveu o enfoque do ensino “por explicação e contraste de modelos”, que possui caráter construtivista e tem como função principal fazer com que o aluno reconstrua o conhecimento por meio dos métodos e conceitos formulados pela ciência com a ajuda

---

<sup>1</sup> Assume-se aqui que o aluno deve ser inserido num contexto igual ao de um cientista, ou seja, o trabalho em sala de aula deve seguir da mesma forma que a de um cientista.

pedagógica do professor, “que deve, mediante explicações tornar compreensíveis e contrastáveis esses conhecimentos” (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 275).

Preza-se que o aluno conheça as diversas alternativas de explicação dos modelos para que compreenda melhor os fenômenos da natureza, pois assim este poderá interrogar e reescrever seu próprio modelo.

O critério para organização e seleção dos conteúdos parte de modelos, por ser a forma com que se representa o conhecimento científico. Assim, são aprofundados e enriquecidos os modelos elaborados pelos alunos, que vão agregando mais informações.

As atividades de ensino se centralizam nas discussões que despertem nos alunos as indagações e curiosidades, a fim de encontrar respostas. Cabe ao professor criar indagações, contrapropostas e promover o diálogo. As avaliações terão o intuito de promover no aluno a capacidade de explicar e argumentar seus modelos (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 279).

Encontra-se nesse modelo dificuldades semelhantes ao enfoque por pesquisa dirigida, mas destaca-se o fato de que os alunos podem imergir em certo relativismo, pois pensariam que qualquer modelo pode ser válido em qualquer contexto explicativo (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 280).

No Quadro 2 apresenta-se um resumo dos enfoques abordados anteriormente com suas análises.

**QUADRO 2 - Enfoques para o ensino de ciências**

<b>Enfoque</b>	<b>Pressupostos metodológicos e metas</b>	<b>Seleção e organização dos conteúdos</b>	<b>Atividade de ensino e avaliação</b>	<b>Dificuldades previsíveis da aprendizagem e ensino</b>
Tradicional	Transmissão do conhecimento	Conhecimento disciplinar estático	Repetição e cópia	Pouco funcional no contexto atual
Descoberta	Descobre o conhecimento; papel semelhante ao de um cientista	Conhecimento disciplinar que gira em torno das perguntas	Projeção de cenário propício à descoberta	Incompatibilidade entre o raciocínio científico com o raciocínio cotidiano
Expositivo	Aprendizagem significativa de Ausubel; concepções prévias	Segue do geral para o específico	Promover relações entre conceitos explicitamente	Necessita que o aluno domine o vocabulário científico

Conflito cognitivo	Situação problema; gerar conflito na mente dos alunos	Núcleos conceituais	Mudança nos conceitos prévios	Concepções prévias persistem após o conflito cognitivo
Pesquisa dirigida	Construção social do conhecimento	Em torno das estruturas conceituais	Resolução de problemas	Alto nível de exigência para os professores; diferença entre o contexto social do cientista e o dos alunos
Explicação e contraste de modelos	Integração hierárquica do conhecimento	Modelos	Discussão em sala de aula	Induz os alunos ao relativismo

Fonte: elaboração própria.

### 2.1.3 Modelos didáticos dos professores em ciências

O fazer pedagógico dos professores, como a transmissão verbal dos conteúdos, a metodologia utilizada, as relações estabelecidas entre professor-aluno, suas crenças, concepções, a intencionalidade em ensinar, valores de ensino, entre outros, explícitos ou não, são o que se configura por modelo didático do professor (GUIMARÃES; ECHEVERRÍA; MORAES, 2006, p. 305).

O conceito de modelo didático pode ser usado como ferramenta de análise e intervenção da realidade educativa, possibilitando uma articulação entre o saber teórico e o prático, como mostra García Pérez:

A ideia de modelo didático permite abordar (de maneira simplificada, como qualquer modelo) a complexidade da realidade escolar, ao mesmo tempo em que ajuda a propor procedimentos de intervenção na mesma e a fundamentar, portanto, linhas de investigação educativa e de formação dos professores (GARCÍA PÉREZ, 2000, s. p. apud GUIMARÃES; ECHEVERRÍA; MORAES, 2006, p. 305).

Entre os vários estudos que analisaram as práticas pedagógicas dos professores, destacam-se aqui os que descreveram quatro tipos de seus modelos didáticos dos professores: tradicional, tecnológico, espontaneísta-ativista e investigativo (GARCÍA PÉREZ, 2000, s. p.).

O modelo didático tradicional tem como pressuposto a transmissão verbal dos conteúdos com a finalidade de formar o indivíduo na cultura científica. Há uma

supervalorização nos conteúdos, que é transmitida de maneira enciclopédica e fragmentada (GUIMARÃES; ECHEVERRÍA; MORAES, 2006, p. 305). O papel do aluno nesse processo é passivo, cabendo-lhe reproduzir fielmente o conteúdo transmitido e acatar de forma acrítica as normas estabelecidas. Ao professor cabe dominar os conteúdos, transmiti-los de forma clara e sequencial e deter o domínio da turma. A avaliação é uma medida de aprendizagem mecânica (HARRES, 1999, p. 204), focando a memorização.

O modelo didático tecnológico surge na intenção de superar o modelo tradicional (GARCÍA PÉREZ, 2000, s. p.). Busca-se a modernização do ensino devido aos novos contextos econômicos trazidos pelo “desenvolvimento técnico-científico” (GUIMARÃES; ECHEVERRÍA; MORAES, 2006, p. 305). Incorporam-se conteúdos relacionados a questões ambientais e sociais por serem tidos como modernos. São propostos currículos bem delimitados e técnicos, com ênfase na eficácia. São consideradas as concepções dos alunos, mas somente com a intenção de substituí-los pelos saberes científicos. O papel do aluno é de realizar as atividades planejadas pelo professor. Ao professor cabe estabelecer metas e objetivos e a avaliação é de caráter quantitativo, sendo que há uma preocupação com o produto e o processo (GUIMARÃES; ECHEVERRÍA; MORAES, 2006, p. 306).

O modelo didático espontaneísta-ativista surge na tentativa de romper com o modelo tradicional, porque o aluno é o centro do processo educativo e são valorizados “o desenvolvimento de habilidades e competências” (SANTOS JUNIOR; MARCONDES, 2010, p. 103). O papel do aluno é de definir os conteúdos a partir de seus interesses e que são explorados a partir de sua realidade. Há a desvalorização dos conteúdos científicos, pois se considera como mais importante que o aluno aprenda a observar e buscar informações para construir sua aprendizagem. Cabe ao professor o papel de “líder afetivo e social” (GUIMARÃES; ECHEVERRÍA; MORAES, 2006, p. 306) e propor atividades abertas e flexíveis. A avaliação é feita a partir da observação e análise das atividades feitas pelos alunos, sendo valorizadas suas habilidades e suas atitudes. García Pérez, no entanto, ao analisar esse modelo enfatiza que

O ponto débil deste modelo é seu caráter idealista, pois não se leva em conta que o desenvolvimento do homem, tanto individual e coletivamente, está condicionado pela cultura; parece ignorar, assim, que vivemos em uma sociedade de classes e, portanto, desigual, econômica e culturalmente, pelo que, abandonar o desenvolvimento da criança a um suposto crescimento espontâneo é “favorecer a reprodução

das diferenças e desigualdades de origem” (PÉREZ GÓMEZ, 1992c apud GÁRCIA PÉREZ, 2000, s. p.).

O modelo didático investigativo, por sua vez, baseia-se na participação do aluno no processo de construção de seus próprios conhecimentos, como um investigador com uma visão mais crítica da realidade, para que este possa ter uma participação responsável na sociedade. Há valorização dos conhecimentos disciplinares, mas também são considerados os conhecimentos do cotidiano, a questão ambiental e a social. O conhecimento é visto de forma integrada e levam-se em conta os interesses do aluno, que tem papel ativo; ao professor cabe o desenvolvimento de atividades investigativas (GUIMARÃES; ECHEVERRÍA; MORAES, 2006, p. 306).

#### **2.1.4 O currículo mínimo de física**

Em 2012 o Estado do Rio de Janeiro lançou um novo documento norteador para o ensino básico, o Currículo Mínimo. Este documento serve de referência para todas as escolas estaduais e “sua finalidade é orientar, de forma clara e objetiva, os itens que não podem faltar no processo ensino-aprendizagem, em cada disciplina, ano de escolaridade e bimestre” (RIO DE JANEIRO, 2012, p. 2) e tem também como objetivo, de acordo com a Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro (SEEDUC-RJ):

Garantir uma essência básica comum a todos e que esteja alinhada com as atuais necessidades de ensino, identificadas não apenas nas legislações vigentes, Diretrizes e Parâmetros Curriculares Nacionais, mas também nas matrizes de referência dos principais exames nacionais e estaduais. Consideram-se também as compreensões e tendências atuais das teorias científicas de cada área de conhecimento e da Educação e, principalmente, as condições e necessidades reais encontradas pelos professores no exercício diário de suas funções (RIO DE JANEIRO, 2012, p. 2).

O Currículo Mínimo surge na tentativa de atenuar algumas das dificuldades da Educação Básica, por meio de práticas que busquem por um ensino mais interdisciplinar e contextualizado à realidade vivenciada pelos alunos.

O currículo foi elaborado com base na lei 9394/96, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), e nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), para que dessa forma, em teoria, o aluno termine o Ensino Médio preparado para o mundo contemporâneo e principalmente para o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e

também para o Sistema de Avaliação da Educação do Estado do Rio de Janeiro, o SAERJ (BENDIA FILHO; RIBEIRO, 2014, p. 38-39).

Para melhor entender as mudanças trazidas pelo novo documento, faz-se necessário conhecer brevemente o que norteava o ensino de Física antes de 2012.

Antes da realização desse documento, a prática educativa do professor era norteadada, segundo Chiquetto (2011, p. 4), por um currículo de 80 anos atrás e o Ensino Médio era apenas uma fase propedêutica. A maior preocupação era preparar o aluno para o vestibular por meio de um ensino priorizado pelas fórmulas e símbolos. Os livros didáticos e a formação dos professores também contribuíram para a propagação dessa tendência curricular no ensino.

O Estado do Rio de Janeiro, em particular, seguia as orientações das Reorientações Curriculares, elaboradas em 2004 e reformuladas em 2006 (BENDIA FILHO; ROBEIRO, 2014, p. 34). Este documento “propunha nortear o processo de elaboração e construção do planejamento pedagógico e do currículo das escolas” (RIO DE JANEIRO, 2006, p. 15).

Antes desse documento, o último datava de 1994, antes ainda da formulação da LDB de 1996 (BENDIA FILHO; RIBEIRO, 2014, p. 35). Com a criação da LDB, houve a necessidade de formular um novo documento que contivesse as “novas ideias advindas dessa nova lei e que pudesse atender as necessidades do ensino básico estadual” (BENDIA FILHO; RIBEIRO, 2014, p. 35)

Desde 2002, o governo federal vem sugerindo orientações para o ensino. Vemos nas Orientações Curriculares Nacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) a perspectiva de construir uma nova visão da Física, mais voltada para as novas tecnologias:

A Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. Isso implica, também, a introdução à linguagem própria da Física, que faz uso de conceitos e terminologia bem definidos, além de suas formas de expressão que envolvem, muitas vezes, tabelas, gráficos ou relações matemáticas. Ao mesmo tempo, a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas sendo impulsionado. (BRASIL, 2002, p. 59).

Seguindo as orientações do PCN, do ENEM e do SAERJ, em 2010 o governo do Rio de Janeiro reelabora as Reorientações Curriculares, formulando assim uma nova proposta que visa as competências e habilidades necessárias que o aluno deve ter ao final do ano letivo (BENDIA FILHO; RIBEIRO, 2014, p. 36).

No entanto, apesar dessas propostas, continuavam-se ensinando os tópicos clássicos da Física, como Mecânica, Física Térmica, Ótica e Eletromagnetismo, de tal forma que os objetivos traçados no PCNEM não eram contemplados. A Física apresentada não estava em consonância em relação aos avanços científicos e tecnológicos (BENDIA FILHO; RIBEIRO, 2014, p. 32). Segundo Carvalho e Vannucchi (1996, p. 7) “vivemos hoje num mundo altamente tecnológico e o nosso ensino ainda está em Galileu, Newton, Ohm, não chega nem no século XX” (apud AZEVEDO, 2008, p. 20).

Nesse contexto, observa-se que o novo Currículo Mínimo tem como forte objetivo aproximar o ensino dado nas salas com as propostas feitas pelo governo e as demandas sociais da atualidade. Vemos essa preocupação quando a pergunta que norteou a elaboração deste documento é feita: “Por que estudar Física no Ensino Médio?” (RIO DE JANEIRO, 2012, p. 2). Tal mudança é vista principalmente pela inserção da Física Moderna e Contemporânea já na 1ª série do Ensino Médio e sendo discutida ao longo dos dois anos seguintes.

Consideram-se, para esse novo currículo, os conteúdos importantes para a compreensão do cotidiano e da sociedade em que estamos inseridos e isso “significa propor um ensino de Física que lhes permita entender como esta ajudou a construir o mundo em que vivemos” (RIO DE JANEIRO, 2012, p. 2), permitindo, inclusive, uma abordagem histórico-filosófica da ciência.

Outra mudança vista foi com relação aos tópicos da Física, como Mecânica, Termodinâmica, Física Ondulatória e Eletromagnetismo, que agora partem de propostas mais concretas como, por exemplo, a Física Ondulatória que é apresentada a partir do olho humano como receptor de ondas eletromagnéticas (RIO DE JANEIRO, 2012, p. 2). Buscando dessa forma um ensino voltado para o cotidiano e como afirma o documento: “isso dará maior significado ao estudo de cada um desses temas e poderemos tirar deles os conceitos que nos interessam” (RIO DE JANEIRO, 2012, p. 2).

Tópicos como Cinemática, Termometria e Óptica Geométrica não foram considerados como fundamentais, ou mínimos para o entendimento da natureza e do mundo, sendo então considerados como opcionais pelo professor.

Como qualquer mudança, essa pode levar a certo desconforto ou até mesmo rejeição por parte da comunidade escolar envolvida. Siqueira destaca que “a preparação insuficiente dos conteúdos da matéria a ser ensinada; o tempo; a falta de formação específica para a nova proposta; a baixa valorização do magistério e a falta de material adequado” (2012, p. 18 apud BENDIA FILHO; RIBEIRO, 2014, p. 34) podem levar ao insucesso da inovação curricular.

Siqueira também mostra que “os professores tendem a não arriscar uma mudança na sua prática” (2012, p. 33 apud BENDIA FILHO; RIBEIRO, p. 34), pois por muitas vezes sua prática está relacionada com suas experiências em sala de aula.

Outra dificuldade abordada por Bendia Filho e Ribeiro está na falta de preparo específico por parte dos professores em abordar os temas proposto pelo Currículo Mínimo, pois é comum no Estado do Rio que professores com outra formação, como Matemática e Química, por exemplo, ministrem aulas de Física para o Ensino Médio (BENDIA FILHO; RIBEIRO, p. 44).

Os professores apontam como dificuldade para adotar o novo Currículo Mínimo o material didático que, muitas vezes, não segue a nova proposta, não faz a abordagem do tema ou não é adequado (BENDIA FILHO; RIBEIRO, 2014, p. 43-44). Ao ser questionado sobre as dificuldades que está encontrando no Currículo Mínimo, um professor afirma a problemática “em encontrar os temas atuais nos livros didáticos. É necessário fazer muitas pesquisas para resumir os temas e nós professores não temos tempo hábil para isso” (BENDIA FILHO; RIBEIRO, 2014, p. 44).

## 2.2 TEORIAS DA APRENDIZAGEM

A aprendizagem refere-se a uma construção usada para interpretar sistematicamente uma área do conhecimento (MOREIRA, 1999, p. 12). A investigação de como se dá esse processo ocorre por meio das teorias da aprendizagem. Tais teorias são constituídas de conceitos, princípios e visões de mundo subjacentes a ela.

Conceitos podem ser definidos como “signos que apontam regularidades” (Ibid.). Princípios relacionam significativamente conceitos. Já as filosofias são sistemas de valores que regem uma teoria.

As filosofias subjacentes às teorias da aprendizagem são a comportamentalista, a humanista e a cognitivista (Ibid.). Entretanto, vamos nos ater apenas às teorias cognitivistas.

O cognitivismo é uma visão filosófica que surgiu a partir da esterilidade do behaviorismo como a tentativa de explicar os fenômenos mentais em termos dos sistemas nervosos (OLIVEIRA, 1990, p. 88). Dentre as posturas cognitivistas, destacam-se a teoria construtivista a qual considera o aluno como agente da construção do conhecimento.

Na aprendizagem cognitiva, o conceito está relacionado à aquisição de informações, à construção de novos significados e revisão de modelos mentais (Ibid.).

As teorias cognitivistas priorizam a cognição, em como o aprendiz pensa e processa o conhecimento, ocupando-se com a atribuição de significados, a compreensão, armazenamento e uso da informação envolvida na cognição. As variáveis intervenientes estão entre os estímulos e as respostas: nos processos mentais superiores, como a percepção, resolução de problemas e tomada de decisões.

Ao contrário do que se é divulgado, não existe um método de ensino construtivista, existem teorias construtivistas com suas metodologias de pesquisa embasadas em posturas filosóficas, não implicando somente aprendizagem por descoberta ou mera manipulação (MOREIRA, 2009b, p. 13).

Dentre os principais autores cognitivistas, são postos em destaque: Piaget, Vygotsky, Ausubel, Vergnaud e Novak. Em seguida são apresentadas algumas posturas de alguns desses autores/pensadores.

### **2.2.1 A teoria da equilibração de Piaget**

Piaget é o pioneiro do enfoque construtivista do desenvolvimento cognitivo humano e sua teoria está firmada no progresso das estruturas cognitivas por processos como a assimilação, a acomodação e a equilibração (MOREIRA, 2009b, p. 14).

Para ele, as relações entre aprendizagem e desenvolvimento são codependentes, não bastando repetir comportamentos. Seu foco é o processo de construção e invenção do conhecimento (POZO, 1998, p. 178).

Piaget identificou os quatro períodos gerais de desenvolvimento cognitivo descritos em seguida (MOREIRA, 2009b, p. 14):

- a) **Sensório-motor:** desenvolvimento desde o nascimento até os dois anos de idade em que as ações não são coordenadas e não há diferenciação do corpo da criança com o meio que a rodeia.

- b) Pré-operatório: inicia-se nos dois anos de idade até os sete anos, aproximadamente. Nesse período, há o desenvolvimento da linguagem e de ações mais coordenadas. Entretanto, a criança tem a sua atenção voltada para objetos que a são atraentes.
- c) Operatório-concreto: Ocorre uma descentralização gradual do sujeito, podendo iniciar-se a partir dos sete anos até os aproximadamente aos 11 anos de idade. Há lógica no pensamento de operações reversíveis.
- d) Operatório formal: vai dos 11 anos em diante. Sua principal característica é o raciocínio em conjunto de hipóteses verbais em que o sujeito é capaz de operar construtos mentais e raciocínio matemático.

Este progresso cognitivo é um processo de equilíbrio e a “aprendizagem produzir-se-ia quando ocorresse um desequilíbrio ou um conflito cognitivo” (POZO, 1998, p. 178), através de dois processos complementares: a assimilação e a acomodação.

Sua teoria possui um papel tanto estático quanto dinâmico devido a tendência ao equilíbrio entre os processos de assimilação e da acomodação (Ibid.).

A assimilação consiste num processo “pelo qual o sujeito interpreta a informação que provém do meio, em função de seus esquemas ou estruturas conceituais disponíveis” (Ibid.). Como exemplo, tem-se a categorização conceitual.

Entretanto, só a assimilação não é suficiente para fundar o conhecimento. Pois cada indivíduo assimila o que ocorre na natureza segundo às suas visões de mundo e aos conhecimentos de seus próprios conceitos, o que resultaria em constantes equívocos.

Por essa razão, a acomodação complementa a assimilação. E é definida como “qualquer modificação de um esquema assimilador ou de uma estrutura, modificação causada pelos elementos que assimilam” (PIAGET, 1970, p. 19 apud POZO, 1998, p. 180). Um exemplo de acomodação é a aquisição de novos conceitos pelos adultos a partir da modificação de um conceito prévio.

É importante frisar que a incorporação de um novo conceito pode modificar todo o conhecimento precedente, já que a acomodação produz uma reinterpretação dos conhecimentos anteriores em função de novos esquemas construídos (Ibid.). O mesmo acontece com os conhecimentos novos: “podem consistir em um saber isolado, integrar-se em estruturas de conhecimento já existentes, modificando-as levemente, ou reestruturar por completo os conhecimentos anteriores” (Ibid.).

O vínculo fundamental entre os dois processos é o equilíbrio crescente entre ambos. Portanto, a mudança cognitiva ocorre a partir do desequilíbrio entre a assimilação e a acomodação.

Para superar o desequilíbrio é necessária a tomada de decisão que ocorre a partir da interação “entre o conjunto de esquemas de assimilação e a realidade assimilada” (Ibid., p. 182). Essa interação complexa deve-se às respostas chamadas adaptativas, as quais produzem acomodação e facilitam a superação do conflito entre os esquemas e os objetos e podem ser de três tipos: resposta do tipo alfa, resposta beta e resposta gama.

A resposta alfa está relacionada a não aceitação da resposta, não modificando o sistema de conhecimento. A resposta beta é quando há integração do elemento perturbador à estrutura organizada e a resposta gama provoca mudanças no sistema de conhecimentos, permitindo o acesso aos níveis superiores de equilíbrio (Ibid.).

Com a reestruturação, torna-se viável a tomada de consciência em que o aprendiz compreende o problema, modificando e reconhecendo seu próprio conhecimento a partir dos erros e acertos. Para alcançar a verdadeira reestruturação, “o sujeito deve superar desequilíbrios de diversas naturezas” (Ibid., p. 186), seja empírico ou conceitual.

Pozo faz algumas críticas bem fundamentadas à teoria piagetiana. Como em relação aos problemas teóricos desse modelo de equilíbrio (possibilidade de aprendizagem associativa) e ao fato de a aprendizagem, segundo Piaget, substituir o desenvolvimento (Ibid., p. 185).

Destaca ainda que no estágio das operações concretas, tanto a linguagem quanto os princípios de causalidade são adquiridos pelas crianças independentemente de serem ou não treinadas a isso, o que difere da aquisição do conhecimento científico, que se constitui como não necessário, adquirido de forma intencional por meio da instrução (Ibid., p. 189).

Segundo Pozo, a teoria piagetiana deveria explicar o aparecimento das “estruturas gerais do conhecimento que possuam um caráter necessário ou universal” (Ibid.). Seu problema se dá na compreensão de como ocorrem as estruturas cognitivas, já que, para Piaget, cada indivíduo constrói o seu conhecimento, o que é paradoxal, visto que as pessoas acabam “construindo o mesmo conhecimento” (Ibid.).

Ao negar a aprendizagem cumulativa específica, a teoria incorre em um paradoxo da aprendizagem, em que, conforme Pozo, as concepções errôneas são resistentes ao desequilíbrio provocado pela reestruturação dos conhecimentos específicos e essa reestruturação pode apoiar-se na associação (Ibid.).

Destaca-se ainda a importância da interação social e da instrução na aprendizagem de conceitos, fatores estes que não são valorizados por Piaget. Ele apenas reduz a aprendizagem ao desenvolvimento, “minimizando a importância não somente das aprendizagens associativas, mas também dos processos de instrução” (Ibid., p. 191).

### **2.2.2 A teoria da aprendizagem construtivista de Vygotsky, os pressupostos filosóficos e as implicações educacionais do pensamento vygotskiano**

A teoria da aprendizagem construtivista de Vygotsky é uma resposta ao associacionismo e leva em consideração que o “desenvolvimento cognitivo não é independente do contexto social, histórico e cultural” (MOREIRA, 1999, p. 109). Seu foco está nos mecanismos em que esse desenvolvimento ocorre.

Na perspectiva de Vygotsky, construir conhecimentos implica numa ação partilhada (REGO, 2001). Além disso, tinha como solução a “reconciliação integradora, utilizando a terminologia de Ausubel, entre ambas as culturas psicológicas [idealista e mecanicista]” (POZO, 1998, p. 192).

No contexto escolar, isso significa que deve haver interação entre professor e aluno, aquele tem que estabelecer uma relação de diálogo com os alunos e criar situações onde expressem aquilo que já sabem.

Vygotsky aponta para a necessidade de criar uma escola em que as pessoas possam dialogar, duvidar, discutir e compartilhar saberes. Onde há espaço para as contradições, colaboração mútua e para a criatividade e em que professores e alunos tenham autonomia no processo de construção de conhecimentos, com disponibilização de novas informações (Ibid.).

A obra de Vygotsky também retrata, além da dimensão cognitiva, a afetividade. Ela mostra que cada ideia contém uma atitude afetiva transmutada com relação ao fragmento de realidade ao qual se refere (Ibid.). Não separa o afeto do intelecto “porque busca uma abordagem abrangente, que seja capaz de entender o sujeito como uma totalidade” (Ibid., p. 122). Segundo ele, os desejos, emoções, motivações e interesses são os elementos que impulsionam o pensamento, e este influencia o aspecto afetivo-volitivo (Ibid., p. 122).

Assim, cognição e afeto são correlacionados, possuindo influências recíprocas ao longo de todo o desenvolvimento humano, formando uma unidade no processo dinâmico do desenvolvimento psíquico.

A teoria histórico-cultural elaborada por Vygotsky tem como objetivo “caracterizar os aspectos tipicamente humanos do comportamento e elaborar hipóteses de como essas características se formaram ao longo da história humana e de como se desenvolvem durante a vida de um indivíduo” (VYGOTSKY, 1984).

As funções mentais superiores, segundo Vygotsky, consistem no modo de funcionamento psicológico característico do ser humano, como a capacidade de planejamento, memória voluntária, imaginação, etc. (REGO, 2001, p. 39).

Segundo Moreira (1999, p. 109), os processos mentais só serão compreendidos à medida que se compreendem seus mediadores: os instrumentos e signos. Estes processos se originam nas relações entre indivíduos e se desenvolvem ao longo do processo de internalização de formas culturais de comportamento. Diferem, portanto, dos processos psicológicos presentes nas crianças pequenas e animais que são de origem biológica.

Vygotsky evidenciou o estudo da gênese, formação e evolução dos processos psíquicos superiores do ser humano e procurou construir uma nova psicologia, com o intuito de integrar, numa mesma perspectiva, o homem enquanto corpo e mente, ser biológico e social, participante de um processo histórico (REGO, 2001, p. 40).

Vygotsky afirma que a relação indivíduo/sociedade resulta da interação dialética do homem e seu meio sócio-cultural, a partir da transformação do ambiente pelo homem, que sofre modificações em si mesmo (VYGOTSKY, 1984).

As funções psicológicas, especificamente humanas, surgem das relações do indivíduo e seu contexto cultural e social, ou seja, o desenvolvimento mental não é universal, não é passivo e independente do desenvolvimento histórico e da sociedade (Ibid.).

Em sua teoria, Vygotsky não nega a aprendizagem associativa. Contudo, considera ainda que o homem não somente responde a estímulos, mas os transforma (POZO, 1998, p. 193).

Para Vygotsky (1984), a linguagem é um signo mediador por excelência, já que carrega em si os conceitos generalizados e elaborados pela cultura humana. Assim, ao abordar a consciência humana como produto da história social, aponta na direção da necessidade do estudo das mudanças que ocorrem no desenvolvimento mental a partir do contexto social, que atua sobre o homem e é influenciado por ele (Ibid.).

Para haver humanização, segundo Rego (2001), o indivíduo precisa crescer num ambiente social e interagir com outras pessoas. Desse modo, o desenvolvimento humano está relacionado ao contexto sócio-cultural em que a pessoa se insere e se processa de

forma dinâmica através de rupturas e desequilíbrios provocadores de contínuas reorganizações por parte do indivíduo.

Através das intervenções constantes do adulto, os processos psicológicos mais complexos começam a se formar. Quando internalizados, estes processos começam a ocorrer sem a intermediação das pessoas, sendo voluntário e independente – discurso interior (Ibid.).

A divergência das teorias de Piaget e Vygotsky se dá em suas interpretações do ciclo de atividade. Para o segundo, a diferença está “não somente no que se refere à origem desses instrumentos de mediação e às relações entre aprendizagem e desenvolvimento em sua aquisição, mas também quanto à orientação dessa atividade” (POZO, 1998, p. 194). Num processo de desenvolvimento, o sujeito se faz como ser diferenciado do outro, mas formado na relação com o outro, numa composição individual, mas não homogênea.

O desenvolvimento pleno do ser humano depende do aprendizado que realiza num determinado grupo cultural, a partir das relações que ele estabelece com indivíduos da própria espécie. É justamente por isso, que as relações entre desenvolvimento e aprendizagem ocupam lugar de destaque na obra de Vygotsky, que identifica dois níveis de desenvolvimento: as conquistas efetivas e o desenvolvimento potencial (REGO, 2001).

A distância entre esses dois níveis caracteriza aquilo que Vygotsky chamou de “zona de desenvolvimento proximal”, o qual define as funções que ainda não amadureceram (Ibid.), ou seja, constitui “a diferença entre o desenvolvimento efetivo e o desenvolvimento potencial desse sujeito nessa tarefa ou domínio concreto” (POZO, 1998, p. 197).

O desenvolvimento efetivo é caracterizado pelos mediadores já interiorizados pelo sujeito. Já o potencial, pelo o que o sujeito faz por intermédio de instrumentos mediadores externos (Ibid.).

Vygotsky distingue os conhecimentos construídos na experiência pessoal, cotidiana das crianças (conceitos cotidianos) daqueles elaborados na sala de aula, os conceitos científicos. Assim, o ensino escolar desempenharia um papel importante na formação dos conceitos, de um modo geral, e dos científicos, em particular. A escola propiciaria um conhecimento sistemático às crianças sobre aspectos que não estão associados ao seu campo de visão ou vivência direta (VYGOTSKY, 1984).

A crítica realizada por Pozo (1998, p. 208) à teoria vygotskiana é que por mais que haja uma interação entre os diversos tipos de aprendizagem, Vygotsky não especifica

a natureza delas. Por exemplo, como saber quando os conceitos espontâneos facilitam a aprendizagem ou tornam-se obstáculos a ela? Essa indefinição suscita a necessidade de teorias complementares, como a teoria de Ausubel.

### **2.2.3 A aprendizagem significativa de Ausubel**

Centrada na aprendizagem produzida em um contexto educativo, a teoria cognitiva da aprendizagem proposta por Ausubel ocupa-se na aprendizagem de conceitos científicos a partir do conhecimento prévio do aluno (POZO, 1998, p. 209).

Aprendizagem significativa “é o processo através do qual uma nova informação (um novo conhecimento) se relaciona de maneira não arbitrária e substantiva (não-litera) à estrutura cognitiva do aprendiz” (MOREIRA, 2011, p. 26). Neste contexto, a não-arbitrariedade é a forma como um material com potencial significativo se relaciona com o conhecimento preexistente na estrutura cognitiva do sujeito da aprendizagem.

Essa teoria tem como pioneiro o psicólogo educacional David Ausubel, que dizia que o conhecimento prévio do aprendiz era a chave para a aprendizagem significativa. Ao conhecimento prévio do aluno, Ausubel chama subsunçores. Os subsunçores são a base fundamental para que novas informações sejam inseridas e aprendidas de forma significativa, funcionando como pontos de ancoragem (MOREIRA, 2011, p. 26).

A substantividade significa dizer que um mesmo “conceito ou a mesma proposição podem ser expressos de diferentes maneiras, através de distintos signos ou grupos de signos, equivalentes em termos de significados” (MOREIRA, 2011, p. 26).

Evitando o reducionismo ao possibilitar a interação entre associação e reestruturação na aprendizagem num processo contínuo, Ausubel diferencia os tipos de instrução e a independência entre estes com a aprendizagem. Mais especificamente, “tanto a aprendizagem significativa como a mnemônica são possíveis em ambos os tipos de ensino, o receptivo (ou expositivo) e o ensino por descobrimentos (ou pesquisa)” (POZO, 1998, p. 210).

Além disso, para Ausubel, há outras condições fundamentais para que ocorra a aprendizagem significativa: o uso de material potencialmente significativo e a predisposição do aluno em aprender (MOREIRA, 2011). Para que aconteça uma aprendizagem significativa, “além de um material com significado e uma predisposição por parte do sujeito, é necessário que a estrutura cognitiva do aluno contenha ideias ‘inclusivas’, isto é, ideias com as quais possa ser relacionado o novo material” (POZO,

1998, p. 214).

Existem três tipos de Aprendizagem significativa: representacional, conceitual e por proposições (MOREIRA, 2009a, p. 8). A representacional atribui significados a símbolos, ou seja, as palavras representam o mesmo que seus referentes (POZO, 1998, p. 215). A aprendizagem conceitual é uma abrangência da anterior, evoca a importância da compreensão do significado de uma palavra. Consistiria em uma aprendizagem “baseada em situações de descoberta que incluiria processos como a diferenciação, a generalização, a formulação e comprovação de hipóteses, etc.” (Ibid., p. 216). A aprendizagem proposicional está relacionada com a compreensão de uma proposição pela soma de conceitos que podem ser abstratos. Ela é o inverso da representacional. Portanto, “a partir da idade escolar, a assimilação é o processo fundamental de aquisição de significados” (Ibid.).

A partir de sucessivas interações, os conceitos se desenvolvem, sendo elaborados e diferenciados de maneira que ocorra uma aprendizagem significativa (MOREIRA, 2009a, p. 11).

A diferenciação progressiva caracteriza-se na apresentação de ideias mais gerais e mais inclusivas para, posteriormente, de forma progressiva, ser diferenciadas (POZO, 1998, p. 217).

A reconciliação integrativa explora relações entre ideias, apontando similaridades e diferenças essenciais, de modo a reconciliar discrepâncias reais ou aparentes entre conceitos (MOREIRA, 2009a, p. 11).

A teoria pode ser resumida pela proposição de autoria de David Ausubel (1978 apud MOREIRA, 2009a):

Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria o seguinte: o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Averigüe isso e ensine-o de acordo.

No entanto, o papel da tomada de decisão nessa teoria foi pouco desenvolvido e não destaca a importância da natureza e da persistência dos subsunçores (POZO, 1998, p. 221).

### 2.3 HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS

A partir da década de 60 se tem buscado uma aproximação entre História e Filosofia da Ciência (HFC) e o ensino de ciências. O aumento no número de pesquisas nessa área nos últimos anos, especificamente no Brasil, torna evidente a preocupação de sua inserção no ensino de ciências. Entretanto, o número de pesquisas sobre a intervenção didática com suporte na história ainda é relativamente pequeno (PEDUZZI, 2012, p.16).

No ensino de ciências é importante levar em consideração não apenas o uso didático da HFC, mas também sua presença nos cursos de licenciatura, pois estão associadas à teoria e à prática dos futuros professores. Verifica-se que o pensamento científico sofreu mudanças com o passar dos anos sendo afetado pelos contextos sociais, morais e culturais em que ele se desenvolveu (MATTHEWS, 1995, p. 167). Pode-se dizer, segundo Martins (1990, p. 2) que, “a história cultural da humanidade é, sem dúvida, um dos pontos básicos de uma formação cultural ampla”, por essa razão, a preocupação de inserir HFC no currículo de Ciências no Brasil.

O Parâmetro Curricular Nacional do Ensino Médio (PCNEM) é um documento que direciona as competências que são a base comum das escolas brasileiras correspondentes às disciplinas. Este documento também reforça a importância da utilização da História e Filosofia no ensino de Física, como formação de um cidadão capacitado a interpretar os fatos e situações e interagir com a própria natureza da qual faz parte. Segundo o PCNEM, “é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas” (BRASIL, 2002, p. 22).

Nesta perspectiva, a História da Ciência pode ser um importante instrumento de ensino na formação cultural dos alunos dos diversos segmentos, ou seja, na construção de concepções a respeito do ser humano, seu mundo natural e a tecnologia vigente, mostrando o que é a ciência “em suas devidas proporções” (MARTINS, 1990, p. 2).

A História da Ciência pode ser aplicada para enriquecer as aulas ao expor diferentes visões de ciência e motivar os alunos a aprenderem, resultando numa melhor compreensão, pelo professor, das concepções prévias dos alunos. Dessa maneira, permite que o docente indique meios didáticos, através da história, para uma transição<sup>2</sup> de uma concepção intuitiva para uma cientificamente aceita.

Martins (1990) analisa, sob o ponto de vista didático, as vantagens de utilizar a HFC como motivador no ensino:

---

<sup>2</sup> Tal transição não implica em um abandono das concepções intuitivas, que são extremamente resistentes (MORTIMER, 1996) e em alguns casos, inatas (AUGÉ, 2004).

Sob o ponto de vista didático [...] ela pode ser usada para contrabalançar os aspectos puramente técnicos de uma aula. [...] Informações sobre a vida de cientistas, a evolução das instituições, o ambiente cultural geral de uma época, as concepções alternativas do mesmo período, as controvérsias e dificuldades de aceitação de novas ideias – tudo isso pode contribuir para dar uma nova visão da Ciência e dos cientistas, dando maior motivação ao estudo (MARTINS, 1990, p. 4).

Afinal, o que é a ciência senão a capacidade de dialogar constantemente com o erro? Ela é um processo de construção permanente. O que em um período é aceito pela sociedade científica, após alguns anos pode se constituir alvo de refutações. A Ciência permite essa constante mudança.

A Física é considerada uma ciência hipotético-dedutiva, o que consiste em dizer que ela é constituída de teorias com o critério de cientificidade, o qual possibilita a refutação ou corroboração provisória (SILVEIRA, 1996).

As teorias científicas que são conhecidas atualmente são resultadas de um processo difícil e demorado de ruptura de concepções que, muitas vezes, estão presentes até os dias atuais, conforme salienta Martins (1990):

[...] geralmente, os resultados científicos atualmente aceitos são pouco intuitivos e óbvios, tendo resultado de uma longa evolução e discussão. O ensino dessa evolução facilita a própria compreensão dos resultados finais e de seu real significado. Recentemente, tomou-se consciência de que o aprendizado de Ciências é, às vezes, dificultado por concepções do “senso comum” que, de um modo geral, coincidem com as concepções abandonadas ao longo da história (MARTINS, 1990, p. 2).

É possível perceber, em relação à aprendizagem atual no Brasil, que, em geral, quase tudo do que se pensa ter aprendido na escola, ao final, quase nada permanece na estrutura cognitiva humana (CANIATO, 1989, p. 10). Por essa razão, é necessário que haja ação no ensino de Física, devendo este deixar de ser apenas teórico para ser teórico-experimental. Isto faria com que os alunos pudessem pensar acerca dos conteúdos abordados, especialmente na aprendizagem de conceitos, muitos deles, interpretados de forma errada pelo aluno devido à carência de demonstrações e experimentações concretas que deveriam ser estimulados pelo professor, fazendo com que aprender fosse um processo prazeroso que teria o professor como mediador e promotor da interação entre o objeto de estudo e o aluno.

Essa interação se torna mais dinâmica e motivadora quando o professor utiliza de experimentos em conjunto com a história da Ciência.

A Física é uma Ciência que visa compreender e prever através das regularidades e periodicidades que ocorrem na natureza, os mecanismos que descrevem esses fenômenos, as leis que regem o mundo que nos cerca.

Dessa forma, a Física, como Ciência, pretende tornar o mundo inteligível, com uma profunda busca por conhecimento e, a observação, inicialmente, teve papel fundamental na construção de modelos científicos. Entretanto, o método científico empregado baseia-se na elaboração de teorias, na observação e na experimentação.

Posteriormente, com a inserção da experimentação por Galileu Galilei, a Física se torna uma Ciência teórico-experimental e o uso de experimentos que pudessem comprovar a teoria trouxe cientificidade às pesquisas, obtendo maior credibilidade e compreensões sistemáticas.

Percebe-se a relevância no uso de experimentação na comunidade científica para a compreensão de alguns conceitos dessa Ciência da natureza. Contudo, é necessário que haja um local adequado para a realização de demonstrações. Segundo Penteado (2010):

O gosto pela Ciência pode ter início no laboratório escolar. Apesar de muitas práticas não exigirem um local específico para serem executadas, podendo ser realizadas na sala de aula, o laboratório é um local interessante para o aluno, pois muda sua rotina de aulas no dia a dia. Sair de sua sala de aula e entrar no laboratório induz ao aluno imaginar que verá fenômenos incomuns e a motivação está instalada para o professor iniciar sua aula. Portanto, o laboratório é um local importante no ensino de Ciências (PENTEADO, 2010, p. 4).

Por essa razão, no meio escolar, têm-se difundido o uso de demonstrações em sala de aula.

Atualmente, objetivando a superação da crise no ensino, o Brasil formula leis e propostas que procuram atenuar a compreensão dos conceitos relacionados à Ciência.

O uso de investigações no ensino proporciona maior interesse por parte dos alunos, o que favorece a aprendizagem.

No entanto, os experimentos devem estar bem articulados com a teoria e executados de maneira que levem o aluno a indagar e a questionar o que está ocorrendo e, posteriormente, levá-lo a ter algumas conclusões acerca do que foi observado.

Dessa forma, com a observação e discussão, pode-se chegar a um pensamento ou conclusão próxima daquela que é ensinada nos livros didáticos, próxima do científico. E, assim, alguns conceitos são melhores compreendidos.

Segundo Sekkel e Muramatsu (1976, p. 522) “experimentos de demonstrações são experiências, geralmente qualitativas, que visam ilustrar a aula mostrando como operam as leis da Física”.

Entender como se operam as leis da Física é entender a própria natureza e a sua complexidade, é compreender os fenômenos naturais presentes no cotidiano do aluno, instigando-o a fazer Ciências. “Aprender Ciências, desta forma, significa muito mais aprender como fazer Ciências do que o aprender e armazenar fatos, princípios e leis” (HENNIG, 1994, p. 191).

Ao aproximar o aluno à Ciência, se ressalta a importância da experimentação na história e na sociedade, sua relevância nos avanços tecnológicos e na eterna busca do homem por conhecimento.

Além disso, o uso de demonstrações na sala de aula facilita a mudança conceitual, porque ao demonstrar experimentos que contrariem uma concepção errônea, proporciona um desequilíbrio cognitivo o que estimulará o aluno, com o auxílio do professor, a buscar a reequilibração.

Em relação aos objetivos da realização de um experimento, Sekkel e Muramatsu (1976) dizem que podem variar dependendo da natureza do experimento:

Por exemplo, constatação da validade de uma lei e como ela opera, ilustração de um problema teórico, simulação de experiências historicamente importantes no desenvolvimento da Física, aplicações curiosas e interessantes de algum conceito, etc... Elas mostram a base experimental da Física; nelas a Natureza fala por si (SEKKEL; MURAMATSU, 1976, p. 522).

Moreira (2017, p. 11) faz uma reflexão sobre o ensino de Física no séc. XXI enfatizando como um desafio a ser superado a criação de espaços de experimentação educacional, além do uso de laboratórios virtuais que permitem o desenvolvimento de competências e habilidades científicas pelos alunos, como as citadas abaixo:

- a) os alunos podem modificar características de modelos científicos;
- b) podem criar modelos computacionais;
- c) podem fazer experimentos sobre fenômenos não observáveis diretamente.
- d) Criar ambientes online que usem dados individuais armazenados de estudantes, para guiá-los em experimentos virtuais apropriados para seus conhecimentos prévios e seus estágios de desenvolvimento cognitivo.

Por fim, a utilização de experimentos no ensino possibilita uma “transmissão” do conhecimento de forma divertida e instigante, mostrando uma Física com menos abstração matemática e mecanização do saber (FIGUEROA; GUTIERREZ, 1992, p. 253-256).

#### 2.4 INTERDISCIPLINARIDADE: INTEGRAÇÃO PLURAL DAS DISCIPLINAS

No âmbito educacional, cada vez mais têm-se discutido acerca da interdisciplinaridade, o que se reflete na área de pesquisa de ensino de ciências (ROBILOTTA, 1998; MEDEIROS & BEZERRA FILHO, 2000; DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2002; MORTIMER & SCOTT, 2002; LABURÚ, ARRUDA e NARDI, 2003; BAZZO, 2010).

O ensino cartesiano e seu método de raciocínio analítico contribuiu consideravelmente para o desenvolvimento científico. Entretanto, provocou “uma profunda cisão no nosso modo de pensar, gerando o ensino disciplinar compartimentado” (FAZENDA et al., 2008, p. 76).

Os avanços tecnológicos e o saber fragmentado fizeram com que o conhecimento se tornasse “disciplinado e segregador” (Ibid., p. 67).

Essa visão compartimentada do conhecimento em disciplinas isoladas faz com que os estudantes erroneamente compreendam a realidade e o mundo que os cerca de forma fragmentada.

O papel da escola é justamente o de “desmistificar a visão positiva do conhecimento enquanto fim em si mesmo. Não para substituí-la por uma visão negativa, mas para problematizar todo e qualquer conhecimento” (GUERRA et al., 1998, p. 34).

Compreender o ambiente cultural em que os grandes cientistas estavam inseridos é primordial para a compreensão da resolução dos problemas enfrentados por estes homens ao longo da História da ciência, mostrando-a a partir de uma visão histórico-filosófica.

A história e filosofia da ciência é uma importante ferramenta integradora entre as diversas áreas do conhecimento. Segundo Fazenda, ela possibilita

a construção e uma compreensão dinâmica da nossa vivência, da convivência harmônica com o mundo da informação, do entendimento histórico da vida científica, social, produtiva da civilização, ou seja, é um aprendizado com aspectos práticos e críticos de uma participação

no romance da cultura científica, ingrediente primordial da saga da humanidade (FAZENDA et al., 2008, p. 65).

Interdisciplinaridade é, em sentido mais geral, “relação entre as disciplinas (Ibid., p. 161).

Uma conceituação que abrange a sua totalidade é definida por Ivone Yared (2008) que diz que a interdisciplinaridade “é o movimento (inter) entre as disciplinas, sem a qual a disciplinaridade se torna vazia; é um ato de reciprocidade e troca, integração e voo; movimento que acontece entre o espaço e a matéria, [...], na busca da totalidade que transcende a pessoa humana” (Ibid., p. 166).

Conceituar interdisciplinaridade é refletir sobre atitudes que são concebidas como interdisciplinares.

Outro aspecto que precisa ser repensado é o papel do ensino de ciências na sociedade. É emergente que os professores promovam nos alunos uma reflexão sobre as relações entre ciência e tecnologia.

Em sua pesquisa sobre a interdisciplinaridade entre a física e a matemática, Anderson Moura (2015) relacionou a energia e os conceitos que a envolvem ao estudo de funções matemáticas, além de realizar uma reflexão sobre impactos ambientais. Para desenvolver a sua proposta de intervenção didática, ele elaborou diversos momentos investigativos que fizessem essa integração entre as duas disciplinas, como a elaboração e aplicação de questionário em conjunto com seus alunos.

Eles entrevistaram um grupo de funcionários de uma usina hidrelétrica situada no município de Lima Duarte, Minas Gerais. Desse modo, fizeram a tabulação e interpretação dos dados obtidos e compreenderam melhor o processo que a luz sofre até chegar às suas residências.

A interdisciplinaridade também é destaque nos objetivos do PCN+ ao buscar-se “dar significado ao conhecimento escolar, mediante a contextualização; evitar a compartimentalização, mediante a interdisciplinaridade; e incentivar o raciocínio e a capacidade de aprender” (BRASIL, 2000, p. 4).

Há infinitas possibilidades de relações entre diversas áreas do conhecimento, alguns exemplos são apontados pelo PCN+:

a linguagem verbal como um dos processos de constituição de conhecimento das Ciências Humanas e o exercício destas últimas como forma de aperfeiçoar o emprego da linguagem verbal formal; a Matemática como um dos recursos constitutivos dos conceitos das ciências naturais e a explicação das leis naturais como exercício que desenvolve o pensamento matemático; a Informática como recurso que pode contribuir para reorganizar e estabelecer novas relações entre

conceitos científicos e estes como elementos explicativos dos princípios da Informática; as Artes como constitutivas do pensamento simbólico, metafórico e criativo, indispensáveis no exercício de análise, síntese e solução de problemas, competências que se busca desenvolver em todas as disciplinas (Ibid.).

Portanto, as disciplinas escolares representam recortes isolados da realidade e se faz necessário uma interação entre elas, apresentando ao aluno uma versão mais ampla do mundo que o cerca e proporcionando uma melhor compreensão dos fenômenos da natureza.

## 2.5 LUZ: UNIFICAÇÃO DA ÓTICA COM O ELETROMAGNETISMO

O processo da visão ocorre a partir da interação da luz visível com os olhos. Este tipo de radiação eletromagnética corresponde a comprimentos de onda ( $\lambda$ ) de  $4 \times 10^{-7}$  m a  $7 \times 10^{-7}$  m (DÚRAN, 2003, p. 251).

Um dos princípios da física é conhecer a natureza da luz.

A teoria ondulatória da luz foi introduzida em 1678 por Christian Huygens através de um princípio que prevê a posição futura de uma frente de onda a partir da posição inicial dela. No entanto, somente com os esforços teóricos de James Clerk Maxwell, a luz foi caracterizada como uma onda eletromagnética (HALLIDAY; RESNICK; WALTER, 2009, p. 78).

Em seguida são feitos alguns aportes teóricos sobre ondas eletromagnéticas e sobre a luz, em particular, tanto do ponto de vista histórico como da Física.

### 2.5.1 Breve histórico sobre a natureza da luz

O olho humano reage à luz. Por muitos anos, os filósofos se perguntavam: mas o que é luz? Qual é a sua natureza?

Os antigos gregos a observaram com cuidado e, desse modo, fizeram algumas proposições (MUELLER, 1966, p. 31).

Escola Pitagórica: Todo objeto visível emitia uma torrente constante de partículas.

Aristóteles (384-322 a. C.): A luz propaga-se em forma de ondas.

Essas duas teorias se destacaram por 20 séculos após Aristóteles: a teoria ondulatória da luz – a luz propaga-se pelo éter assim como as ondas se espalham pela superfície de um lago parado – e a teoria corpuscular – a luz seria um voo de partículas,

como gotas de água lançadas de um esguicho de mangueira (MUELLER, 1966, p. 31).

No séc. XV, Leonardo da Vinci (1452-1519) foi um dos primeiros estudiosos a contrariar essa ideia corpuscular. Comparando o fenômeno da reflexão com o fenômeno ondulatório do eco, concluiu que a luz seria uma onda e não um conjunto de partículas. Entretanto, até então, não se compreendia a luz como uma onda eletromagnética (MENDES, 2009, p. 10).

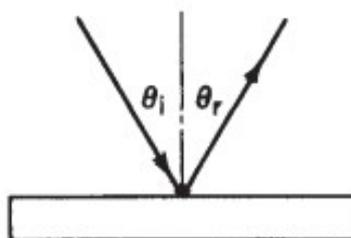
Posteriormente, no séc. XVII, as duas teorias ganharam importantes defensores. Isaac Newton (1643-1727) adotou a ideia da Grécia antiga, formulando a teoria corpuscular da luz. E, Christian Huygens (1629-1695), a teoria ondulatória da luz.

Alguns conceitos da óptica geométrica são fundamentais para compreender a óptica ondulatória. Dessa forma, abordar-se-á os conceitos de raios luminosos, reflexão, refração e difração.

Raio luminoso é um conceito geométrico que consiste em uma representação, através de linhas retas num meio homogêneo, do caminho percorrido pela luz. O sentido da propagação do raio de luz é indicado por uma seta (NUSSENZVEIG, 1998, p. 4).

Voltando aos antigos gregos, para estudar a luz, observaram as suas propriedades, propondo que ela se propagava em linha reta. Heron de Alexandria (10-80 d. C.), por exemplo, observou que “todo feixe luminoso que incidia em ângulo num espelho retornaria em ângulo igual” (MUELLER, 1966, p. 31). Essa observação constatou que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, o que caracteriza a lei de reflexão (Figura 1).

**Figura 1:** Lei de Reflexão.



Fonte: Lições de Física de Feynman (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008a).

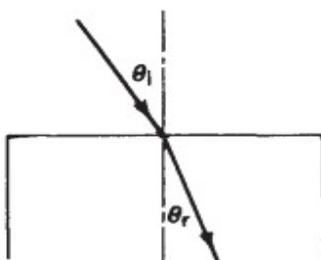
Onde:  $\theta_i$  é o ângulo de incidência e  $\theta_r$  é o ângulo de reflexão.

Durante muitos anos, outro fenômeno foi estudado: quando um objeto reto era colocado obliquamente dentro d'água, ele era observado como se estivesse quebrado. A “parte submersa parece inclinar-se em outra direção” (MUELLER, 1966, p. 31). Somente

em 1621 que o matemático holandês Willebrod Snell (1580-1626) explicou este fato. Ele disse que o raio de luz ao passar de um meio transparente para outro sofre um desvio em sua direção, ao mesmo tempo em que uma parte desse raio é refletida conforme a lei de Heron (MUELLER, 1966, p. 31).

Para essa deflexão da luz ao atravessar meios, Snell deu o nome de refração (Figura 2). Entretanto, esse princípio demorou a ser consolidado até que Snell pôde constatar que o ângulo de incidência também tinha relação com o quanto a luz iria refratar. Ainda assim, ele não sabia explicar o porquê dela se desviar nessas condições (MUELLER, 1966, p. 32).

**Figura 2:** Lei da Refração.



Fonte: Lições de Física de Feynman (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008a).

Em 1637, Descartes (1596-1650), que acreditava ser a luz um fenômeno ondulatório, formulou matematicamente as observações de Snell e disse que o “índice de refração de qualquer matéria é determinado pela velocidade com que a luz a atravessa” (MUELLER, 1966, p. 32).

A formulação matemática das observações de Snell – lei de Snell – dá-se em seguida:

$$\frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} . \quad (1)$$

No caso em que o meio 1 é o vácuo, com qualquer meio 2, temos a velocidade 1 ( $v_1$ ) correspondente à velocidade da luz no vácuo ( $c$ ). Então, teremos  $\frac{c}{v}$ , que resulta no que chamamos de índice de refração ( $\eta$ ).

$$\eta = \frac{c}{v} . \quad (2)$$

Os instrumentos óticos foram melhor elaborados a partir da consolidação do

princípio da refração. O telescópio, construído por meio da combinação de lentes, teve a sua invenção creditada ao holandês Hans Lippershey (1570-1619)<sup>3</sup>, um fabricante de lentes, por volta de 1600. Mas foi aperfeiçoado posteriormente por Galileu (1564-1642) e outros, através do pleno conhecimento da lei da refração da luz (MUELLER, 1966, p. 32).

Vejamos alguns princípios formalmente estabelecidos.

Quando a luz incide sobre uma superfície que separa dois meios ópticos e transparentes a ela, esta sofre reflexão e refração (DURÁN, 2003, p. 252).

A luz pode atravessar alguns meios transparentes, como a água, o vidro, diamantes entre outros. Ao atravessá-los muda a sua velocidade podendo também mudar de direção. Esse fenômeno físico é chamado de refração, em que ocorre mudança de direção do feixe luminoso e da velocidade (RAMALHO; FERRARO; SOARES, 1993a, p. 287).

Abaixo (Figura 3), estão alguns valores de índices de refração:

**Figura 3:** Índice de refração de algumas substâncias (valores correspondentes à luz amarela).

Substância	n	Substância	n	Substância	n
Ar (CNPT)	1,000	Diamante	2,4168	Crounglas	1,517
Água a 20°C	1,333	Cristal de quartzo	1,553	Cloreto de sódio	1,544
Acetona a 20°C	1,358	Quartzo fundido	1,458	Lente do olho	1,424
Etanol a 20°C	1,360	Flint glass	1,650	Humor vítreo	1,336

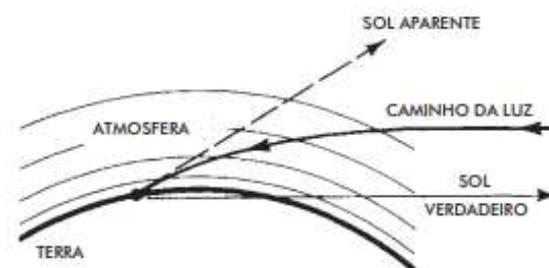
Fonte: DURÁN (2003, p. 252).

Já na reflexão, a luz incidente e a refletida encontram-se no mesmo meio óptico (igual índice de refração), portanto, de acordo com a equação (2), a velocidade da luz incidente será a mesma da refletida.

Por volta de 1650, o cientista Fermat (1601-1665) evidenciou a lei sobre o comportamento da luz através do princípio do mínimo tempo ou princípio de Fermat. O princípio consiste em que a luz percorre o caminho de menor tempo para ir de um ponto a outro e está associado ao princípio de refração (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008a). Um exemplo de sua aplicabilidade é o fato de quando se vê o sol se pondo, ele, na verdade, encontra-se abaixo do horizonte (Figura 4).

<sup>3</sup> Tudo indica que o telescópio tenha sido inventado pelos chineses e usado nas navegações.

**Figura 4:** Sol abaixo do horizonte e sol aparente.



Fonte: FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS (2008a).

As contribuições do físico inglês Sir Isaac Newton (1643-1727) foram cruciais para o desenvolvimento da ótica: ele descobriu que a luz branca era composta de todas as cores. Dessa maneira, pode-se compreender a diferença do desvio de dois raios vermelho e azul emitidos sobre uma lâmina de vidro de faces paralelas em um mesmo ângulo (RAMALHO; FERRARO; SOARES, 1993a, p. 296).

Portanto, a luz proporciona aos seres vivos informações cruciais para o desenvolvimento da vida e de sua sobrevivência. Propaga energia, sem propagar massa, podendo ser de natureza ondulatória ou corpuscular (DURÁN, 2003, p. 251).

### 2.5.2 Luz como onda eletromagnética e visão

A teoria do Eletromagnetismo foi proposta por James Maxwell ao tentar explicar a relação existente entre magnetismo e eletricidade, unificando-as. Os fenômenos luminosos podem ser descritos como ondas eletromagnéticas e, desse modo, tem como base as equações de Maxwell (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2009b).

Maxwell sintetizou, por simetria, suas equações com a luz. Permitindo demonstrar que “os campos elétricos e magnéticos satisfazem equações de onda que se propagam com a velocidade da luz. Ele associou, então, o fato desses campos<sup>4</sup> se propagarem com a velocidade da luz à interpretação da luz visível ser um caso particular” (SILVA, 2007, p. 156).

Dessa forma, Maxwell demonstrou que a propagação dessa perturbação apresentava todas as características de uma onda: reflexão, refração, difração e interferência. Denominando-a, assim, de onda ou radiação eletromagnética.

<sup>4</sup> O conceito de campo só foi definido a partir de 1905 com Einstein em sua teoria da relatividade restrita.

Posteriormente, verificou-se que as ondas eletromagnéticas podiam ser polarizadas, sendo, portanto, ondas transversais (RAMALHO; FERRARO; SOARES, 1993b, p. 397).

A velocidade de propagação de uma onda no vácuo foi calculada por Maxwell através da relação:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} \quad (3)$$

em que  $\epsilon_0$  e  $\mu_0$  são, respectivamente, os coeficientes de permissividade elétrica e permeabilidade magnética no vácuo no Sistema Internacional, correspondendo, assim, a um valor da constante  $c$  igual ao valor da velocidade da luz no vácuo, indicando que a luz deveria ser uma onda eletromagnética, o que foi comprovado posteriormente.

No final do século XIX, as leis de eletricidade e magnetismo eram descritas através de forças elétricas agindo em uma carga  $q$ , com uma velocidade  $v$ , por meio de dois campos, chamados  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{B}$ , conforme a equação (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008a):

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}). \quad (4)$$

Em seguida, a equação para o campo elétrico produzido por uma carga que se move de maneira arbitrária:

$$\mathbf{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{\mathbf{e}_{r'}}{r'^2} + \frac{r'}{c} \frac{d}{dt} \left( \frac{\mathbf{e}_{r'}}{r'^2} \right) + \frac{1}{c^2} \frac{d^2}{dt^2} \mathbf{e}_{r'} \right]$$

$$c\mathbf{B} = \mathbf{e}_{r'} \times \mathbf{E}. \quad (5)$$

Fonte: FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS (2008b).

Se a carga elétrica se move arbitrariamente, o campo elétrico em um determinado ponto 1 dependerá apenas da posição (ponto 2') e do movimento da carga em um tempo anterior (instante anterior suficiente para que a luz viaje a distância  $r'$  entre a carga e o ponto de teste, com velocidade  $c$ ). A distância  $r'$  é a distância retardada entre o ponto 2' e o ponto de teste 1 (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008b).

Se a velocidade  $v$  da carga for muito menor comparada à velocidade da luz  $c$  e considerando pontos bem distantes da carga, os campos podem ser descritos como (Ibid.):

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 c^2 r'} \left[ \begin{array}{l} \text{aceleração da carga em } (t - r'/c) \\ \text{projetada perpendicularmente à } r' \end{array} \right]$$

$$c\mathbf{B} = \mathbf{e}_r \times \mathbf{E}. \quad (6)$$

Fonte: FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS (2008b).

Para chegar-se a equação (6), através das equações de Maxwell, de forma a associar a teoria do eletromagnetismo à teoria da luz, calcula-se o campo elétrico de uma carga e movimento, calculando os seus potenciais e os diferenciando (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008b).

Ao deduzir a equação (6) a partir das equações de Maxwell, encontra-se a conexão entre luz e eletromagnetismo.

Em seguida, representa-se uma síntese das equações<sup>5</sup> de Maxwell e suas possíveis soluções:

**Equações de Maxwell:**

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad , \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad \mathbf{e}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad , \quad c^2 \nabla \times \mathbf{B} = \frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad \cdot$$

**Suas soluções:**

$$\mathbf{E} = -\nabla\phi - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \quad ,$$

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} \quad ,$$

$$\phi(1, t) = \int \frac{\rho(2, t - r_{12}/c)}{4\pi\epsilon_0 r_{12}} dV_2 \quad \mathbf{e}$$

$$\mathbf{A}(1, t) = \int \frac{\mathbf{j}(2, t - r_{12}/c)}{4\pi\epsilon_0 c^2 r_{12}} dV_2 \quad \cdot$$

(7)

Fonte: FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS (2008b).

As teorias da eletricidade, magnetismo e da luz puderam, então, ser unificadas, descrevendo de forma completa os campos produzidos por cargas em movimentos e outros fenômenos físicos.

É importante frisar que a notação  $\nabla$  ainda não havia sido inventada. Maxwell

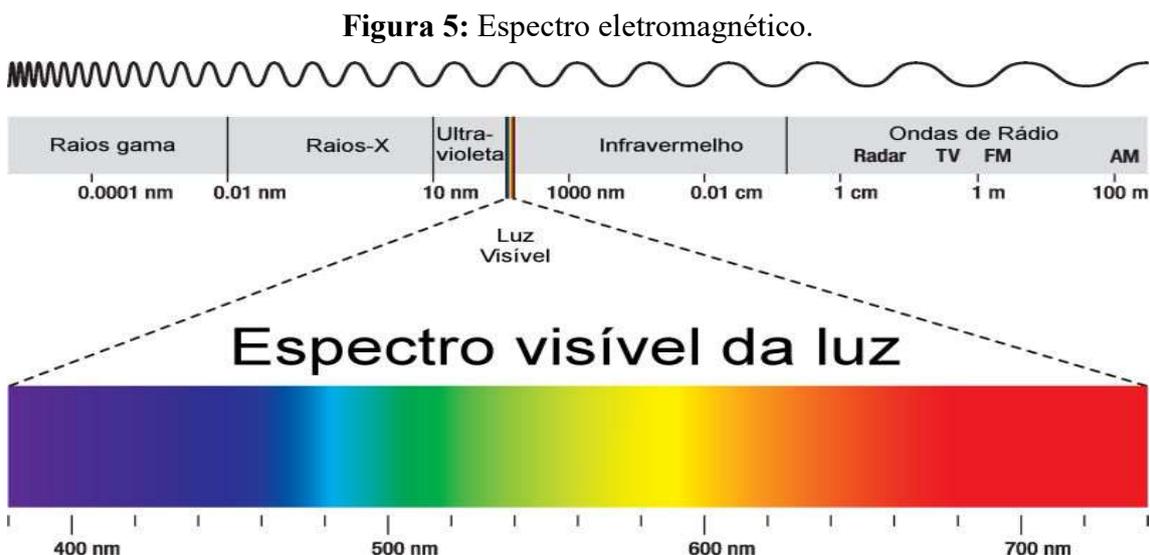
<sup>5</sup> Essas equações foram retiradas do livro Lições de física de Feynman, volume II (2008). Para melhor aprofundamento, recomenda-se a sua leitura.

expressou as leis conhecidas no formato de equações diferenciais (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008b).

Pode-se caracterizar qualquer onda eletromagnética segundo as seguintes propriedades: “o campo magnético é perpendicular à direção da frente de onda; o campo elétrico também é perpendicular à direção da frente de onda; os dois vetores E e B são perpendiculares entre si” (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008b). Há ainda, a relação entre a magnitude do campo elétrico E com a magnitude do campo magnético B. Aquele é igual a  $c$  vezes a magnitude deste ( $E = c B$ ).

Heinrich Hertz (1857-1894), ao descobrir as ondas de rádio, observou que elas se propagam no vácuo com a mesma velocidade da luz visível (HALLIDAY; RESNICK; WALTER, 2009, p. 2).

Outros tipos de ondas eletromagnéticas foram sendo descobertas ao longo dos anos formando o espectro eletromagnético (Figura 5), conhecido também como o “arco-íris de Maxwell” (HALLIDAY; RESNICK; WALTER, 2009, p. 2).



Fonte: LORETO; SARTORI (2008, p. 268).

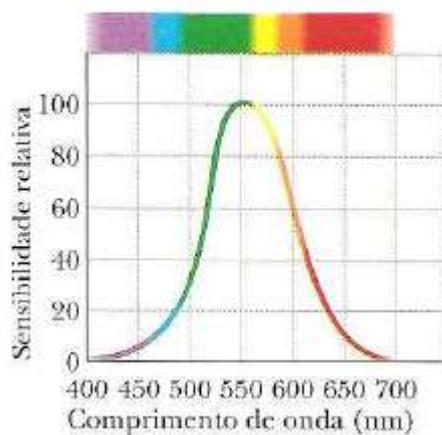
Há uma “variação ampla e contínua nos comprimentos de onda e frequência das ondas eletromagnéticas. A relação entre a velocidade  $c$  de propagação de uma onda eletromagnética no vácuo, o comprimento de onda  $\lambda$  e a frequência  $f$  correspondentes é dada por” (RAMALHO; FERRARO; SOARES, 1993b, p. 397):

$$c = \lambda f . \quad (8)$$

A faixa do espectro de luz visível é mais interessante em ser estudada, pois é a região em que se encontram os comprimentos de onda em que o olho humano é sensível.

Na figura a seguir (6), encontra-se um gráfico que mostra a sensibilidade relativa do olho humano às diferentes radiações do espectro eletromagnético:

**Figura 6:** Sensibilidade relativa do olho humano às diferentes radiações do Espectro Eletromagnético.

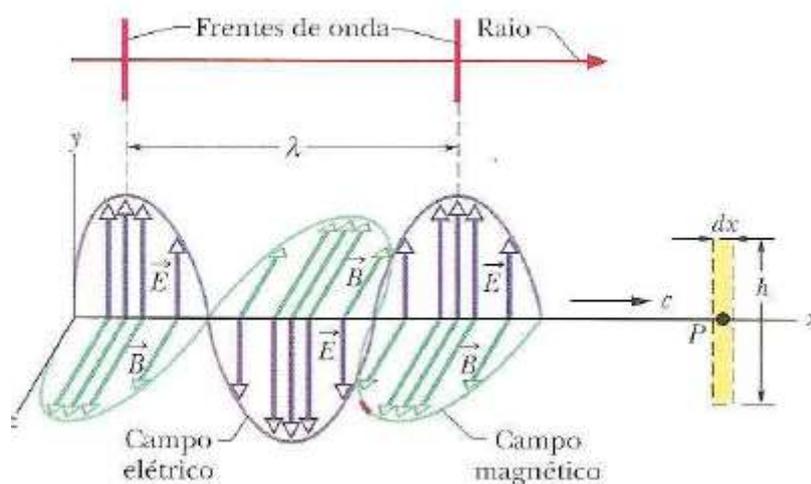


Fonte: HALLIDAY; RESNICK; WALTER (2009, p. 3).

Todas as ondas eletromagnéticas propagam-se no vácuo com velocidade igual a da luz, o que corresponde ao valor aproximado de  $c = 3 \times 10^8$  m/s (HALLIDAY; RESNICK; WALTER, 2009, p. 5).

Pode-se representar a onda eletromagnética conforme abaixo (Figura 7):

**Figura 7:** Representação de uma onda eletromagnética.



Fonte: HALLIDAY; RESNICK; WALTER (2009, p. 6).

Considerando a variação do campo magnético, ele varia senoidalmente, induzindo, pela lei de Faraday, um campo elétrico perpendicular que, por sua vez, também varia senoidalmente. Este, através da lei da indução de Maxwell, gera um campo magnético perpendicular. Desse modo, esse processo ocorre de forma cíclica ou sucessivamente. Essas variações se propagam em forma de onda eletromagnética (HALLIDAY; RESNICK; WALTER, 2009, p. 6).

As ondas eletromagnéticas não necessitam de um meio para se propagar, um exemplo disso é a propagação da luz solar.

A luz se propaga em linha reta em um meio homogêneo. Apesar de ser difícil de explicar a sua observação na teoria ondulatória, por meio do princípio de Huygens, é possível compreender essa característica da luz ao examinar a propagação da fase da onda.

Segundo Huygens, “cada ponto de uma frente de onda comporta-se como fonte puntiforme, gerando ondas secundárias. Num meio homogêneo, essas ondas são ondas esféricas com centro na fonte, propagando-se com a velocidade das ondas no meio” (NUSSENZVEIG, 1998, p. 4).

Isaac Newton não apenas explicou a separação do espectro da luz branca em suas componentes monocromáticas, como verificou que “cada cor corresponde a um comprimento de onda bem definido e mediu  $\lambda$  com grande precisão: o valor que obteve para luz alaranjada é compatível com os resultados atuais” (NUSSENZVEIG, 1998, p. 6).

As principais características das ondas eletromagnéticas são a amplitude (A), a velocidade de propagação (v), a frequência (f) e o comprimento de onda ( $\lambda$ ).

O tempo de duração de uma oscilação completa é chamado de período (T), medido pelo sistema internacional de medidas (SI) em segundos (s).

A frequência corresponde ao número de repetições dessas oscilações em 1 segundo, é medido em Hertz (Hz) ou  $s^{-1}$ . Pode ser calculada pelo inverso do período:

$$f = \frac{1}{T} . \quad (9)$$

Ainda que a onda mude de meio, a intensidade da frequência não muda, ela se mantém constante e igual à frequência gerada no início da onda (RAMALHO; FERRARO; SOARES, 1993a, p. 409).

A amplitude oscila no espaço juntamente com os campos elétrico ( $\vec{E}$ ) e magnético ( $\vec{B}$ ) e ao longo do tempo (RAMALHO; FERRARO; SOARES, 1993a, p. 410).

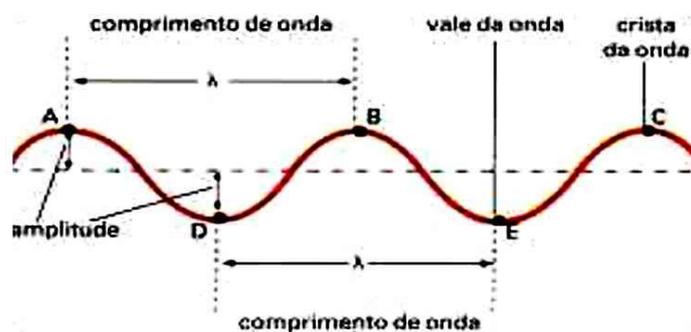
O comprimento de onda ( $\lambda$ ) pode ser identificado através da distância entre dois vales ou duas cristas consecutivas ou a de um vale até uma crista (formando uma senoide). A unidade de medida de  $\lambda$  é o metro (m).

Pode-se, então, encontrar a velocidade de propagação da onda relacionando o comprimento de onda com o período ou a frequência. Basta associar a fórmula de velocidade média ( $v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$ ) com a velocidade da onda (RAMALHO; FERRARO; SOARES, 1993a, p. 410):

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{ou} \quad v = \lambda \cdot f. \quad (10)$$

- velocidade de propagação da onda ( $v$ ): m/s.
- comprimento de onda ( $\lambda$ ): m.
- período ( $T$ ): s.
- frequência ( $f$ ): Hz ou  $s^{-1}$ .

**Figura 8:** Características de ondas.



Fonte: < <http://fisicanacabeca.blogspot.com> >.

O fenômeno da difração foi observado pelo físico e matemático Francesco Maria Grimaldi (1618-1663) sendo os resultados publicados postumamente em 1665, mas só foi explicada por Fresnel (1788-1827) em 1817, através da sua teoria matemática para a

difração da luz baseada na hipótese ondulatória de Huygens, quando ganhou o prêmio oferecido pela Academia de Ciências de Paris (HALLIDAY; RESNICK; WALTER, 2009, p. 82).

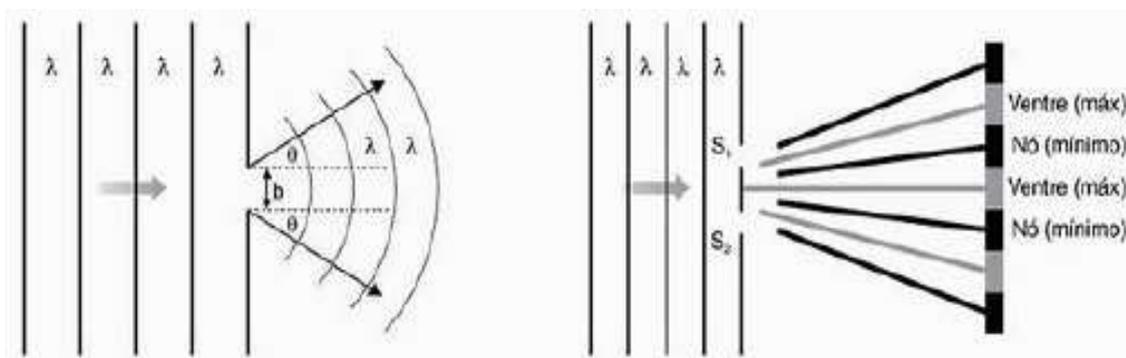
Este fenômeno consiste na possibilidade de uma onda contornar o obstáculo que se interpõe à sua frente, e ocorre para qualquer tipo de onda, mecânica ou eletromagnética (Ibid.).

Em 1801, o médico Thomas Young (1773-1829) demonstrou, através de um experimento com dupla fenda, a interferência luminosa, exaltando a natureza ondulatória da luz (NUSSENZVEIG, 1998, p. 51).

Denomina-se interferência ao efeito da superposição de duas ou mais ondas (Ibid.). A interferência é dita construtiva quando a superposição ocorre com dois pulsos de mesma frequência e em concordância de fase. Já, ela é dita destrutiva quando a superposição ocorre com dois pulsos de mesma frequência e oposição de fase.

As “regiões nas quais as cristas (ou os vales) de ambas as ondas se cortam são de interferência construtiva; já as regiões nas quais as cristas de uma onda se cruzam com os vales da outra são de interferência destrutiva” (DURÁN, 2003, p. 265).

**Figura 9:** Fenômenos de difração e interferência numa onda.



Fonte: DURÁN (2003, p. 265).

A velocidade da luz e de qualquer outro tipo de onda eletromagnética no vácuo é definida precisamente por  $c = 299\,792\,458$  m/s (HALLIDAY; RESNICK; WALTER, 2009, p. 6).

O ano de 1905 foi considerado como o “ano miraculoso de Albert Einstein”. Com sua teoria da relatividade restrita, Einstein (1879-1955) postulou a constância da velocidade da luz no vácuo ( $c$ ), o que causou consequências drásticas no desenvolvimento científico.

A invariância da constante universal  $c$  para todos os referenciais implicou em um novo padrão de medida do metro, ou seja, “ao medir o tempo de trânsito de um pulso luminoso entre dois pontos não estamos na verdade medindo a velocidade da luz e sim, a distância entre os pontos” (HALLIDAY; RESNICK; WALTER, 2009, p. 6).

Sabendo-se a velocidade da luz no vácuo, pôde-se calculá-la em outros meios como o ar e a água ao sofrer refração. Na refração, ocorre mudança na direção de propagação dos raios luminosos, e é essa mudança, nas diversas partes do olho, que produz a sua focalização na retina (OKUNO et al., 1982, p. 272).

Ao chegar na retina, parte do olho que é sensível à luz, há “conversão da imagem luminosa em impulsos elétricos nervosos, os quais são enviados ao cérebro para serem processados” (Ibid.).

Se o fóton da radiação luminosa tiver energia suficiente para que ocorra uma reação fotoquímica, origina um potencial de ação e o fóton é detectado pelo olho. Contudo, há os casos em que eles são absorvidos antes de atingirem a retina (energia superior a necessária para iniciar uma reação química) e não são detectados. O que explica a faixa de radiação eletromagnética visível, compreendida em comprimentos de onda entre 4000 Å a 7000 Å (Ibid.).

A “visão das cores vai muito além da simples absorção e reflexão de determinados comprimentos de onda da luz. É um fenômeno que requer uma abordagem bem mais ampla e multidisciplinar do conhecimento” (LORETO; SARTORI, 2008, p. 268). A figura a seguir mostra a relação entre áreas do conhecimento sobre a visão.

**Figura 10:** Relação entre diferentes áreas do saber associadas ao tema visão.

Conhecimento	Físico		Biológico	Psicológico
Elemento(s)	Fonte de Iluminação	Características da Matéria	Sistema Visual	Ilusão
Propriedade ou Fenômeno	Faixas de Radiação (comprimentos de onda ou frequências)	Absorção, Reflexão, Transmissão	Sensibilidade dos Cones (diferentes respostas às diferentes frequências)	Engano na Interpretação em nível Cerebral (processamento)

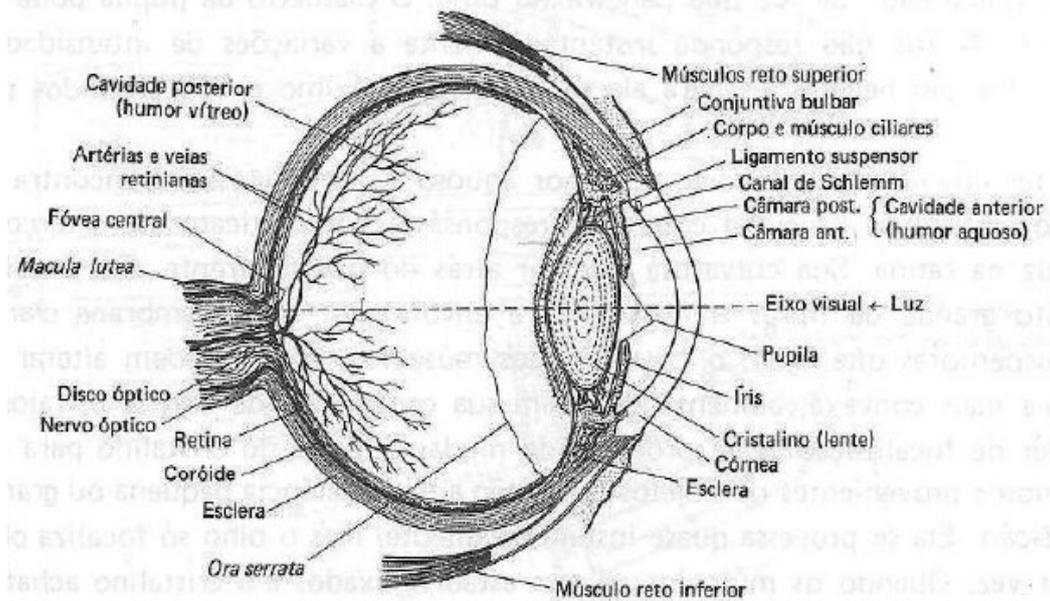
Fonte: LORETO; SARTORI (2008, p. 268).

O processo da visão é um conjunto de fenômenos físico-químicos e processos fisiológicos, sendo importante para a apreciação completa dos fenômenos naturais, ultrapassar os limites de apenas uma área do conhecimento.

É fundamental compreender a estrutura do olho e suas funcionalidades e como estão interligadas com o sistema nervoso.

O olho humano possui estrutura similar a uma câmera fotográfica comum. É constituído por um sistema de lentes, “um sistema de diafragma variável e uma retina que corresponde a um filme a cores” (OKUNO et al., 1982, p. 271).

**Figura 11:** Secção sagital do olho humano.



Fonte: OKUNO et al. (1982, p. 271).

Algumas características gerais do olho são: alto sistema de focalização, o qual permite enxergar objetos a 25 cm de distância do olho a objetos mais distantes; o controle da quantidade de luz que entra no olho pela íris; eficiência na nitidez de visão de objetos em ambientes com muita ou pouca iluminação; visão angular diversificada, sendo a horizontal de 90° na direção da têmpora e 50° na direção do nariz e a vertical de 50° para cima e 65° para baixo, a partir do ponto central do olho; a imagem formada na retina é invertida (OKUNO et al., 1982, p. 272).

**Figura 12:** Índice de refração das partes transparentes do olho humano.

Parte do olho	Índice de refração
Córnea	1,37-1,38
Humor aquoso	1,33
Cristalino	1,38 a 1,41
Humor vítreo	1,33

Fonte: OKUNO et al. (1982, p. 272).

A luz entra pela córnea, que é a maior responsável pela focalização da luz na retina e, em seguida, encontra com um fluido claro chamado de humor aquoso. Além de manter a pressão do olho em 15 mmHg, o humor aquoso é o responsável por fornecer nutrientes a estruturas que não são vascularizadas (Ibid.).

Em seguimento, tem a íris que possui músculos capazes de se contraírem ou se dilatarem, controlando a quantidade de luz que entra no olho e alterando o tamanho da pupila. Esta corresponde a uma abertura por onde a luz entra (Ibid.).

Após atravessar as estruturas supracitadas, a luz encontra outra lente chamada de cristalino, o qual também é responsável pela focalização da luz na retina.

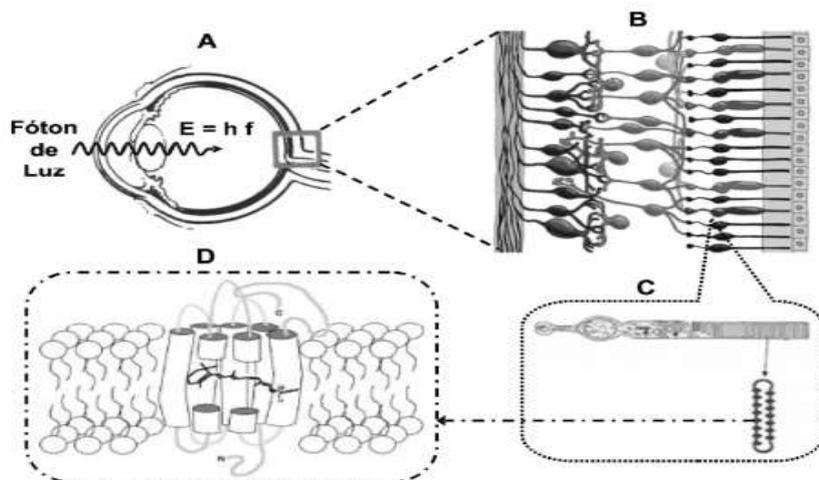
Entre o cristalino e a retina, encontra-se uma substância gelatinosa chamada de humor vítreo. Por ter o índice de refração similar ao do cristalino, mantém a direção dos raios luminosos que passaram pela lente (Ibid.).

Em seguida, os raios luminosos chegam à retina. Ela está localizada na parte interna do olho e tem aproximadamente 0,5 mm de espessura. Nela, estão presentes muitos nervos, e é onde ocorre a transformação da informação luminosa em impulsos elétricos que serão enviados para o cérebro, mais precisamente no córtex visual, que fará a interpretação das formas, cores, percepção de movimentos e sobreposição de imagens captadas pelos dois olhos (OKUNO et al., 1982, p. 273).

Essa etapa da formação da imagem na retina ocorre analogamente ao funcionamento de uma câmera fotográfica: após a refração da luz na lente, a imagem é formada no filme invertida. Contudo, na visão, o cérebro é o responsável por interpretar a imagem.

A seguir (Figura 13), está representado o olho humano com seus componentes principais no mecanismo da visão humana:

**Figura 13:** Estrutura do olho humano.



Fonte: LORETO; SARTORI (2008, p. 272).

Na parte A, tem-se o olho humano recebendo energia luminosa de um fóton de luz. Em B, há a ampliação da retina, em que se visualiza as células nervosas e as fotorreceptoras. Para melhor compreensão das células fotorreceptoras, através de sua ampliação, em C, destaca-se a rodopsina presente nelas. Já em D, cada complexo de rodopsina contém uma molécula de retinal (LORETO; SARTORI, 2008, p. 272).

Estima-se que o homem tenha 6,5 milhões de cones em cada olho, essas células são sensíveis a luz correspondente às cores primárias (azul, verde e vermelho) e, portanto, responsáveis por uma visão mais detalhada durante o dia. As demais cores são obtidas através da combinação da resposta dos diversos cones (Ibid.).

Já os bastonetes estão estimados em 120 milhões por olho, são pouco sensíveis às cores, mas funcionam bem com luzes de baixa intensidade, por isso, são responsáveis pela visão acromática – preto e branco (Ibid.).

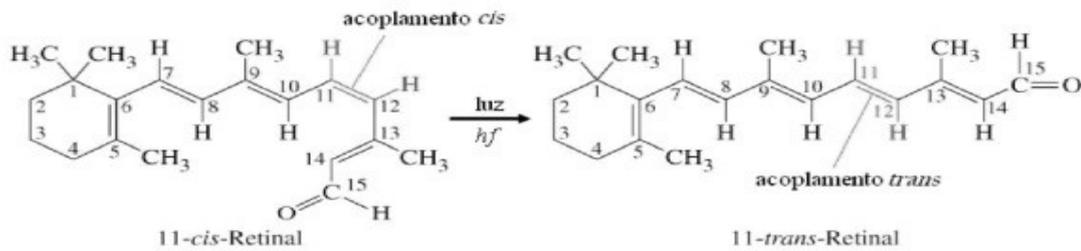
Cada bastonete é formado por milhões de moléculas de rodopsina (pigmento fotorreceptor). Essas moléculas são compostas por uma proteína e por um derivado da vitamina A. Por essa razão, a importância da ingestão de vitamina A no auxílio à visão (Ibid.).

A rodopsina é decomposta em outros componentes, a principal é a rodopsina ativada, pois é ela que produz os impulsos elétricos que serão interpretados como luz pelo cérebro (Ibid.).

As variações estruturais ao redor de uma ligação dupla na porção retinal da molécula inicia uma série de reações químicas que resultam na visão. Ou seja, o processo envolve um sistema complexo em que o composto em sua forma *cis* é convertido em sua

forma *trans*. A luz absorvida é deslocada através de ligações duplas alternadas (LORETO; SARTORI, 2008, p. 272).

**Figura 14:** Conversão da porção retinal, resultando na visão.



Fonte: LORETO; SARTORI (2008, p. 272).

A luz como fóton (partícula) fornece energia eletromagnética do pulso luminoso para ser transformado em pulso elétrico que será conduzido pelo nervo ótico (localizado na retina) até a parte detrás do cérebro (córtex visual) para ser decodificado (OKUNO et al., 1982, p. 273).

Contudo, se o fóton tiver frequência inferior a limite (energia insuficiente para iniciar uma reação fotoquímica), por exemplo, na faixa do infravermelho, ele não será detectado pelo olho humano. Já quando ele possui energia acima da necessária para a reação (fóton ultravioleta), ele é absorvido antes de chegar à retina (Ibid.).

$$E = h.f \quad (11)$$

Em que,

E = energia do fóton, em J (Joules),

h = constante de Planck ( $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{J.s}$ ) e

f = frequência, em Hz.

Quanto maior é a frequência, maior é a energia do fóton.

E é justamente por esta razão que há uma faixa de radiação eletromagnética visível ao olho humano e outra faixa em que não temos essa percepção, exceto alguns animais a tem.

A **cor** é a resposta de nossos olhos às **frequências** da luz (sensação visual), ou seja, cada cor tem uma frequência (Ibid.).

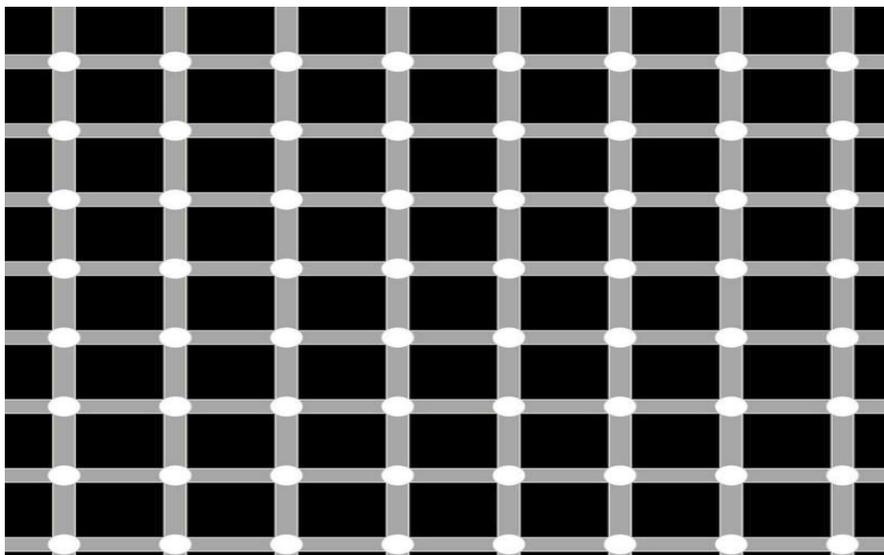
Os objetos vermelhos absorvem todos os componentes da luz branca e refletem apenas o vermelho.

O cérebro é o responsável por interpretar as cores intermediárias que são combinações das cores primárias: azul, verde e vermelho. Quando há ausência de um dos cones sensíveis a uma determinada cor, ocorre o daltonismo (Ibid.).

A visão humana é altamente adaptável e o cérebro interpreta as informações recebidas pelos olhos a fim de perceber uma imagem aceitável, embora nem sempre precisa. Todavia, quando são fornecidos certos sinais que, apesar de contraditórios, são igualmente aceitáveis, o sistema visual interpreta-os objetivamente, ocasionando as ilusões de ótica (BRASIL, 1964).

Em seguida, é exemplificada, através de uma ilustração, a ilusão de ótica:

**Figura 15:** Grade cintilante de Lingelbach



Fonte: <<http://voupassar.club/ilusoes-de-otica/>>.

Em 1870, Ludimar Hermann (1838-1914) observou manchas negras nas interseções das linhas formadas por quadrados negros em um fundo branco. Na verdade, essas manchas são visualizadas devido a uma ilusão de ótica, chamada de ilusão da grelha de Hermann. E, ao observar diretamente a interseção, as manchas desaparecem (SECKEL, 2006).

A figura acima (Figura 15) é uma variação da ilusão de Hermann, conhecida como ilusão da grelha cintilante de Lingelbach (1622-1674). As duas ilusões são similares, exceto por esta última apresentar pontos brancos nas interseções das linhas, os quais parecem cintilar. Já a de Hermann, não possui pontos nas interseções (Ibid.).

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados uma breve abordagem histórica sobre o livro didático, alguns aportes teóricos sobre o ensino de física e sobre o material didático alvo desta investigação. Em seguida, apresentar-se-ão as características da pesquisa, sujeitos e instrumentos.

#### 3.1 O ENSINO

O tópico faz uma breve abordagem histórica sobre o livro didático e a sua relação com o ensino, tecendo comentários sobre livros didáticos específicos. Faz também algumas considerações sobre o ensino de Física e sobre o material didático proposto.

##### 3.1.1 O livro didático

Com o surgimento da imprensa no final do século XV, deu-se início à transmissão de conhecimento através da escrita, ao que antes era majoritariamente transmitido por meio da oralidade.

A origem do livro didático antecede à imprensa. Os estudantes produziam seus cadernos de textos que posteriormente eram usados para revisão de conteúdos. Entretanto, os livros desse tipo foram os primeiros a serem reproduzidos em série após o surgimento da imprensa e ganharam o título de conterem as ‘verdades’ científicas universais (GATTI JÚNIOR, 2004, p. 36).

Livro didático, segundo o dicionário Houaiss (2001, p. 1190), é o livro “adotado em estabelecimentos de ensino, cujo texto se enquadra nas exigências do programa escolar”.

No Brasil, o livro didático foi adotado no período da ditadura, usado como instrumento de ensino nas escolas com a finalidade de orientar aluno e professor, através de um roteiro, no processo de ensino e aprendizagem. Desde então, é o instrumento de ensino mais usado pelos professores. Segundo Romanatto (2009, p. 1):

O livro didático no Brasil, com honrosas exceções, sempre foi considerado de qualidade duvidosa e não cumpre seu papel de apoio ao processo educacional. Muitos são autoritários e fechados, com propostas de exercícios que pedem respostas padronizadas, apresentam conceitos como verdades indiscutíveis e

não permitem a alunos e professores, um debate crítico e criativo que é uma das finalidades do processo educacional.

Por esta razão, nos últimos 20 anos, a qualidade dos livros didáticos tem sido tema de pesquisas com grande apoio do governo Federal (ALVES, 2005, p. 14).

Em 1996 houve a preocupação do Estado em direcionar e unificar a educação de acordo com as leis e normas educacionais com o auxílio do livro didático e, com ele, programas de investimento pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) em materiais com potencial de aprendizagem, como o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) (MUNAKATA, 1999).

Algumas pesquisas nacionais foram realizadas com o intuito de analisar os livros didáticos em relação à abordagem de conteúdos e à sua forma.

O guia de livros didáticos do Programa Nacional do Livro Didático (GPNLD) foi uma dessas pesquisas, criado pelo governo Federal com o objetivo de nortear as instituições públicas em relação ao livro didático e a seus conteúdos de forma a avaliá-los qualitativamente.

Os livros aprovados no PNLD são sugeridos às escolas que, através de uma gestão escolar, escolhem e adotam um livro didático que esteja em conformidade com o seu projeto político pedagógico.

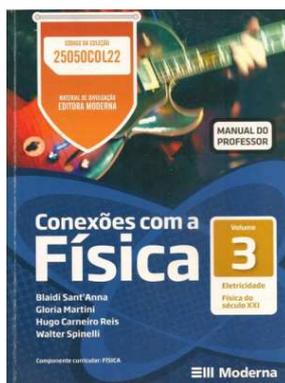
Segundo consta no GPNLD:

sugere-se fortemente que os professores de cada escola pública de ensino médio reúnam-se, ao início do processo de planejamento escolar anual, para consultar, estudar e debater as resenhas constantes deste Guia, de modo que se efetive, coletivamente, uma escolha cuidadosa da obra didática que esteja mais adequada à consecução das definições, propostas e prioridades presentes no Projeto Político-Pedagógico da escola (BRASIL, 2012, p. 9).

Os critérios utilizados pela comissão avaliadora dos livros didáticos inscritos no PNLD de 2012, com caráter eliminatório, são critérios gerais das disciplinas e específicos da área, como obediência à Lei de Diretrizes e Bases (LDB) e ao PCNEM, coerência e adequação da abordagem teórico-metodológica assumida pela obra e se o material escolar traz discussões sobre Ciências, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (BRASIL, 2012, p. 12).

Abaixo, serão apresentados os livros de Física mais usados pelas escolas estaduais no Nível Médio que foram avaliados pelo GPNLD de 2012, com seus respectivos resumos das resenhas.

**Figura 16:** Conexões com a Física  
 Blaidi Sant'Anna  
 Glória Martini  
 Hugo Carneiro Reis  
 Walter Spinelli  
 Editora Moderna



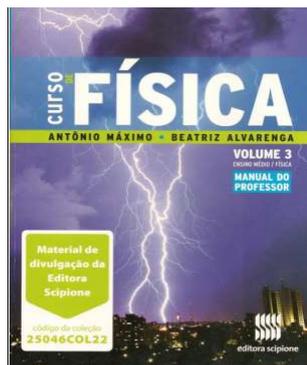
Fonte: SANT'ANNA; MARTINI; REIS; SPINELLI (2010)

Esta coleção, apesar de trabalhar os conteúdos de forma tradicional, é também contextualizada, contendo alguns boxes com informações atuais sobre História da Ciência, tecnologia e Física Moderna. Além disso, incentiva as atividades investigativas pelo aluno a fim de verificar o senso comum.

O livro dispõe para o professor um Manual que possibilita o uso adequado do material didático, com instruções e conteúdos sobre a História da Ciência e os experimentos propostos, o que colabora para que as aulas sejam mais precisas quanto à proposta (BRASIL, 2012, p. 43).

**Figura 17:** Curso de física  
 Antônio Máximo Ribeiro da Luz  
 Beatriz Alvarenga Alvarez

Editora Scipione



Fonte: LUZ; ÁLVARES (2010)

Esta coleção desenvolve os conteúdos de forma tradicional, explorando a formulação matemática através da fixação de exercícios e o estímulo à investigação por experimento, na tentativa de tornar o ensino atrativo.

No manual do professor há uma sessão com reflexões sobre a Prática Pedagógica, o que permite ao mesmo organizar melhor o curso e repensar as suas aulas.

O livro traz uma abordagem histórica que permite ser explorada em conjunto com os temas atuais relacionados à tecnologia.

A avaliação do GPNLD de 2012 revela que “esta coleção apresenta uma boa organização sequencial dos conteúdos conceituais e a proposta metodológica adotada favorece uma apresentação dos principais conceitos, leis e teorias da Física” (BRASIL, 2012, p. 38).

**Figura 18:** Física aula por aula  
Benigno Barreto Filho

Claúdio Xavier da Silva

Editora FTD



Fonte: SILVA; BARRETO FILHO (2010)

Esta coleção introduz História e Filosofia da Ciência e o uso de tecnologias de forma interdisciplinar. Contudo, é estruturada de forma tradicional. Em algumas unidades há “discussões sobre alguns aspectos sociais, políticos e econômicos, que podem ser complementadas por meio de textos presentes no Manual do Professor” (BRASIL, 2012, p. 67).

Como crítica negativa está justamente a sua estrutura linear e tradicional que “poderá se descaracterizar e assim dificultar um efetivo envolvimento dos alunos com a Física a ser ensinada” (BRASIL, 2012, p. 69).

Pode-se notar, através das resenhas apresentadas e de uma análise do currículo mínimo de 2012, que os livros de Física adotados pelas escolas buscam cumprir as exigências do currículo, no entanto, não são suficientes para o professor de Física utilizar como único apoio para suas aulas, já que alguns conteúdos não são abordados pelos livros como norteado pelo currículo.

Em contrapartida, os professores, como algumas pesquisas indicam, buscam suporte em outros meios de se obter informação e, alguns, utilizam apostilas confeccionadas por eles mesmos para tratar de assuntos que não são ou não foram abordados corretamente nos livros didáticos.

Segundo a pesquisa realizada por Bendia Filho e Ribeiro (2013, p. 43), em que uma amostra de professores da rede estadual de ensino, respondeu à pergunta: “Quais as dificuldades que você está encontrando no currículo mínimo?”, todos os entrevistados que responderam, disseram que as dificuldades estavam relacionadas ao material didático e que demandava tempo para confeccionar um material alternativo.

Diante dessa problemática no ensino, é que se tornou pertinente a confecção do material didático proposto por essa pesquisa e a sua avaliação pelos docentes de Física da rede estadual, juntamente com as observações da autora em sua aplicação em sala de aula.

A sequência didática foi aplicada numa turma de 3º ano do ensino médio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, campus Campos – Centro durante o meses de fevereiro e março de 2018.

### **3.1.2 O ensino de Física**

Os professores, em sua maioria, têm o livro didático como instrumento principal de embasamento teórico e didático (VERCEZE; SILVINO, 2008, p. 88). Em função da escolha efetuada, é possível que alguns conteúdos possam ser ensinados com enfoques

inadequados, contendo erros conceituais e descontextualizados do cotidiano do aluno, o que tem implicações na aprendizagem. Além disso, considera-se importante que os conteúdos estejam atualizados e articulados com as tecnologias da atualidade, do ponto de vista da física.

Seguindo esta perspectiva, a elaboração do material didático proposto nesta pesquisa tem essa preocupação de contextualização do ponto de vista didático da física, de acordo com as orientações do Currículo Mínimo Estadual do Rio de Janeiro sobre o ensino de ondas eletromagnéticas na visão (RIO DE JANEIRO, 2012, p. 10).

Como instrumento de referência para comparação e confecção do material didático, escolheu-se o livro *Física aula por aula* (SILVA; BARRETO FILHO, 2010). O critério de escolha está baseado no estágio curricular supervisionado que fiz no Colégio Estadual Dr. Thiers Cardoso, no ano de 2012. Contudo, a finalidade principal dessa escolha é uma tentativa de complementar a abordagem de ondas eletromagnéticas de forma articulada com o Currículo e está atrelada ao grande uso desse livro nas escolas estaduais da cidade de Campos dos Goytacazes durante aquele período.

No capítulo 17 é introduzido o estudo sobre ondas eletromagnéticas.

Para melhor compreensão da análise do conteúdo de física do livro didático, procurou-se responder questões adaptadas do trabalho de pesquisa de Cavalcanti (2012), conforme os quadros a seguir:

### QUADRO 3 - Análise da composição geral dos textos do livro ‘física aula por aula’.

Item	Descrição
1	<p><b>O texto apresenta de forma correta, contextualizada e atualizada os conceitos? As informações são claras e adequadas ao aluno desse nível de ensino?</b></p> <p>Sim, os conceitos apresentados são atuais e expostos de forma correta. O livro inicia a discussão do assunto partindo de uma situação-problema, de forma a fazer com que o aluno procure responder a questão com seu conhecimento prévio. Em seguida, o conteúdo é gradativamente explicitado, com uma linguagem simples e adequada ao nível de ensino.</p>
2	<p><b>O texto disponibiliza informações que favoreçam a compreensão de ondas eletromagnéticas?</b></p> <p>O texto utiliza de forma breve a abordagem histórica de maneira a possibilitar uma melhor compreensão dos conceitos envolvidos e, através de quadros, levanta discussões associadas ao cotidiano.</p>
3	<p><b>Apresenta o conteúdo em uma sequência didática adequada e utiliza um vocabulário científico na sua construção?</b></p> <p>O conteúdo é organizado de forma a facilitar a aproximação do aluno, com adequação da linguagem científica.</p>

	As informações complementares vêm dispostas em pequenos blocos e dialogam com os textos conceituais. Sendo a leitura deles um instrumento para auxílio na aprendizagem.
4	<b>O texto busca relacionar o conteúdo de Ondas Eletromagnéticas com o cotidiano do aluno e com as aplicações tecnológicas?</b> Ao abordar ondas de rádio, de TV e outros tipos de ondas eletromagnéticas usadas no dia a dia e de alguns usos delas na medicina, o autor aproxima o aluno de um ambiente de contextualização.
5	<b>O texto transmite valores que despertem no aluno o respeito pelo meio ambiente e pelas pessoas?</b> Em um tópico sobre luz visível, o autor chama a atenção do aluno aos riscos à saúde quando o homem se sujeita à luz solar por períodos longos, além disso, é citado o perigo da exposição prolongada ao raio X.
6	<b>O texto discute o funcionamento da visão relacionando-a com ondas eletromagnéticas?</b> A única relação com o olho humano explicitada está relacionada com a faixa de luz visível, perceptível ao olho, sem associar a luz como o fator primordial à visão e, dessa maneira, o estudo de ondas eletromagnéticas nesse mecanismo.
7	<b>Apresenta o desenvolvimento histórico de ondas eletromagnéticas e traz informações sobre o seu uso no Brasil?</b> O autor faz um breve desenvolvimento histórico sobre ondas eletromagnéticas e explicações sobre o uso delas na tecnologia.
8	<b>O texto sugere leituras complementares para aprofundar os conhecimentos do aluno e despertar no mesmo uma postura ética baseada em conhecimentos científicos?</b> Não.
9	<b>O texto apresenta sugestão de algum experimento?</b> Não.

Fonte: Elaboração própria.

#### QUADRO 4 - Análise da proposta de atividades do livro 'física aula por aula'.

Item	Descrição
1	<b>As atividades propostas estão relacionadas com os conteúdos?</b> Em parte. As atividades propostas vêm divididas em duas seções: “Elabore as resoluções” e “Elabore em casa”. A primeira de cunho conceitual e a segunda voltada para o formalismo matemático. Além disso, no final do capítulo, há questões propostas pelo ENEM. O interessante é que o autor dividiu a colocação das questões no texto, de forma a melhor trabalhar os tópicos já lecionados.
2	<b>Apresenta propostas de atividades para serem desenvolvidas em grupo, despertando assim a cooperação e o trabalho em equipe, valorizando a opinião e o conhecimento de cada pessoa?</b> Neste capítulo (17), não há nenhuma sugestão de discussão do problema com outros colegas de classe. Portanto, o texto não favorece a interação e o diálogo entre os alunos, o que não impossibilita que o professor faça uma atividade em grupo com as questões selecionadas pelo autor.

<b>3</b>	<p><b>As atividades favorecem o desenvolvimento de um senso crítico em relação ao tema e valorizam os conceitos físicos?</b></p> <p>Há valorização dos conceitos físicos nos textos e nas atividades propostas. E através da compreensão de comprimento de onda e frequência, o aluno pode compreender a diferença entre frequências AM e FM, e as vantagens e desvantagens delas. Dessa forma, permite que ele reflita a importância das faixas de frequência de luz tanto na tecnologia, como na medicina.</p>
----------	--

Fonte: Elaboração própria.

#### QUADRO 5 - Análise das ilustrações do livro 'física aula por aula'.

Item	Descrição
<b>1</b>	<p><b>As ilustrações são objetivas e mantêm relação com o texto?</b></p> <p>Sim, as imagens complementam os textos.</p>
<b>2</b>	<p><b>As figuras possuem identificação no que se refere à legenda e ao título?</b></p> <p>Sim, apesar de não explorar a descrição das legendas.</p>
<b>3</b>	<p><b>As ilustrações retratam a realidade e mantêm uma proximidade temática com o texto?</b></p> <p>Sim, as imagens retratam a realidade, em sua maioria, são fotos reais e estão distribuídas próximas ao texto a que se referem.</p>

Fonte: Elaboração própria.

#### QUADRO 6 - Análise do manual do professor do livro 'física aula por aula'.

Item	Descrição
<b>1</b>	<p><b>O manual apresenta a maneira de utilização do livro de forma clara e coerente com a proposta didático-pedagógica?</b></p> <p>Além de mostrar de forma clara como o professor deve trabalhar o conteúdo, no manual há explicações de cada seção do texto, de forma a auxiliar o docente no uso de cada uma delas.</p>
<b>2</b>	<p><b>Propõe atividades extras e variadas, incluindo experimentos que contemplem o aprofundamento de conhecimento em ondas eletromagnéticas?</b></p> <p>Não, ao menos no capítulo correspondente ao tema. Além disso, tanto no manual do professor, quanto no livro, não há preocupação em explorar o tema de forma diversificada nas atividades propostas, ou seja, há carência de quantidade de exercícios a se trabalhar, o que não significa que há perda de qualidade dessas questões, pelo contrário, pois são muito bem contextualizadas.</p>
<b>3</b>	<p><b>Oferece sugestões de respostas para as atividades propostas no livro do aluno, procurando, sempre que cabível, discutir diferentes estratégias de solução e possibilidades de desenvolvimento das atividades e respostas pertinentes?</b></p> <p>Não.</p>

Fonte: Elaboração própria.

De forma geral, o livro desenvolve o conteúdo de maneira simples e não muito aprofundada. Retirando do conteúdo a física geométrica, conforme sugerido pelo Currículo Mínimo. Entretanto, em momento algum é feita a aproximação do conteúdo com o mecanismo da visão, muito menos, utiliza uma abordagem interdisciplinar, não dialogando com os objetivos e metas propostos pelo Currículo Mínimo estadual do RJ de 2012 sobre o tema.

Diante dessas lacunas que a análise do livro evidencia, não somente do que foi discutido, mas também da ausência de sugestões ao professor sobre experimentos, textos e sites complementares, o material didático proposto surge como uma possibilidade ao professor de incrementar as suas aulas sobre ondas eletromagnéticas.

### **3.1.3 O material didático proposto**

A proposta pedagógica associada ao material didático (apêndice B, p. 162) sobre visão tem como fundamento teórico-metodológico a História e Filosofia da Ciência e a experimentação, além dos aportes relacionados ao Currículo Mínimo-RJ.

Os objetivos básicos do material são:

- 1- Constituir um instrumental capaz de complementar as aulas de Física sobre ondas, eletromagnéticas na perspectiva do Currículo Mínimo-RJ.
- 2- Colaborar na produção didática de materiais alternativos que vão ao encontro com a proposta curricular supracitada.
- 3- Proporcionar uma base interdisciplinar para melhor compreensão de conceitos.
- 4- Promover aos professores a busca pelo conhecimento em materiais alternativos de autoria própria ou de outrem.

A proposta de intervenção inicia-se com a coleta das concepções prévias dos alunos e, logo em seguida, a abordagem histórica sobre a natureza da luz, questionando como os seres humanos enxergam a fim de levar o aluno a refletir sobre o tema.

Ao decorrer do texto, através de uma linguagem simples e que aproxima o aluno do autor, informações mais complexas são inseridas de forma contextualizada e interdisciplinar.

Com ênfase no processo da visão, sem deixar de explorar conceitos da teoria eletromagnética, o material introduz temas que procuram despertar a curiosidade e que não são muito recorrentes nos livros didáticos como: a forma como os animais enxergam, daltonismo e ilusão de óptica.

Além desses conteúdos de Física, há sugestões de experimentos simples e simulações que promovem interação do aluno com o conteúdo, potencialmente favorecedores da aprendizagem.

Com caráter interdisciplinar, o instrumento didático abrange o mecanismo da visão como um todo, sob a ótica Física, Biológica e Química, permitindo um melhor entendimento desse processo.

Os exercícios propostos estão dispostos no final do material com o intuito de trabalhar as habilidades do aluno durante a intervenção didática, não impedindo que o professor escolha o momento mais adequado para implementá-las.

Ao final, há o caderno de respostas e as referências utilizadas na elaboração do material.

As atividades propostas ao decorrer da sequência didática serão avaliadas através da análise das respostas dos questionários, nas discussões dos experimentos, na apresentação da maquete do olho humano e na resolução dos exercícios.

De uma maneira geral, o material apresenta uma progressão em direção a aprendizagens de maior complexidade, de forma a orientar o professor na melhor sequência de conteúdos a serem trabalhados. Além disso, o leva a refletir sobre a sua prática e avaliação, propondo estratégias de ensino diferenciadas com subsídios na História e Filosofia da Ciência e na experimentação.

Falando agora um pouco sobre a sequência de conteúdo do material, o tema principal é Luz e Visão: entendendo o olho humano como receptor de ondas eletromagnéticas, inicia com uma apresentação destacando a sua utilização, sendo um material introdutório ao ensino de Física para a 3<sup>o</sup> série do Ensino Médio da Rede Estadual, de acordo com a proposta do Currículo Mínimo do Estado do Rio de Janeiro e também como foi preparado de forma a ter uma linguagem simples, dinâmica e contextualizada, abordando o aspecto físico da luz e complementando com os conceitos químicos e biológicos do processo da visão humana. Ao final, espera-se que o aluno possa compreender a evolução das teorias científicas.

Em seguida, o material traz, por meio da abordagem histórica, as diferentes teorias sobre a natureza da luz, antes de concluir esta etapa é feito um breve resumo sobre o tema ondas para que o aluno possa compreender a teoria eletromagnética, culminando no caráter dual da luz.

Após, inicia-se o estudo da interação da luz no olho humano, sendo que nesta etapa é feita uma análise biológica do olho e, química, dos componentes envolvidos neste

processo. Primeiramente, mostra-se o contato da luz na córnea com o efeito da refração, juntamente com a lei de Snell-Descartes, para depois falar da formação da imagem na retina e a interação com as células fotorreceptoras, bem como os componentes químicos da reação envolvida, finalizando esta etapa com o espectro eletromagnético da luz.

Para complementar o estudo da visão humana, o material apresenta temas que se relacionam com o assunto abordado de forma a enriquecer e instigar a curiosidade dos alunos com o daltonismo, os olhos dos outros animais, encerrando com a ilusão de óptica.

São propostos ao final de cada etapa do material, experiências simples e sugestão de sites para melhor ilustrar o processo. Também foram propostos exercícios, tantos práticos quanto conceituais, juntamente com caderno de resposta. O material finaliza com as referências que foram utilizadas na sua elaboração.

Comparando esses elementos com a análise realizada no subtópico 3.1.2 (o ensino de Física) sobre o livro ‘Física Aula por Aula’, pode-se dizer que os livros didáticos que tratam da temática visão e eletromagnetismo não fazem a conexão devida desses assuntos, utilizam a história sem vínculo com a construção de conceitos, mas tem um bom sequenciamento didático. Contudo, não apresentam textos nem atividades complementares que estejam de acordo com os objetivos do material.

Ao elaborar o material, foi discutida a possibilidade da confecção de um suporte paradidático, com o intuito de auxiliar alunos portadores de alguma deficiência visual. Entretanto, fica como sugestão para um futuro trabalho.

## 3.2 A PESQUISA

Em primeiro lugar, serão feitas algumas considerações em relação à pesquisa qualitativa. Em seguida, abordar-se-á o material didático discutindo os aspectos estruturais e de conteúdo e, por fim, são feitos comentários sobre os sujeitos e instrumentos de pesquisa.

### 3.2.1 Pesquisa qualitativa

A pesquisa qualitativa engloba uma grande variedade de denominações: naturalista, pós-positivista, antropológica, etnográfica, estudo de caso, humanista, fenomenológica, hermenêutica, idiográfica, ecológica, construtivista, entre outras (ALVES, 1991). Não é fácil, portanto, caracterizá-la, mesmo porque reflete origem e

ênfase diversas. O termo qualitativo utilizado não quer sugerir uma oposição a quantitativo, constituindo-se uma questão de ênfase e não de exclusividade.

Patton (1986 apud<sup>6</sup> ALVES, 1991) identifica três características que, apesar de não constituírem um consenso absoluto, são tidas por diversos autores como essenciais aos estudos qualitativos:

- visão holística, que parte do princípio que a compreensão de um evento se dá em função da compreensão do contexto;
- abordagem indutiva, em que o pesquisador parte de observações mais livres e durante o processo de coleta e análise dos dados percebe as relevâncias;
- investigação naturalista, em que se minimiza a intervenção do pesquisador no contexto, apesar de aquele ser o principal instrumento de investigação.

O presente trabalho, que busca uma identificação com tais características, tem como foco o estudo da relação entre um material didático diferenciado e a proposta curricular do Estado do Rio de Janeiro para o Ensino Médio, na perspectiva do potencial de ensino de tal material.

Como o objeto de estudo será uma porção restrita da realidade, a tipologia da pesquisa se enquadra no “estudo de caso”. Na educação, esse termo é empregado nas metodologias de pesquisa com o sentido de “focalizar um fenômeno particular, levando em conta seu contexto e suas múltiplas dimensões. Valoriza-se o aspecto unitário, mas ressalta-se a necessidade da análise situada e em profundidade” (ANDRÉ, 2013, p. 97).

Essa abordagem qualitativa de pesquisa “concebe o conhecimento como um processo socialmente construído pelos sujeitos nas suas interações cotidianas, enquanto atuam na realidade, transformando-a e sendo por ela transformados” (Ibid., p. 97).

Peres e Santos (2005 apud<sup>7</sup> ANDRÉ, 2013, p. 97) apontam três pressupostos básicos ao se optar pelo estudo de caso qualitativo. O primeiro pressuposto refere-se à postura crítica e flexível do pesquisador quanto ao seu referencial teórico. O segundo, ao uso de uma diversidade de fontes de extração de dados e dos métodos utilizados para a coleta, a fim de evitar interpretações inequívocas. Já o terceiro pressuposto relaciona-se à descrição rigorosa e precisa da análise dos dados, do que foi observado, buscando de forma intencional divergências (ANDRÉ, 2013, p. 97).

---

<sup>6</sup>PATTON, M. *Qualitative evaluation methods*. Beverly Hills, Sage Publ., 1986.

<sup>7</sup>PERES, R. S.; SANTOS, M. A. Considerações gerais e orientações práticas acerca do emprego de estudos de caso na pesquisa científica em Psicologia. *Interações*, v. X, n. 20, p. 109-126, jul./dez. 2005.

A entrevista, recurso utilizado nesta pesquisa, tem como principais objetivos a descrição de eventos, a análise do desenvolvimento conceitual, o teste da construção de conceitos, a avaliação do delineamento e interpretação da pesquisa, a elaboração de novas questões para entrevistas ulteriores, dentre outros (GASKELL, 2003, p. 65). Nos estudos qualitativos, a entrevista pode possuir um caráter semiestruturado (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 209), que procura suscitar nos entrevistados comentários sobre os temas em foco, evidenciando os “processos e significados” em jogo.

### 3.2.2 Sujeitos

O grupo alvo desta pesquisa consiste em 5 professores de diferentes escolas da Rede Estadual do Rio de Janeiro, 2 alunos do curso de Licenciatura em Ciências da Natureza (Física) de Campos dos Goytacazes-RJ e a professora regente da turma de aplicação do IFFluminense.

A seguir são apresentados os critérios de seleção dos entrevistados: Maria, Pedro, José, Paulo, Adelina, Josi, Manoel e Evelyn<sup>8</sup>.

#### Critérios para escolha dos entrevistados

**Maria** foi escolhida devido a sua experiência na Rede Estadual de ensino e afinidade com o tema eletromagnetismo, em função de ministrar aulas sobre tal tema durante vários anos. Em conversas informais, sua fala embasa-se na forma em que os alunos aprendem.

**Pedro** é um professor preocupado com a boa formação dos alunos e busca incentivá-los com novas técnicas de ensino.

**José** atua no terceiro ano desde que ocorreram as mudanças no Currículo Mínimo, em turmas bastante diversificadas, podendo, desta maneira, trazer uma visão global do material.

**Paulo** é um professor experiente, com mais de dez anos atuando na área estadual de educação, possui pesquisas acadêmicas e grande preocupação com o ensino público.

---

<sup>8</sup> Para garantir o anonimato dos sujeitos, foram citados nomes fictícios. Os critérios são colocados *a priori* como forma de orientação para a escolha dos sujeitos.

**Adelina** teve uma formação acadêmica com ênfase na prática pedagógica, tendo conhecimento das teorias da aprendizagem. Leciona para turmas de todos os anos do ensino médio.

**Josi**, durante a graduação, participou de projetos que envolvem intervenções didáticas como o Pibid e aulas de monitoria, tendo conhecimentos específicos sobre pedagogia e dinâmica na sala de aula. Sua formação inicial enfatiza o uso de estratégias didáticas diferenciadas.

**Manoel**, aluno já bem avançado no curso de Licenciatura em Física, foi selecionado devido ao seu bom aprofundamento teórico e seu interesse em experimentação, podendo oferecer boas contribuições na análise do material, bem como nos exercícios propostos.

**Evelyn** é doutora em ensino de Ciências e atua como professora de física na rede pública federal de ensino com turmas de 3ª série do ensino médio integrado. É a professora regente da turma que foi selecionada para a aplicação do produto.

### 3.2.3 Instrumentos

A elaboração do roteiro de entrevista (apêndice A, p. 161), semiestruturado, teve como critério principal a avaliação do material didático confeccionado através de perguntas pertinentes que evidenciassem seu potencial significativo. As perguntas refletem temas potencialmente relevantes para a investigação.

Conforme Stake (1995 apud<sup>9</sup> ANDRÉ, 2013, p. 100), o roteiro deve buscar os posicionamentos pessoais dos entrevistados.

Todas as entrevistas foram áudio-gravadas permitindo um relato fiel sem a perda de detalhes importantes para a análise de dados.

Para a compreensão do objeto de pesquisa, será realizada uma descrição detalhada das observações da autora após a aplicação do produto educacional na turma de 3º ano do ensino médio do IFF.

Stake (1995 apud<sup>10</sup> ANDRÉ, 2013, p. 100) afirma que “a história só começa a tomar forma durante as observações e, geralmente, só emerge na fase do relatório final”.

Outros instrumentos utilizados para a coleta de dados são as questões presentes no material e o questionário disponível no aplicativo online *plickers*.

---

<sup>9</sup> STAKE, R. E. **The art of study research**. London: SAGE Publications, 1995.

<sup>10</sup> Ibid.

## Roteiro de entrevista

Um roteiro previamente elaborado com o intuito de adequar as respostas aos objetivos pretendidos é a característica principal de uma entrevista semiestruturada.

Conforme Triviños (1987, p. 146), a entrevista semiestruturada faz levantamentos que têm como base teorias que se relacionam com a pesquisa, fornecendo respostas mais livres que tocam em pontos abrangentes não padronizados.

A **questão 1** é ampla e aberta, pois visa revelar os pontos do material didático que mais se destacam para o entrevistado. Ficam evidentes nesse momento suas impressões mais marcantes, fornecendo assim os indícios de temas para suas análises.

Com o objetivo de frisar a adequação do material, a **questão 2**, ponto central da pesquisa, deseja saber se o material proposto está adequado ao Currículo Mínimo do Estado do Rio de Janeiro.

Sendo uma das propostas facilitar o ensino, a **questão 3** aborda se a linguagem utilizada está compatível à compreensão dos alunos sobre o tema.

Com a utilização da História e Filosofia da Ciência inseridas nos textos do material, a **questão 4** que trata dos aspectos motivacionais, pretende saber se o material estimula a atitude positiva dos alunos frente ao ensino de Física.

A fim de ampliar potencial didático do material, na **questão 5** pede-se aos entrevistados contribuições ou sugestões.

A **questão 6** tenciona, do ponto de vista da aprendizagem significativa, se o material instiga o aluno a explicitar seus conhecimentos prévios sobre o tema abordado.

A **questão 7**, última da entrevista, retoma o objetivo da primeira, ou seja, evidenciar as lembranças mais marcantes explicitadas nas questões anteriores.

## 4 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Este capítulo é dedicado à descrição do produto educacional. Primeiramente, é apresentado o roteiro ou estrutura do produto educacional. Em seguida, são feitas considerações sobre as bases teórico-metodológicas da pesquisa e do produto educacional proposto. Por fim, é realizada uma descrição sobre os conteúdos específicos abordados no material didático.

### 4.1 O PRODUTO EDUCACIONAL

Em outubro de 2010, com o objetivo de iniciar a escolha de temas para elaboração do produto educacional (por ocasião do TCC de graduação), entrou-se em contato com os responsáveis pela estruturação do currículo mínimo de física do RJ através do endereço de *email* <fisica.seeduc@gmail.com> com o intuito de filtrar temas da física aplicados a turmas do 3º ano do ensino médio que não eram abordados pelos livros didáticos, com o enfoque do currículo. Obteve-se, como retorno, a não existência de material didático com a abordagem do olho humano como receptor de ondas eletromagnéticas.

Por essa razão, a proposta didática diferenciada sobre luz e visão foi desenvolvida para o ensino introdutório de olho humano, como receptor de ondas eletromagnéticas, para professores de física da rede estadual de ensino, de acordo com o Currículo Mínimo do Estado do Rio de Janeiro. Essa proposta deve ser aplicada em turmas de terceiro ano do ensino médio ao longo do 3º bimestre em, aproximadamente, 16 aulas de 50 minutos.

Como subsídios para as estratégias didáticas, utilizaram-se a História e Filosofia da Ciência, a experimentação, a contextualização e interdisciplinaridade.

Para melhor compreensão da intervenção didática, em seguida, há um roteiro que explicita a estrutura do material, subdividido em **10 momentos investigativos**, conforme abaixo:

#### QUADRO 7 - Síntese dos momentos investigativos.

MOMENTOS INVESTIGATIVOS	DESCRIÇÃO
1º MOMENTO INVESTIGATIVO	Coleta das concepções prévias.
2º MOMENTO INVESTIGATIVO	Aula expositiva dialogada (natureza da luz) e experimento.
3º MOMENTO INVESTIGATIVO	Aula expositiva dialogada (introdução ao eletromagnetismo) e experimento.
4º MOMENTO INVESTIGATIVO	Simulações: a natureza da luz.
5º MOMENTO INVESTIGATIVO	Aula expositiva dialogada (estrutura do olho humano).
6º MOMENTO INVESTIGATIVO	Aula expositiva dialogada (fenômeno da refração).
7º MOMENTO INVESTIGATIVO	Aula expositiva dialogada (Lei de Snell- Descartes, formação da imagem no olho e visão).
8º MOMENTO INVESTIGATIVO	Aplicação do conhecimento: daltonismo, visão em outros animais e ilusão de ótica.
9º MOMENTO INVESTIGATIVO	Avaliação através de questões.
10º MOMENTO INVESTIGATIVO	Apresentação dos seminários.

Fonte: Autoria própria.

## Roteiro do produto educacional

### 1º MOMENTO INVESTIGATIVO: coleta de concepções alternativas dos alunos.

De maneira a coletar dados referentes ao conhecimento prévio dos alunos sobre a temática a ser apresentada, após a exibição de um vídeo introdutório<sup>11</sup> (sobre a luz), será aplicado um questionário com perguntas relacionadas à natureza da luz e sobre a visão (Apêndice B, p. 167).

Ausubel (1980, p. 4) reduz a psicologia educacional ao seguinte princípio: “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Averigue isso e ensine-o de acordo”.

Aquilo que o aprendiz já sabe não seria apenas um pré-requisito para aprender determinado conteúdo, mas está relacionado com a própria estrutura cognitiva do aprendiz e que facilitaria a aquisição de um novo conhecimento (MOREIRA, 2016, p. 6).

Averiguar isso não é uma tarefa simples, mas bastante necessária. O desafio é realizar um mapeamento da estrutura cognitiva preexistente e ensinar de acordo com uma sequência programada eficiente utilizando “recursos e princípios que facilitem a aprendizagem de maneira significativa” (Ibid.).

Com o intuito de facilitar a identificação dos conceitos organizadores básicos, faz-se uso do vídeo inicial sobre a luz com algumas questões que funcionam como um

<sup>11</sup> Referência do vídeo < <https://www.youtube.com/watch?v=9XuOAGtIcIo&t=1692s>>.

organizador prévio, o que permite preparar a ancoragem de ideias e, através do questionário, coletar as concepções prévias dos alunos, explicitando seus subsunçores<sup>12</sup> sobre o tema (Ibid., p. 48).

Partindo dos princípios da diferenciação progressiva e reconciliação integradora de Ausubel, neste caso, esses conceitos “estão sendo tratados como princípios programáticos instrucionais potencialmente facilitadores da aprendizagem significativa” (Ibid., p. 64) para obter uma organização sequencial que propicie um material potencialmente significativo coerente. Para isso, o material deverá ter significado lógico e possuir “significado em si mesmo”, o que implica em haver uma boa organização de seu conteúdo em uma estrutura que relacione suas diferentes partes de forma não-arbitrária (POZO, 1998, p. 212).

Por essa razão, os conteúdos selecionados não sobrecarregam o aluno de informações desnecessárias e foram organizados de maneira a facilitar a aprendizagem de conceitos considerados relevantes à estrutura cognitiva do aprendiz e ao currículo mínimo-RJ.

## **2º MOMENTO INVESTIGATIVO:** discussão histórica sobre a natureza da luz.

Leitura do texto histórico **Natureza da Luz**. Ao longo do texto, há questões que deverão ser exaltadas pelo professor a fim de dialogar com o aluno (Apêndice B, p. 168).

A escola tem o papel de desenvolver o pensamento crítico do aprendiz, preparando “o estudante para lidar com as constantes inovações das ciências e tecnologias, além de levá-lo a compreender a articulação entre os conteúdos científicos e seus usos sociais” (PEDUZZI; MARTINS; FERREIRA, 2012, p. 47). Assim, o uso da HFC colabora para a contextualização desses saberes e insere o aluno nos conflitos paradigmáticos que emergem nas revoluções científicas que, segundo Kuhn (1998, p. 32), consistem em um “padrão usual de desenvolvimento da ciência amadurecida”.

Em seguida, Há a exposição da utilidade pedagógica do *blogger* – o professor apresentará o *blogger* **Experiências em Ensino de Física**<sup>13</sup> e justificará a sua criação, mostrando claramente a sua intencionalidade ao utilizar-se dessa estratégia didática.

---

<sup>12</sup> Subsunçor é definido como um conceito ou ideia preexistente na estrutura cognitiva do aluno e que servirá de âncora para uma nova informação, possibilitando que este atribua-a significado (POZO, 1998, p. 214).

<sup>13</sup>O *blogger* criado pela autora deste trabalho está hospedado no endereço eletrônico: <<https://experienciasemensinodefisica.blogspot.com/>>. Com finalidade pedagógica, nele estão presentes orientações sobre a execução das atividades propostas.

Os objetivos da criação do *blog* pelo professor são: compartilhar o conhecimento de física construído em sala de aula e disponibilizar os *links* das atividades avaliativas propostas, assim como suas orientações, de modo a facilitar o acesso à informação e meio de comunicação entre professor e aluno.

Tarefa para casa: Atividade Experimental I – **Medindo a velocidade da luz**. A proposta consiste numa atividade experimental em grupo em que os alunos gravarão um vídeo indicando os materiais utilizados no experimento, mostrando a prática experimental e, com o auxílio do roteiro, respondam as perguntas em forma de apresentação, de acordo com os conceitos físicos relacionados na atividade. Os vídeos serão apresentados para a turma e disponibilizados no *blog*.

Segundo Sekkel e Muramatsu (1976, p. 522) “as demonstrações são de grande utilidade, já que elas geram situações que despertam a atenção e a curiosidade dos alunos, fatores essenciais para que se realize a aprendizagem”. Com essa finalidade, a gravação dos vídeos experimentais, com a posterior reflexão do que foi observado pelos alunos na exibição dos filmes em sala de aula, pode tornar o ensino mais dinâmico.

**3º MOMENTO INVESTIGATIVO:** aula expositiva dialogada com leitura de texto histórico e proposta de realização de experimento.

Texto histórico: **Introdução ao Eletromagnetismo**. Aula expositiva de História e Filosofia da Ciência sobre introdução ao eletromagnetismo (Apêndice B, p. 172), discutindo a evolução histórica dos conceitos relacionados a esse conteúdo da física de maneira a mostrar que a Ciência é mutável e sujeita à refutação de teorias através das revoluções científicas. Dessa forma, busca-se contemplar a visão filosófica do racionalismo crítico que sustenta a física como ciência em construção e passível de revisões (SILVEIRA, 1996).

A leitura coletiva não se limita à expressão oral passiva, mas possibilita a interação dos alunos, envolvendo-os no processo de comunicação a fim de dialogar, especialmente, com o material didático.

Tarefa para casa: Atividade experimental II – **Redes de difração e interferência luminosa** – a atividade proposta consiste na gravação de um vídeo pelo grupo demonstrando as etapas experimentais, explicando os conceitos de difração, o padrão de interferência encontrado e a explicação desse padrão, seguindo o roteiro entregue pelo professor e disponibilizado no *blog*, respondendo as questões do material.

Esta etapa investigativa apresenta uma tentativa de valorizar a interação social, a participação mútua e a construção do conhecimento pelos alunos. Elementos estes que tem grande destaque na teoria construtivista vygotskyana (REGO, 2001).

**4º MOMENTO INVESTIGATIVO:** realização de simulações sobre a natureza da luz.

Retomada do conteúdo anterior com a demonstração de simulações sobre o comportamento dual da luz (Apêndice B, p. 176), de modo a inserir a tecnologia como aliada no ensino através de simulações do *software* PHET. Posteriormente, os alunos responderão a questões sobre os experimentos.

Na tentativa de superação da crise educacional, nas últimas décadas, houve uma grande preocupação na elaboração de estratégias de ensino e investimentos nessa área. Com uma educação “fundamentada na ação e na construção social e que seja culturalmente e socialmente contextualizada” (CRUZ; ZYLBERSZTAJN, 2005, p. 172).

O uso de novas tecnologias no contexto educativo parte de uma exigência que é resultado da modernidade e, por isso, a escolha de diferentes estratégias que englobam o uso de *softwares* educativos na confecção do produto educacional (PINTO, 2004, p. 2).

Tarefa para casa: Vídeo e Questionário Interativo – uso do aplicativo *online Edpuzzle* como instrumento avaliativo individual. Os alunos terão o prazo de duas semanas para a realização dessa atividade.

**5º MOMENTO INVESTIGATIVO:** aula expositiva dialogada sobre a estrutura do olho humano.

Texto teórico **Estrutura do olho humano** - Leitura do texto em conjunto com a apresentação de *slides* do *software Prezi* (Apêndice B, p. 180).

Tarefa para casa: Seminário sobre maquete do olho humano – o professor explicará os objetivos desse trabalho que será realizado em grupo, sugerindo a confecção de maquete do olho humano a ser apresentada ao final da intervenção didática. Atividade em grupo a ser apresentada para a turma sobre o processo da visão, relacionando-a com a luz (onda eletromagnética/fótons). As tarefas serão sorteadas entre os grupos formados, seguindo as instruções abaixo:

- formação de quatro grupos;
- um grupo fará uma maquete da câmera escura;
- outro grupo irá explicar o processo de formação da imagem na retina utilizando esse modelo, destacando o fenômeno da refração;

- outro grupo fará a maquete do olho com suas estruturas bem demarcadas, incluindo uma parte extra que destaque as células fotorreceptoras (em escala maior);
- por último, haverá um grupo que explicará a interação da luz com as estruturas do olho, por que enxergamos apenas uma faixa do espectro eletromagnético e a importância da vitamina A no mecanismo da visão.

**6º MOMENTO INVESTIGATIVO:** exposição de conteúdo de refração com atividade experimental em grupos.

Texto teórico **Fenômeno da refração** - aula expositiva dialogada sobre refração, com contextualização desse fenômeno luminoso no olho humano (Apêndice B, p. 181).

Atividade experimental III: **Fazendo um objeto desaparecer** – demonstração experimental em sala de aula ou em laboratório, a ser realizada pelos alunos, que serão divididos em grupos para a execução do roteiro do experimento e resolução das questões presentes nele.

Sugestão de *site* que permite simular o efeito ótico de refração, de forma a usar simulações que possibilitem ao aluno replicar o experimento e compreender melhor o conteúdo.

**7º MOMENTO INVESTIGATIVO:** aula expositiva dialogada sobre o processo da visão.

Texto teórico **Lei de Snell – Descartes, formação da imagem no olho e visão** – Leitura do texto pelos alunos (o professor poderá optar em selecionar alguns alunos para ler em voz alta). Utilização da apresentação de *slides* no *Prezi* para expor o conteúdo de forma dinâmica e interativa, dialogando com o aluno.

Para que haja essa integração do conhecimento como um todo e de modo que valorize a explicitação do conhecimento prévio do aluno na perspectiva da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, realiza-se uma aula expositiva sobre o complexo mecanismo da visão, utilizando uma linguagem interdisciplinar e relacionando esse conteúdo aos conhecimentos que os alunos já trazem consigo sobre a quantização da luz (Apêndice B, p. 183).

Novak destaca a importância de que o novo conteúdo a ser ensinado facilite a compreensão dos conceitos e permita uma atitude positiva dos alunos frente ao ensino (MOREIRA, 2009a, p. 19).

Além disso, o docente demonstrará experimentalmente sobre a faixa de luz não visível e deverá induzir o aluno a discutir sobre o observado. Após isso, os alunos responderão as questões presentes no material.

**8º MOMENTO INVESTIGATIVO:** aula expositiva dialogada sobre mecanismo de visão de outros animais, daltonismo e ilusão de ótica.

**Aplicação do conhecimento: daltonismo** – o professor introduzirá o conteúdo e demonstrará o teste de Ishihara<sup>14</sup>, juntamente com a utilização de um *site* que simula a forma como um daltônico vê o mundo (Apêndice B, p. 188).

**Aplicação do conhecimento: mecanismo de visão em outros animais** – explora o tema do mecanismo de visão em outros animais.

**Aplicação do conhecimento: ilusão de ótica** – introdução ao tema ilusão de ótica com a figura “polêmica” do “vestido branco com dourado ou azul com preto”<sup>15</sup>. Por meio desta contextualização, os alunos discutirão sobre suas interpretações das imagens.

O PCNEM (BRASIL, 2000) destaca a importância da seleção de conteúdos significativos ao se pensar numa proposta curricular, de acordo com os objetivos, as competências e habilidades que se pretende desenvolver no Ensino Médio.

No final desta etapa, será realizada a avaliação individual por meio do aplicativo online *Plickers*<sup>16</sup> em que são levantadas questões de múltipla escolha e de verdadeiro ou falso, acerca da temática abordada de forma interativa.

**9º MOMENTO INVESTIGATIVO:** avaliação através de questões.

Neste momento investigativo será realizada uma atividade avaliativa em grupo através da resolução do caderno de exercícios entregue aos alunos (Apêndice B, p. 196). É feita por meio de discussões realizadas por eles de forma isolada, para posterior debate entre o restante da turma, de forma a estimular o aluno a continuar os estudos sistematicamente a partir de seus erros e acertos, ao passo que o professor media o processo.

---

<sup>14</sup> O teste de Ishihara foi criado pelo Dr. Shinobu Ishihara em 1917 e consiste em um teste de cores usado para a detecção do daltonismo.

<sup>15</sup>No ano de 2015, uma foto publicada em uma rede social criou uma série de compartilhamentos. Era a foto de um vestido listrado em que se questionava se ele era azul e preto ou branco com dourado.

<sup>16</sup> O questionário feito no *Plickers* está disponível no apêndice do produto educacional (Apêndice B, da dissertação), em que se encontra um Tutorial para o professor replicar essa avaliação *online*.

Para solucioná-lo, a turma será dividida em grupo de 4 a 5 integrantes e será efetuado um sorteio para que representantes dos grupos resolvam questões no quadro, explicando o seu raciocínio. Entretanto, é interessante que o professor disponibilize um tempo para que os alunos possam desenvolver essa atividade de forma a ocorrer interação entre eles, discussão dos resultados obtidos e facilitar a aprendizagem.

Desse modo, o professor permite ao aluno o desenvolvimento de habilidades sociais, da liderança, da autoestima e autonomia, estimulando a criticidade e a investigação, possibilitando um aumento no rendimento escolar.

Esse tipo de aprendizagem é chamado de aprendizagem cooperativa, que pode ser “definida como um conjunto de técnicas de ensino em que os alunos trabalham em pequenos grupos e se ajudam mutuamente, discutindo a resolução de problemas facilitando a compreensão do conteúdo” (FIRMIANO, 2011, p. 5).

Devido ao caderno de questões possuir 10 perguntas relacionadas ao conteúdo do produto educacional, cada aluno do grupo será responsável pela resolução de duas questões da lista. Dessa forma, conforme Firmiano (2011, p. 25), consegue-se a interdependência positiva, a qual consiste na existência de dois níveis de responsabilidade - a responsabilidade individual e a de grupo na equipe cooperativa. Cada “elemento é responsável por um determinado produto individual, mas existe igualmente um produto da célula que pode ser avaliado enquanto atividade coletiva” (Ibid.).

Em seguida, os membros dos grupos responsáveis pelas mesmas questões se reunirão e discutirão à respeito delas a fim de elaborarem melhor as respostas e as suas compreensões.

Após esse debate, os alunos retornarão para seus grupos de origem e responderão às questões em conjunto com eles.

Por fim, o professor sorteará algumas questões para que um integrante de cada grupo exponha a sua solução, encorajando a responsabilidade individual (Ibid.).

### **10º MOMENTO INVESTIGATIVO:** apresentação dos seminários.

Após os processos contínuos de avaliação, o seminário consiste na última etapa avaliativa com enfoque na aprendizagem cooperativa (Apêndice B, p. 204), caracterizando-se em uma atividade em grupo a ser apresentada para a turma sobre o processo da visão, relacionando-a com a luz (onda eletromagnética/fótons). As tarefas serão sorteadas entre os grupos formados anteriormente.

Os trabalhos serão avaliados de acordo com a concordância com o tema proposto, a criatividade e a execução dos objetivos (compreender a formação da imagem na retina, entender as funções das estruturas do olho nesse processo e descrever o mecanismo da visão).

Estes critérios valorizam o trabalho coletivo e o trabalho individual, de forma simultânea e estão dispostos na figura em seguida:

**Figura 19:** Ficha de avaliação dos trabalhos sobre Luz e Visão

Classificação de 1 a 4, sendo: 1- RUIM 2- REGULAR, 3- BOM, 4- EXCELENTE de acordo com os parâmetros de avaliação abaixo:

**Maquete e câmera escura**

Parâmetros avaliativos	Nota
Concordância com o proposto	
Criatividade	
Clareza e objetividade na confecção	
Cumprimento de prazos	
Apreciação global	

**Apresentações Orais**

Parâmetros avaliativos	Nota
Clareza da apresentação	
Enquadramento do trabalho ao tema proposto	
Exemplos interessantes/ seleção de aspectos relevantes	
Dinâmica da apresentação	
Interação com os participantes do grupo	

Fonte: A autoria própria.

## 4.2 PRINCÍPIOS NORTEADORES

De forma a melhor compreensão da estrutura do produto educacional, são listadas a seguir algumas características da sequência didática, no que concerne às bases teórico-metodológicas da pesquisa e do produto educacional proposto.

### 1ª CARACTERÍSTICA: HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA

A história e filosofia da ciência é uma estratégia didática que propicia ao aluno uma visão mais ampla da ciência, mostrando a sua evolução ao decorrer dos séculos e a maneira como ocorre a construção do conhecimento, tornando as aulas mais interessantes.

No início do material, é realizada uma introdução histórica sobre a natureza da luz e, através dela, relaciona-a com o processo da visão, permitindo uma contextualização do tema.

## **2ª CARACTERÍSTICA: CONTEXTUALIZAÇÃO**

A contextualização está presente ao longo de todo o material através dos temas escolhidos que o aproximam do aluno e da abordagem utilizada.

O tema: olho humano como receptor de ondas eletromagnéticas traz a temática de ondas eletromagnéticas de forma contextualizada e instigante ao aluno, demonstrando os processos posteriores à formação da imagem na retina.

## **3ª CARACTERÍSTICA: EXPERIMENTAÇÃO**

A experimentação e a simulação foram bastante utilizadas no material a fim de facilitar a compreensão dos fenômenos físicos da refração e da dualidade onda-partícula da luz.

Após a execução dessas demonstrações, o professor disponibiliza um tempo para que os alunos respondam os questionários e discutam as questões propostas.

Dessa forma, na discussão das questões, os alunos poderão tirar dúvidas, construir o conhecimento coletivamente e o professor pode verificar a aprendizagem de forma qualitativa.

## **4ª CARACTERÍSTICA: INTERDISCIPLINARIDADE**

Uma característica marcante do produto educacional é a interdisciplinaridade.

O diálogo entre as componentes curriculares das ciências naturais ocorre constantemente na explicação do processo da visão, desde à estrutura do olho até a importância da vitamina A nesse processo.

É uma estratégia de ensino que permite a integração entre os saberes que devem ser adquiridos pelo aluno no último ano do ensino médio e permite uma compreensão mais ampla de um processo tão complexo que é a visão. Além de tornar as aulas mais interessantes.

## **5ª CARACTERÍSTICA: CONTEÚDOS DA FÍSICA**

Os conteúdos da física selecionados para serem inseridos no material didático tem teor instigante, trazem temas por ora não tão presentes no espaço escolar e que podem dinamizar as aulas.

Assuntos como: a maneira como outros animais veem, daltonismo e ilusão de ótica são trabalhados de forma a proporcionar ao aluno o conhecimento de assuntos presentes no dia a dia e que, muitas vezes, não são discutidos na escola.

## **6ª CARACTERÍSTICA: AVALIAÇÃO**

A verificação da aprendizagem pode ser feita através de várias atividades avaliativas realizadas ao decorrer da intervenção didática.

O professor orientará os alunos ao aplicar os questionários sobre os experimentos e atividades em sala de aula.

É importante frisar que o questionário inicial é utilizado para uma avaliação qualitativa, com o objetivo de levantar as concepções alternativas dos alunos sobre o tema proposto e para posterior comparação com sua reaplicação no final da intervenção, podendo este último ser um instrumento avaliativo quantitativo (opcional).

Além das questões presentes ao longo do material, há tarefas para casa a serem realizadas em grupo, como os vídeos dos experimentos e individualmente, como o questionário do aplicativo *online Edpuzzle*.

Outra avaliação individual proposta é a do uso do aplicativo *Plickers*, que, através do questionário, produz dinamicidade, interação dos alunos, avaliação rápida e eficiente. O docente poderá usar os resultados para a retomada de conteúdo e *feedback*.

Para solucionar o caderno de questões, a turma pode ser dividida em grupos de 4 a 5 integrantes, sendo efetuado um sorteio para que os representantes dos grupos resolvam uma questão no quadro, explicando o seu raciocínio na execução dela.

A maior parte das atividades avaliativas estão inseridas no blogger **Experiências em ensino de Física** cujo endereço eletrônico está disponível em <<https://experienciasemensinodefisica.blogspot.com>>.

## 4.3 CONTEÚDOS ABORDADOS

Os conteúdos selecionados para serem abordados no material didático proposto têm o objetivo de atender a demanda do currículo mínimo de física do Estado do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2012) à respeito da temática “Olho humano como receptor de ondas eletromagnéticas”.

A figura abaixo indica as habilidades e competências pretendidas pelo currículo no bimestre o qual o tema deverá ser abordado:

**Figura 20:** Habilidades e competências de Física pretendidas no 3º bimestre do 3º ano do ensino médio nas escolas estaduais do RJ

3º Bimestre Campo	Olho humano – Espectro eletromagnético – Ondas mecânicas
Habilidades e Competências	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos para fenômenos naturais ou sistemas tecnológicos.</li> <li>- Reconhecer o olho humano como um receptor de ondas eletromagnéticas.</li> <li>- Compreender os fenômenos relacionados à luz como fenômenos ondulatórios.</li> <li>- Identificar a cor como uma característica das ondas luminosas.</li> <li>- Compreender fenômenos naturais ou sistemas tecnológicos, identificando e relacionando as grandezas envolvidas.</li> <li>- Diferenciar a natureza das ondas presentes em nosso cotidiano.</li> <li>- Conhecer as características do espectro eletromagnético, reconhecendo as diferenças entre os tipos de ondas eletromagnéticas a partir de sua frequência.</li> <li>- Compreender as propriedades das ondas e como elas explicam fenômenos presentes em nosso cotidiano.</li> <li>- Compreender a importância dos fenômenos ondulatórios na vida moderna sobre vários aspectos, entre eles sua importância para a exploração espacial e para a comunicação.</li> </ul>

Fonte: RIO DE JANEIRO, 2012, p.10.

Devido à escassez de materiais didáticos voltados para o ensino médio com essa temática, os professores de física poderão adotar o produto educacional para complementar as aulas de maneira dinâmica e interessante, proporcionando ao aluno um ensino democratizado e com estímulo ao exercício de sua cidadania.

Embasados pela nova abordagem do currículo mínimo em que é ensinado ondas eletromagnéticas a partir do olho humano, os conteúdos abordados foram:

- reflexão sobre a natureza da luz;
- conceitos importantes de ondas eletromagnéticas;
- estrutura do olho humano;
- fenômeno da refração no processo da visão;
- a função das células fotorreceptoras e sua relação com a vitamina A;

- energia do fóton;
- espectro eletromagnético;
- papel do cérebro na interpretação da imagem;
- daltonismo;
- mecanismo de visão em outros animais,
- ilusão de ótica.

Os assuntos trabalhados se inter-relacionam, organizando-se em uma sequência bem definida, o que facilita a compreensão dos conceitos, que se diferenciam progressivamente partindo do geral para o específico (MOREIRA, 2013, p. 13).

Novak destaca a importância de que o novo conteúdo a ser ensinado facilite a compreensão dos conceitos e permita uma atitude positiva dos alunos frente ao ensino (MOREIRA, 2009a, p. 19).

Desse modo, a intervenção didática destaca-se pela seleção cuidadosa dos conteúdos, de maneira a privilegiar tópicos da física moderna e contemporânea que, segundo o currículo mínimo (RIO DE JANEIRO, 2012, p. 3), “elaborou-se um currículo que contemple tanto temas de Física Moderna e Contemporânea quanto uma abordagem histórico-filosófica” e “conhecer alguns tópicos de FMC é fundamental para compreender a realidade que nos cerca a partir da nova visão de mundo que a Física do século XX construiu” (Ibid, 2012, p. 3).

Com uma proposta mais concreta, o produto educacional enfatiza, dentre outros aspectos, a FMC e a história e filosofia da ciência, partindo do olho humano como receptor de ondas eletromagnéticas, seguindo algumas orientações do currículo do RJ. Ao mesmo tempo, aborda conteúdos diversos relacionados ao tema visão segundo o qual julgou ser conveniente pelos autores dessa pesquisa, uma vez que o currículo “propõe um ponto de partida mínimo - que precisa ainda ser elaborado e preenchido em cada escola, por cada professor, com aquilo que lhe é específico, peculiar ou lhe for apropriado” (RIO DE JANEIRO, 2012, p. 2).

## 5 APLICAÇÃO DO PRODUTO

Neste capítulo, apresenta-se uma descrição detalhada da aplicação do produto, com as observações realizadas pelo professor na turma de 3º ano do ensino médio integrado de Edificações (301) do IFF, durante a intervenção didática no ano de 2018.

### Descrição da aplicação do produto

Embora esta pesquisa tenha sido realizada no âmbito do ensino, para atribuir valor à pesquisa e trazer maiores contribuições ao ensino, houve a aplicação do produto educacional, coletando-se, assim, as impressões e observações realizadas pela autora deste trabalho como professora/pesquisadora e os resultados das atividades realizadas pelos alunos.

A intervenção didática ocorreu no período compreendido entre os meses de fevereiro e março e foi implementada durante seis semanas, com 3 aulas de física semanais e 50 minutos cada, totalizando 18 aulas, em uma turma de 3º ano do ensino médio integrado em Edificações do IFFluminense, Campos dos Goytacazes- RJ, *campus-centro*.

Embora a proposta didática “Luz e Visão” seja um material a ser utilizado em um bimestre letivo, devido a carga horária disponibilizada pela professora regente da turma ser reduzida quanto ao que foi proposto, as aulas foram ministradas em menor tempo do que o previsto. Entretanto, não houve prejuízos relevantes quanto sua aplicação.

A turma 301 tem o perfil bem diversificado e alguns alunos haviam antecipado a conclusão do curso por terem sido aprovados no vestibular, fazendo com que o número de alunos reduzisse para 27. Eles estavam cursando o 4º bimestre do ano letivo de 2017.2. Por estas razões, esse grupo de alunos foi selecionado para participar da intervenção, em que estava presente a professora regente da turma.

Na primeira semana de aplicação do produto didático foi possível observar a dinâmica da turma que é composta de 27 alunos, com faixa etária média de 18 anos e bem heterogênea. Observou-se ainda que por as aulas iniciarem muito cedo, isso acarretava no atraso de parte da turma, prejudicando a sequência de conteúdos. Entretanto, a partir das semanas seguintes, houve um menor número de alunos atrasados. De maneira a manter o sigilo a identidade dos alunos, foram usados nomes fictícios.

A aplicação deu-se em **10** momentos investigativos, como apresentados no capítulo anterior.

**No primeiro momento investigativo**, o professor se apresentou e explicou a proposta do material complementar, com os seus objetivos. Além disso, foi exposta a maneira como seriam avaliados e a proposta do *blog* com as orientações e atividades avaliativas. Em seguimento, após a exibição do trecho de um vídeo que mostrava imagens relacionadas ao tema onde é levantada a questão “Mas o que é luz?”, foi entregue o questionário de coleta das concepções alternativas (Apêndice B. p. 167), com perguntas mais abrangentes.

O vídeo utilizado como pseudo organizador prévio “**Dualidade Onda – Partícula – Física Avançada**” está disponível no *Youtube*<sup>17</sup>.

Embora a pesquisa esteja direcionada ao ensino, faz-se necessário expor os resultados desta aplicação, fazendo uma análise simplória de maneira a melhor descrever o potencial das atividades realizadas.

Observou-se que, em geral, eles tiveram dificuldades em responder o primeiro questionário, alegando não saber explicar o que era a luz ou como ocorre o processo da visão. Para comparar posteriormente as respostas dos alunos, foram selecionados 5 deles através de critérios como: dificuldade em compreender os conceitos, bom desenvolvimento na explicitação de suas concepções, boa participação em sala de aula e respostas elementares ou insuficiente.

Sobre a pergunta “**Em sua opinião, o que é luz?**”, destacam-se algumas respostas, como a proposta pelo aluno Robson:

Luz são ondas que passam nos olhos.

A aluna Helena diz que

Luz é tudo aquilo que emite um feixe de claridade que é captado pelos nossos olhos.

Sobre esta mesma temática, Nina explica a luz como

Raios luminosos refletidos pelos meios artificiais como lâmpadas ou até mesmo pelo Sol que, nos permitem assim, enxergar.

Beto define luz de uma maneira muito peculiar ao dizer que

São partículas que se dissipam.

---

<sup>17</sup>*Youtube* é um *site* onde estão disponibilizados vídeos de assuntos variados. O vídeo em questão pode ser acessado através do endereço eletrônico <<https://www.youtube.com/watch?v=9XuOAGtIcIo>>.

Embora não conseguisse conceituar luz de forma científica, Lorena buscou na teologia a sua concepção do que seria luz:

Luz tem diversos sentidos. Um dos sentidos é o que está na bíblia quando diz haja luz, está se referindo a um mundo escuro, sem nada e que Deus o fez brilhar.

Cantor (1996 apud DRUZIAN; RADÉ; SANTOS,2007, p. 5), diz que “as conotações psicológicas, culturais e religiosas da luz afetaram profundamente a maneira como as pessoas, incluindo muitos cientistas, conceberam a natureza da luz”.

A figura em seguida dispõe as respostas dos alunos citados anteriormente à questão 2: Como ocorre o mecanismo da visão?

**QUADRO 8** - Respostas dos alunos sobre a questão 2 (Apêndice B, p. 167).

<b>Nome</b>	<b>Resposta</b>
Robson	O olho possui várias regiões com diversas funções.
Helena	Vem os raios de luz que passam pelas estruturas do olho, indo ao cérebro invertida, via impulsos nervosos.
Nina	Os raios luminosos incidem sobre as coisas e o nosso olho tem ligação com o cérebro que forma as imagens.
Beto	A luz bate nos objetos e refletem através dos objetos, dando formas a eles.
Lorena	Eu acredito que foi através de uma descoberta em nosso cérebro.

Fonte: Autoria própria.

Em geral, os alunos destacam o papel do cérebro no processo da visão, demonstrando alguma relação entre as estruturas do olho com o mesmo.

Sobre a terceira questão, se é possível enxergar no escuro, justificando a resposta dada, os alunos em sua maioria, disseram que não. Contudo, houve certa discussão acerca dessa questão a partir do questionamento do aluno Beto, que dizia que depende muito, pois seria difícil produzir escuridão total.

Nesta ocasião, como professora-mediadora, orientei-os a explicitarem suas opiniões no papel, para não influenciarem as respostas dos outros e que toda resposta era válida, desde que procurassem detalhar o porquê pensavam daquele jeito.

**QUADRO 9** - Respostas dos alunos sobre a questão 3 (Apêndice B, p. 167).

<b>Nome</b>	<b>Resposta</b>
Robson	Uma visão reduzida que se adapta ao local, pois a pupila se dilata.
Helena	Não, pois não há incidência de luz.
Nina	Não, pois o mecanismo da visão se baseia na percepção da luz.
Beto	Mais ou menos, não é possível enxergar claramente, mas alguns vultos, sombras, pois o olho se acostuma.
Lorena	Sim, com óculos específicos.

Fonte: Autoria própria.

Analisando as respostas de todos os que responderam ao questionário, houve alunos que não sabiam respondê-la, outros que disseram ser possível enxergar no escuro com aparelhos específicos e outro grupo menor respondeu que não, pelo fato de não haver luz, sem elaborar melhor sua resposta de que os olhos não seriam os protagonistas do processo da visão.

De forma mais ampla, alguns alunos sugeriram alternativas que concebem os conceitos de física de forma ‘inadequada’, alternativas, essas, que não devem ser tratadas pelo professor como erros indesejáveis, mas por meio de uma conduta pedagógica adequada, serem usadas como rede de relações a serem ajustadas aos modelos científicos.

Na pesquisa de Gircoreano e Pacca (2001, p. 30), sobre as concepções alternativas de um grupo de alunos a respeito do mesmo questionamento, se poderíamos enxergar no escuro, alguns alunos responderam que os olhos se adaptam ao ambiente e, mesmo que não haja luz, essa acomodação de nossos olhos faria com que pudéssemos enxergar, resposta compatível com a de Robson (Quadro 9).

Sobre a pergunta 4, os discentes, de forma unânime, não conseguiram formular uma resposta, como pode ser observado no quadro a seguir:

**QUADRO 10** - Respostas dos alunos sobre a questão 4 (Apêndice B, p. 167).

<b>Nome</b>	<b>Resposta</b>
Robson	Não sei.

Helena	Não consigo responder, pois não sei.
Nina	Não sei explicar.
Beto	Não sou capaz de opinar.
Lorena	Então, ainda não sei responder.

Fonte: Autoria própria.

Em relação à pergunta 5, a grande maioria dos alunos não sabia existir outros tipos de luz, o que pode ser verificado pelas respostas a seguir:

#### QUADRO 11 - Respostas dos alunos sobre a questão 5 (Apêndice B, p. 167).

Nome	Resposta
Robson	O olho é sensível à luz, pois quando estamos no escuro, nossa pupila se dilata pra ser uma adaptação ao escuro e quando a luz volta, nosso olho não está preparado.
Helena	O olho pode ficar sensível à luz. Quando ela é muito forte, pode até ser prejudicial. Existem a luz do sol, a luz da lâmpada, que servem para iluminar. Mas não sei se existem outros.
Nina	Que o ser humano está apto a enxergar na luz, mas existem outros tipos de luz que não estou lembrada.
Beto	Luz natural e artificial, sendo a primeira proveniente de satélites naturais e a outra feita pelo homem com energia e radiação.
Lorena	Segundo a teoria criacionista, Deus criou a luz e como tal, desde então se mantém. Há a teoria de que houve uma explosão que originou a si mesma e ao resto por meio de combinações e recombinações.

Fonte: Autoria própria.

Um momento de destaque nesta aula foi o questionamento do aluno Beto, sobre a existência de uma pessoa que enxergava invertido. Outra aluna, Nina, de imediato, pesquisou em seu aparelho celular usando os termos “Existe alguém que enxerga invertido?” e encontrou a notícia de que havia uma mulher sérvia que possuía um distúrbio cerebral o qual a fazia enxergar o mundo de forma invertida, disponível no

site<<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2013/08/disturbio-cerebral-raro-faz-servia-escrever-e-ler-de-cabeca-para-baixo.html>>.

No **segundo momento investigativo** foi realizada a leitura, em voz alta, do texto histórico “Natureza da luz” (Apêndice B, p. 168), pelos alunos que, em sua maioria, manifestaram grande interesse na história e filosofia da ciência. O aluno Robson comentou:

Aristóteles está em todas. Eu não sabia que teve tanta gente estudando sobre isso.

A aluna Rebeca manifestou interesse e surpresa com as informações contidas no texto sobre a teoria corpuscular de Aristóteles de que a luz saía por nossos olhos e desgastaria os objetos.

Que doideira! Então, quanto mais olharmos para alguém, vai faltar um pedaço?

O texto aborda a natureza da luz de forma histórica, mostrando diferentes vertentes sobre o tema e seus maiores defensores.

Ao serem questionados se enxergaríamos no escuro, responderam que, segundo a visão aristotélica, sim. Entretanto, eles achavam que não, não justificando o porquê, apenas lembravam que uma outra professora de física falou rapidamente sobre o assunto, dando maior ênfase ao estudo de lentes.

Quando foi perguntado qual seria a opinião deles à respeito da natureza da luz, ora defendiam a teoria ondulatória, ora defendiam a teoria corpuscular. Sendo a primeira, a mais aceita. Apenas a aluna Nina respondeu que seriam os dois (dualidade onda-partícula):

Eu acho que a luz pode ser as duas coisas.

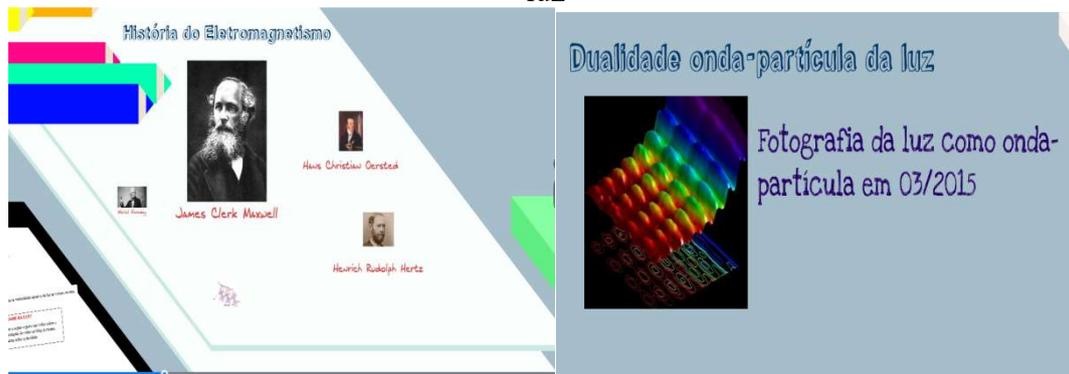
Em seguida, é realizado o estudo de ondas, finalizando este momento com a explicação da tarefa para casa a ser realizada de forma coletiva, mantendo os mesmos grupos iniciais, para a obtenção do valor numérico da velocidade da luz no sistema internacional de unidades.

No **terceiro momento investigativo** são introduzidos os conceitos envolvidos no estudo de ondas eletromagnéticas (Apêndice B, p. 172).

Após essa abordagem, maior parte da turma disse nunca ter ouvido falar em interferência construtiva e destrutiva, sendo explicado para eles a diferença entre os dois por meio de figuras, vídeo e exemplos.

Além do material e dos vídeos, foram utilizados *slides* como suporte às aulas. Eles estão disponíveis por meio de *links* presentes no material didático (Figura 21).

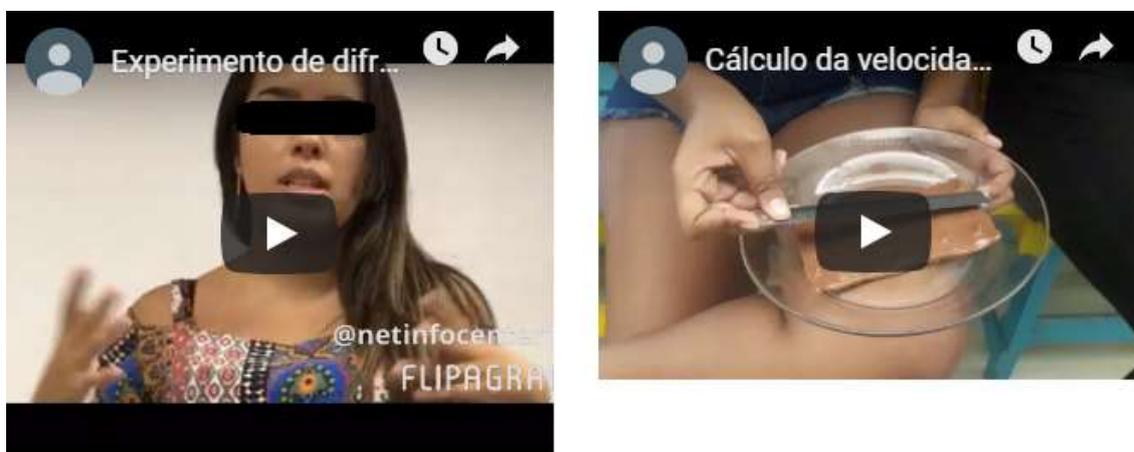
**Figura 21:** Capturas de tela da apresentação de *slides* do *prezi* à respeito da natureza da luz



Fonte: Autoria própria.

Ainda nesta etapa, foi apresentada a proposta de gravação dos dois vídeos com experimentos de difração e interferência luminosa e o cálculo da velocidade da luz (atividade para casa proposta no segundo momento investigativo). Essas atividades foram realizadas em 4 grupos de 6 a 7 integrantes e, posteriormente, foram reproduzidas à turma (duas semanas após a primeira aula), sendo publicadas no *blog* “Experiências em Ensino de Física”.

**Figura 22:** Vídeos gravados pelos grupos das atividades experimentais



Fonte: Autoria própria.

Os roteiros experimentais presentes no material contêm algumas questões a serem discutidas pelos grupos a partir dos dados obtidos e facilitam a compreensão de conceitos fundamentais a ondas, como interferências construtiva e destrutiva.

Além de responderem as perguntas na apostila dada, os alunos devem expô-las verbalmente nos vídeos correspondentes aos experimentos, de maneira a compartilhar o conhecimento produzido no *blog*.

A turma foi dividida em quatro grupos com 6 a 7 integrantes cada.

Abaixo, dispõe-se as respostas dadas pelos grupos a algumas questões teóricas presentes nos roteiros:

**QUADRO 12** - Respostas dos grupos a algumas questões do roteiro do experimento I

<b>QUESTÃO:</b> Com os valores obtidos, calcule $c$ (velocidade da luz no vácuo).		
<b>GRUPO</b>	<b>RESPOSTA</b>	<b>ERRO PERCENTUAL</b>
Grupo 1	$c \sim 3,18 \cdot 10^8$ m/s.	$e (\%) = 6,0 \%$ .
Grupo 2	$c \sim 2,69 \cdot 10^8$ m/s.	$e (\%) = 10,3 \%$ .
Grupo 3	$c \sim 2,99 \cdot 10^8$ m/s.	$e (\%) = 0,33 \%$ .
Grupo 4	$c \sim 2,76 \cdot 10^8$ m/s.	$e (\%) = 8,0 \%$ .
<b>QUESTÃO:</b> Calcule o comprimento de onda das micro-ondas.		
<b>GRUPO</b>	<b>RESPOSTA</b>	
Grupo 1	$\lambda \sim 0,13$ m.	
Grupo 2	$\lambda \sim 0,11$ m.	
Grupo 3	$\lambda \sim 0,13$ m.	
Grupo 4	$\lambda \sim 0,12$ m.	
<b>QUESTÃO:</b> Por que multiplicamos a distância entre dois pontos consecutivos por dois?		
<b>GRUPO</b>	<b>RESPOSTA</b>	
Grupo 1	Porque o comprimento de onda é identificado através da distância entre dois vales ou duas cristas consecutivas.	
Grupo 2	Porque esses pontos consecutivos representam meio comprimento de onda.	
Grupo 3	Para encontrar a distância entre dois vales ou duas cristas consecutivas.	
Grupo 4	Sim, porque essa distância equivale a “meia onda”.	

Fonte: Autoria própria.

A partir da medida do comprimento de onda  $\lambda$ , em metros, e da frequência correspondente ao aparelho micro-ondas utilizado, os grupos calcularam a velocidade da

luz e obtiveram valores bem próximos do tabelado, com erros percentuais entre 0,3% a 10,3%, alcançando o objetivo do experimento: calcular a velocidade da luz.

Para justificar a multiplicação por dois da medida realizada em relação à distância entre dois pontos consecutivos, os grupos 2 e 4 identificam essa medida como metade do comprimento de onda. Já os grupos restantes explicam como se pode visualizar e, conseqüentemente, medir o comprimento de onda a partir de dois vales ou duas cristas consecutivas. Contudo, não é claro que esses pontos visíveis no experimento podem ser associados a nós, facilitando a compreensão do porquê multiplicar por dois o valor obtido a fim de resultar num ciclo completo.

### QUADRO 13 - Respostas dos grupos a algumas questões do roteiro experimental II

<b>QUESTÃO:</b> Foi possível observar regiões claras e escuras. O que essas “faixas” representam? Explique a sua resposta.	
<b>GRUPO</b>	<b>RESPOSTA</b>
Grupo 1	As faixas claras representam os locais onde as ondas luminosas têm interferência construtiva, já as escuras, onde ocorre interferência destrutiva.
Grupo 2	Essas faixas representam os diferentes comportamentos da luz. Através da difração, ela se propaga em determinadas partes.
Grupo 3	Representam as partes em que as ondas se somam ou se destroem. Isso ocorre porque as ondas se difratam no fio e interferem entre si.
Grupo 4	As partes claras e escuras em intervalo são resultado de ondas de luz interferirem uma com as outras.
<b>QUESTÃO:</b> A interferência é uma característica de ondas eletromagnéticas. Este experimento permite observar esse fenômeno na luz? Como isso é possível?	
<b>GRUPO</b>	<b>RESPOSTA</b>
Grupo 1	Sim, através da difração que ocorre após a luz passar pelo fio de cabelo e, em seguida, sofrer interferência quando uma onda encontra a outra.
Grupo 2	Sim, devido a sobreposição das ondas, gerando essas regiões observadas que damos o nome de interferência.
Grupo 3	Permite, porque a luz também é uma onda eletromagnética e o observado é resultado das superposições dessas ondas.
Grupo 4	Foi possível porque a luz também se comporta como onda.
<b>QUESTÃO:</b> Dê algum exemplo de interferência de ondas eletromagnéticas e suas implicações.	

<b>GRUPO</b>	<b>RESPOSTA</b>
Grupo 1	O celular tocando próximo a uma caixa de som, fazendo-a chiar.
Grupo 2	Quando o celular toca perto de um rádio.
Grupo 3	Ondas de rádio, há um tempo atrás, atrapalhavam a comunicação entre aviões e aeroportos.
Grupo 4	Ondas de rádio, por exemplo, podem sofrer interferências, comprometendo a qualidade do som e da imagem.

Fonte: Autoria própria.

De modo geral, as soluções dadas pelos grupos às questões indicam a compreensão dos fenômenos ondulatórios observados, visto que os alunos afirmaram não se recordarem ou não terem visto este conteúdo anteriormente. Entretanto, o grupo 2 não soube interpretar o observado de forma correta, explicando a ausência de luz em algumas regiões ser causada pela não propagação da onda, ao invés da interferência.

Os grupos 1 e 3 foram mais ostensivos ao falarem dos tipos de interferência.

Em relação aos exemplos dados de interferência entre ondas, os grupos citaram as ondas de rádio e as sonoras para explicar o comprometimento da comunicação.

O **quarto momento investigativo** consiste na leitura e em simulações sobre o comportamento dual da luz (Apêndice B, p. 176).

Os alunos foram apresentados à teoria da quantização da luz e, posteriormente, observaram as simulações para discutirem e interpretarem as situações propostas.

Em seguimento, eles formularam suas respostas que estão explicitadas abaixo, conforme a proposição de alguns alunos.

#### **QUADRO 14** - Proposição de alunos sobre as simulações observadas

<b>QUESTÃO:</b> Após observar as simulações apresentadas e interpretá-las, responda:	
a) Através dos experimentos, foi possível comprovar qual teoria? Justifique a sua resposta com exemplos.	
<b>Nome</b>	<b>Resposta</b>
Fábio	A teoria da partícula ou onda, dualidade da luz.

Nina	Ela pode se comportar das duas formas. No efeito fotoelétrico, a luz se comporta como partícula, já na lâmpada, como onda.
Lorena	Teoria da dualidade onda-partícula. Na primeira simulação, a luz se comporta como onda. Na segunda simulação, ela se comporta como partícula.
Lucas	As características como partícula é que os elétrons podem ser “arrancados” com luz em qualquer intensidade a partir de uma frequência própria e, como onda, podemos observar a característica da interferência quando uma onda sobrepõe a outra.
Helena	Da partícula e da onda. Sendo o experimento de interferência do laser no fio de cabelo e a propagação da luz do sol no vácuo exemplos de ondas.
Diana	Foi possível comprovar ambas as teorias, caracterizando a luz tanto como ondas, quanto como partícula. Com o experimento de Young, a luz foi caracterizada como onda. No de Einstein, a luz foi caracterizada como partícula.

Fonte: Autoria própria.

Embora as respostas propostas a essa questão satisfaçam ao enunciado, não houve elementos que as ajustassem aos modelos científicos. Verifica-se ainda, que o aluno Fábio não justificou a sua resposta com exemplos.

É perceptível que Lucas justificou a sua resposta através do que ele observou nas simulações e nas aulas anteriores, devido a reprodução de exemplos dados em sala de aula. O mesmo ocorreu com a aluna Helena.

Analisando as respostas, destaca-se a aluna Diana que utiliza exemplos fundamentais para a validação das teorias ondulatória e corpuscular da luz, citando os cientistas que foram importantes ou responsáveis por elas.

#### QUADRO 15 - Proposição de alunos sobre o papel da experimentação I

**QUESTÃO:** Após observar as simulações apresentadas e interpretá-las, responda:

b) De acordo com a resposta anterior, qual seria o papel da experimentação na produção do conhecimento científico?	
<b>Nome</b>	<b>Resposta</b>
Fábio	Serve para comprovar a teoria.
Nina	Comprovar teorias e explicar mais, dando conhecimento.
Lorena	Para mostrar o efeito que foi dado acima e mostrar como acontece.
Lucas	A experimentação tem papel fundamental na produção do conhecimento científico, pois serve para verificar hipóteses.
Helena	Com o experimento, foi possível observar fenômenos como a difração e a interferência.
Diana	A experimentação tem a função de diminuir dúvidas a respeito de eventos que ainda não foram explicados, complementando ou mudando teorias existentes.

Fonte: Autoria própria.

Nota-se que Lucas e Diana deram explicações mais amplas quanto ao papel da experimentação na produção científica, diferente dos outros, que formularam concepções de senso comum, ou seja, que o experimento comprova a teoria (AMARAL, 1997, p. 14).

#### QUADRO 16 - Proposição de alunos sobre o papel da experimentação II

<b>QUESTÃO:</b> Após observar as simulações apresentadas e interpretá-las, responda:	
c) Que características da luz como partícula são observadas na simulação 2? E da luz como onda (simulação 1)?	
<b>Nome</b>	<b>Resposta</b>
Fábio	Simulação 2 → A eletricidade gerada pela luz dependendo de sua intensidade. Simulação 1 → A interferência da luz.

Nina	Quando está lá fora no espaço, ela age como onda e, em algumas superfícies, a luz pode dar energia ao elétron e se comporta como fóton (partícula).
Lorena	Luz como onda: propagação no vácuo. Luz como partícula: cede energia ao elétron livre.
Lucas	Teoria da dualidade onda-partícula da luz. Um experimento que fizemos mostrou a luz como onda através do laser e fio de cabelo e o outro mostra a luz como partícula e como elétrons podem ser “arrancados” por isso.
Helena	1→ Dá para observar duas interferências: a construtiva e a destrutiva. 2→ Observa-se que quanto maior a frequência, mais ‘pacotes de luz’ são liberados.
Diana	Luz como partícula: o elétron ganha velocidade. Luz como onda: interferência

Fonte: Autoria própria.

Pode-se notar que Fábio fez uma miscelânea dos conceitos que foram apresentados ao longo da proposta didática. Isso ocorreu, muito provavelmente, por ser um conteúdo novo para ele, além de sua complexidade ou, talvez, não soube se expressar bem. Presume-se que ele relacionou o módulo da corrente elétrica produzida através do efeito fotoelétrico com a intensidade da luz a partir de uma frequência limiar em que, aumentando-se a intensidade, maior quantidade de elétrons é ‘arrancada’ da superfície.

Contudo, o papel da frequência limite é fundamental para resolver este problema que não poderia ser solucionado pela teoria clássica (eletromagnética). Já que, segundo esta teoria, a intensidade que seria o principal fator, o que não era observado ao realizar o experimento do efeito fotoelétrico.

As outras respostas dadas envolvem conceitos de alta complexidade e foram bem desenvolvidos pelos alunos. Exceto pela aluna Helena, que destacou a frequência nesse processo. Entretanto, não fez a relação correta com a retirada de elétrons, percebendo uma certa confusão ao dizer que “mais ‘pacote de luz’ são liberados”.

É interessante a fala do aluno Lucas que associou a simulação ao experimento que realizou em grupo anteriormente e reafirma sobre o caráter dual da luz. Entretanto, não evidenciou diretamente as características das teorias sobre a natureza da luz presentes nas simulações.

Ainda nesta etapa, o aluno é convocado a aprender mais sobre o comportamento dual da luz através do questionário interativo do aplicativo *online Edpuzzle*, com *link* disponível no material a ser realizado em casa no período estipulado pelo professor.

**Figura 23:** Captura de tela da atividade online presente no *Edpuzzle*



Fonte: Autoria própria.

O professor corrige as questões no próprio *site* do aplicativo e tem a opção de visualizar as respostas por questão ou por aluno.

Foram selecionados alguns resultados das questões para serem representados graficamente, assim como as respostas que mais se destacaram nesta atividade.

**Figura 24:** Gráfico da assertividade dos alunos quanto a questão 1 do *Edpuzzle*

Fonte: Autoria própria.

De acordo com os dados (Figura 24), 70% dos alunos responderam à pergunta de forma satisfatória.

Essa questão é bem abrangente e fundamental para a compreensão de grandes rupturas e revoluções científicas, propondo que o aluno busque informações sobre o tema para construir o conhecimento.

Abaixo, dispõe-se da resposta da discente Rebeca para representar os alunos que responderam de forma coerente:

Diante dos grandes sucessos científicos que haviam ocorrido, em 1900 alguns físicos pensavam que a Física estava praticamente completa. Lord Kelvin - um dos cientistas que havia ajudado a transformar essa área - recomendou que os jovens não se dedicassem à Física, pois faltavam apenas alguns detalhes pouco interessantes a serem desenvolvidos, como o refinamento de medidas e a solução de problemas secundários. Kelvin mencionou, no entanto, que existiam "duas pequenas nuvens" no horizonte da física: os resultados negativos do experimento de Michelson e Morley (que haviam tentado medir a velocidade da Terra através do éter) e a dificuldade em explicar a distribuição de energia na radiação de um corpo aquecido. Foram essas duas "pequenas nuvens", no entanto, que desencadearam o surgimento das duas teorias que revolucionaram a Física no século XX: a teoria da relatividade e a teoria quântica. A visão otimista de Lord Kelvin, compartilhada por muitos físicos da época, não levava em conta que existiam, na verdade, muitos problemas na física do final do século XIX. No entanto, a maior parte dos cientistas pensava apenas nos sucessos, e não nessas dificuldades. Não percebiam a existência de grande número de fenômenos inexplicados e de problemas teóricos e conceituais pendentes. A Física desenvolvida a partir do início do século XX passou a ser chamada de Física Moderna.

Os alunos que responderam corretamente citaram tópicos fundamentais sobre a questão, como os problemas enfrentados pela física clássica, sendo necessário desenvolver uma nova física capaz de descrever os fenômenos observáveis: a física moderna.

É importante que o professor destaque em sala de aula que a física clássica não foi descartada, já que é usada em situações do dia a dia constantemente, mas que há um limite em que a mesma ‘funciona’ bem.

Outra questão que relaciona a história e filosofia da ciência com a compreensão do efeito fotoelétrico é a pergunta 3 (Apêndice B, p. 178).

**Pergunta: Cite os dois exemplos citados no vídeo em que as previsões da teoria clássica sobre o efeito fotoelétrico não eram observadas.**

**Fábio:**

Independentemente do valor da frequência, os elétrons seriam ejetados de acordo com a intensidade.

De forma objetiva, Fábio demonstra compreender a visão clássica para tentar explicar o experimento e como ela não era compatível com o observado, conhecimento que, antes da intervenção, não tinha sobre o assunto.

**Questão: Segundo Einstein, para aumentarmos a energia do fóton, era necessário aumentar:**

**Figura 25:** Gráfico das respostas dos alunos à questão 4 (Apêndice B, p. 178).

Fonte: Autoria própria.

Aproximadamente 70% dos alunos que responderam ao questionário associaram energia à frequência.

Esta etapa investigativa foi muito elogiada pelos alunos, que destacaram a interatividade, o tempo curto de vídeo e a dinâmica da atividade, como aspectos favoráveis na realização da tarefa, sendo uma complementação com o que foi dado em sala de aula.

O **quinto momento investigativo** iniciou-se com os alunos respondendo a questões que pudessem explicitar suas concepções alternativas sobre o processo da visão (Apêndice B, p. 180).

Para exemplificar as respostas dos alunos foram selecionadas três que representam as de maior ocorrência entre os alunos.

**Luana:**

O mecanismo da visão não é algo simples, e ele se dá por meio de um processo onde a imagem é refletida, invertida e depois é processada para que possamos ver como as coisas são.

**Lucas:**

Não. Primeiro a luz passa por várias partes, forma uma imagem invertida, que depois é enviada ao cérebro pelo nervo ótico.

**Fábio:**

Não, eu acho que ocorre de forma bem complexa, que une física e biologia, tem o papel do cérebro em codificar a imagem, é mais complexo do que poderia ser apresentado a uma turma de 3º ano.

Pelas respostas, é possível inferir que os alunos identificam o mecanismo da visão como um processo bem complexo, o qual depende de diversos fatores físicos, biológicos e químicos, apesar deste último não ter sido citado.

Os alunos, ainda, comentaram sobre a formação da imagem na retina e a sua relação com o cérebro.

Fábio destaca o fato de não ser explorado esse tema em sala de aula devido a sua complexidade e demonstra desconfiança quanto a possibilidade de abordar o tema na aplicação do produto.

Sobre quem seria o protagonista deste processo, responderam:

**Luana:**

A retina e o cristalino.

**Lucas:**

Os olhos.

**Fábio:**

O cérebro.

Alguns alunos, em sua minoria, responderam que a luz seria a protagonista deste processo.

O objetivo dessa questão é que os alunos reflitam como é necessário depreender vários órgãos e processos químicos para que ocorra a visão.

Em seguimento, a professora/pesquisadora, através de *slides* e quadro branco, explicou sobre as outras etapas da visão, explorando conceitos físicos, químicos e biológicos. Depois ainda, esclareceu possíveis dificuldades quanto à atividade do seminário, sorteando os temas e reforçando sobre a utilidade pedagógica do *blog* a fim de sanar dúvidas sobre o trabalho.

No **sexto momento investigativo**, é explicado o fenômeno da refração, sendo acompanhado pelos alunos através da leitura do texto teórico e, posteriormente, realização em grupo de atividade experimental proposta nesta etapa, havendo relato oral do observado e discussão sobre o porquê de sua ocorrência.

Em seguida, no **sétimo momento investigativo**, os alunos são apresentados à lei de Snell-Descartes para calcularem índices de refração, comparando os índices de algumas estruturas do olho humano, como o cristalino e a córnea.

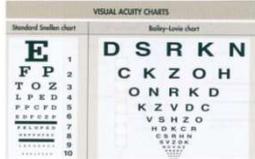
Posteriormente, dar-se continuidade à aula teórica com elementos da biologia, tratando das células fotorreceptoras, da relação da molécula de rodopsina com a vitamina A e também sobre a energia do fóton relacionando-a com a frequência.

**Figura 26:** Captura de tela da apresentação de *slides* sobre células fotorreceptoras

### CONES

- Fóvea: acuidade visual: só tem cones.
- Cores: pigmento: 11-cis-retinal/ fopsina

Podem ser azul(*tritan*), verde(*deuter*) ou vermelho (*prot*) sensíveis



### BASTONETES

Rodopsina (escotopsina + 11-trans-retinal)

Visão periférica: fornecida pelos bastonetes, que são muito mais numerosos.

Visão no escuro: há acúmulo de rodopsina, e rapidamente a pessoa consegue enxergar (em preto e branco).

Alta sensibilidade aos movimentos.

Fonte: Autoria própria.

Após essa etapa, é apresentado o espectro eletromagnético, sendo realizado o experimento que demonstra a presença do espectro não visível (ainda que os olhos humanos não sejam sensíveis a ele) e sua utilidade no dia a dia.

**Figura 27:** Experimento do controle remoto com luz infravermelha e câmera de celular



Fonte: Autoria própria.

Os alunos ficaram bastante empolgados com este experimento, o qual é simples de ser executado e reproduzido pelo professor ou até mesmo pelo aluno.

Fábio refez o experimento utilizando o próprio celular, já que este emitia luz na faixa do infravermelho, obtendo o mesmo resultado do controle remoto.

Para que todos os alunos pudessem visualizar bem a demonstração, foi utilizado o aplicativo ‘Conectar’ presente no *windows 10*, que possibilita transmitir a imagem do celular ao computador e, dessa forma, poderá ser projetado à turma.

Então, é explicado que a cor é a resposta de nossos olhos às frequências da luz, fazendo uma abertura para introduzir o tema daltonismo.

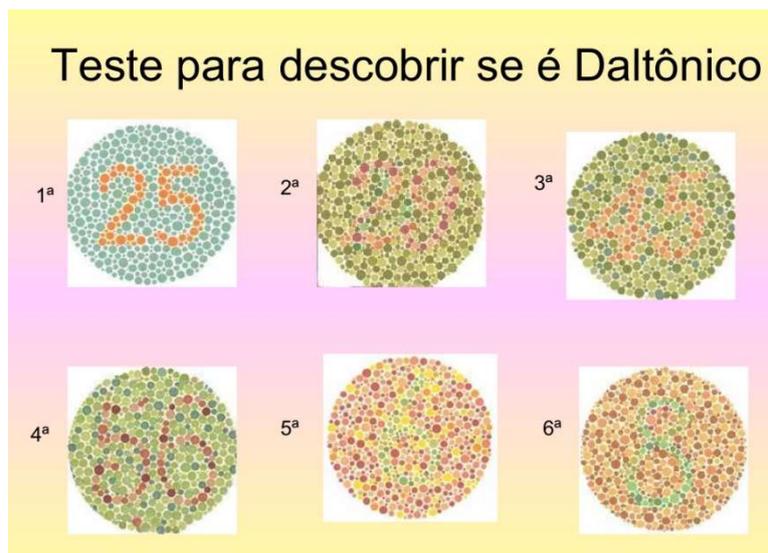
O **oitavo momento investigativo** consiste na aplicação do conhecimento, abordando-se temas como o daltonismo, como outros animais veem e ilusão de ótica (Apêndice B, p. 188).

O daltonismo foi explicado através de aula dialogada, com auxílio de *slides* que apresentam testes que possibilitam detectar alguma perturbação visual. Este momento foi bem interativo, em que dois alunos relataram histórias de seus familiares que possuíam esse distúrbio na visão, reforçando que os daltônicos não poderiam ser empregados em algumas profissões.

Além das figuras presentes no material de como o daltônico veria o mundo, há também a sugestão de um *site* que faz essa simulação, havendo relatos, posteriores, do acesso ao *site* feito pelos alunos.

Os *slides* (Apêndice B, p. 163) utilizados em aula deram suporte ao professor na explicação dos fenômenos relacionados à visão.

**Figura 28:** Captura de tela dos slides sobre daltonismo

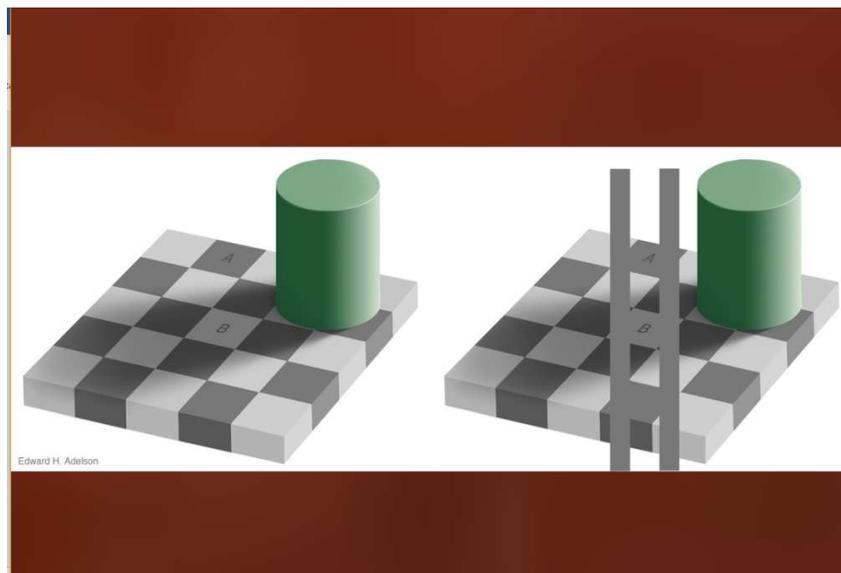


Fonte: Autoria própria.

Em seguida, houve a leitura do texto sobre o mecanismo da visão em outros animais e um dos alunos questionou se havia alguma relação em alguns animais terem a esclera grande e amarela com serem os animais com melhor visão. Foi respondido que, não existia, até então, uma pesquisa que relacionasse os dois fatores, mas que foi interessante e válido o comentário realizado por ele.

Este momento foi finalizado com a explicação da ilusão de ótica. Para introduzir o assunto, foi utilizada a imagem de um vestido a qual foi amplamente divulgada na *internet*, no ano de 2015, em que se questionavam as cores dele: azul e preto ou branco com dourado? Os discentes participaram de forma efetiva na discussão, sendo uma aula bem dinâmica em que puderam discutir sobre outras imagens que têm esse efeito na visão.

**Figura 29:** Captura de tela de *slide* com explicação sobre um exemplo de ilusão de ótica



Fonte: Autoria própria.

No **nono momento investigativo** os alunos realizaram, em grupo, a lista de questões presente no material, havendo concentração e dedicação por parte dos alunos.

Aqui tornaram-se evidentes princípios da aprendizagem cooperativa na construção coletiva do conhecimento, pois a “aprendizagem ativa ocorre quando o aluno interage com o assunto em estudo – ouvindo, falando, perguntando, discutindo, fazendo e ensinando – sendo estimulado a construir o conhecimento ao invés de recebê-lo de forma passiva do professor” (BARBOSA; MOURA, 2013, p. 55).

Dessa forma, os alunos dividiram-se em grupos com 5 alunos. Cada integrante era responsável por solucionar duas questões do caderno de perguntas durante um tempo estipulado pelo professor. Logo após, os discentes responsáveis pelas mesmas questões se reuniam para debater suas respostas e posteriormente retornarem aos grupos iniciais. Em seguida, foram sorteados para resolver as questões no quadro e informados de que o gabarito estaria também disponível no *blog*.

No outro tempo de aula, foi realizada a atividade avaliativa utilizando o aplicativo *online Plickers* de forma a avaliar todo o conteúdo que havia sido ensinado anteriormente.

**Figura 30:** Uso do aplicativo *Plickers* na intervenção didática

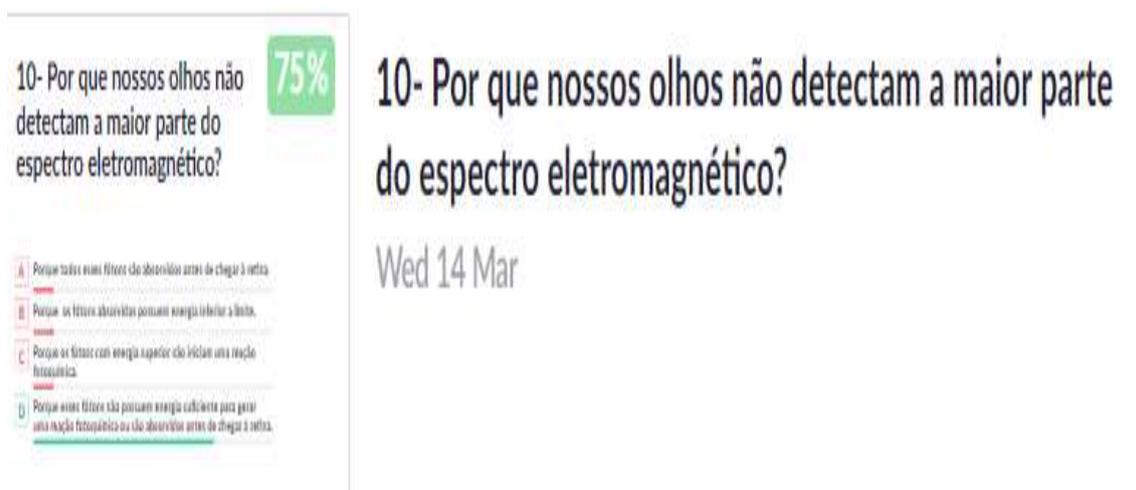


Fonte: Autoria própria.

Por ser uma nova maneira de avaliar o aluno, a docente/pesquisadora esclareceu sobre a utilização e funcionalidade do *Plickers*, tendo grande receptividade dos discentes.

Além de ser uma ferramenta no processo avaliativo, este questionário possibilita ao professor a retomada de conteúdo a fim de sanar as dificuldades enfrentadas pela turma à respeito do conteúdo.

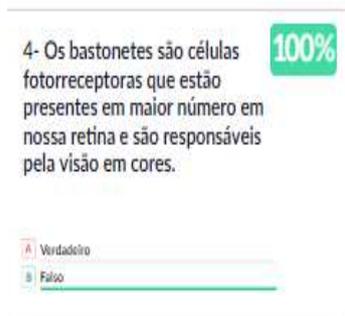
**Figura 31:** Porcentagem de acertos da questão 10 do questionário *Plickers*



Fonte: Autoria própria.

Essa questão mescla elementos da física moderna para melhor compreender o espectro visível e exige uma compreensão ousada e inovadora sobre a visão, obtendo ótimo desempenho por parte dos alunos, com 75% de acertos.

**Figura 32:** Porcentagem de acertos da questão do questionário *Plickers*



4- Os bastonetes são células fotorreceptoras que estão presentes em maior número em nossa retina e

Wed 14 Mar

Fonte: Autoria própria.

Nesta questão de verdadeiro ou falso, todos os alunos acertaram. E, em geral, nas outras questões, os discentes obtiveram bons resultados.

O aplicativo permite a criação de questões de múltipla escolha e de verdadeiro ou falso, além de disponibilizar ao professor relatórios por questão ou por aluno.

O **décimo momento investigativo** é a etapa final da intervenção que apresenta uma avaliação ampla (Apêndice B, p. 204) e que exige dos grupos um bom desenvolvimento coletivo e individual.

Este momento consiste na apresentação de seminário pelos quatro grupos iniciais, de acordo com os temas sorteados.

Para facilitar a avaliação dos trabalhos, foi utilizada uma ficha com critérios de avaliação de acordo com o tipo de trabalho (confecção da maquete/exposição do tema), presente no apêndice B, p. 204.

Os alunos responsáveis pelas maquetes foram avaliados conforme a concordância com o proposto, a criatividade, clareza e objetividade na confecção, cumprimento de prazos e apreciação global.

O grupo responsável pela câmera escura a executou muito bem. Eles utilizaram uma lente para que a imagem projetada fosse nítida e clara e os alunos puderam utilizá-la e verificar o seu funcionamento.

**Figura 33:** Alunos utilizando a câmera escura



Fonte: A autoria própria.

A maquete foi apresentada de forma que cada um pudesse manuseá-la e as reações foram bastante positivas devido à nitidez das imagens invertidas.

Em seguida, o grupo 2 falou historicamente sobre a câmera escura, fazendo uma analogia com a formação da imagem no olho, explicando este processo. Além disso, indicaram maneiras diversas para a confecção da maquete e relacionaram o tamanho do orifício dela com a qualidade da imagem.

Neste momento, o grupo 1 relatou que optou por uma lupa menor, pois ao usarem uma lupa maior, a imagem perdeu nitidez, compreendendo então, através da relação feita pelo grupo 2, o porquê dessa ocorrência, havendo uma interação entre esses grupos.

**Figura 34:** Apresentação oral sobre câmera escura e formação da imagem no olho



Fonte: A autoria própria.

O grupo 3 ficou responsável pela confecção do olho humano, com suas estruturas principais bem destacadas a fim de ser um instrumento didático que contribua para um ensino mais lúdico.

O protótipo do olho ficou bem funcional e fácil de ser utilizado, demonstrando bem as lentes humanas e toda a estrutura principal do olho, além das células fotorreceptoras.

Finalizando o seminário, o grupo 4 abordou o mecanismo da visão desde a formação da imagem na retina, a imagem em 3 dimensões com forma e cor, tal qual como o homem enxerga; a interação da luz com as células fotorreceptoras e sua relação com a vitamina A e com o espectro visível; a função do nervo óptico e, por fim, apresentou algumas curiosidades como a questão evolutiva de alguns animais terem a “cor” da urina detectada por seres da mesma espécie e que a íris é única e específica de cada indivíduo.

Este grupo apresentou-se com o auxílio de *slides* e, em alguns momentos, o quadro branco para ilustrar a energia necessária para iniciar uma reação fotoquímica.

Pode-se considerar o décimo momento investigativo como o ápice da aplicação do produto educacional, já que os alunos usaram todo o conhecimento produzido ao longo da intervenção didática, integrando os saberes de ciências sobre o tema.

**Figura 35:** Seminário sobre o mecanismo da visão



Fonte: Autoria própria.

Em seguida, os alunos refizeram o mesmo questionário inicial (Apêndice B, p. 167). São apresentadas em seguida algumas respostas.

**QUADRO 17 -** Respostas dos alunos sobre a questão 1 (Apêndice B, p. 167).

Nome	Resposta
Robson	É um tipo de onda ou partícula no qual nossos olhos são sensíveis e nos faz enxergar.
Helena	A luz é onda e partícula, dependendo da situação.
Nina	Uma onda eletromagnética que se comporta ora como onda, ora como partícula e sensibiliza nossas células fotorreceptoras.
Beto	A luz possui característica dual, logo ela é onda e partícula, variando de acordo com o “como” ela é observada.
Lorena	Elemento muito importante que permite formar a imagem e, conseqüentemente, enxergar.

Fonte: Autoria própria.

Em geral, os alunos citaram a dualidade onda-partícula da luz, ao tentar conceituá-la, reforçando que sua natureza dependerá da observação. Entretanto, essa é uma questão

muito subjetiva, já que poderia surgir a discussão de que se chama de luz apenas a radiação visível. Robson e Lorena trazem essa ideia em suas respostas, mas sem trazer uma reflexão.

**QUADRO 18** - Respostas dos alunos sobre a questão 2 (Apêndice B, p. 167).

<b>Nome</b>	<b>Resposta</b>
Robson	A luz chega ao olho atravessando a córnea, o humor aquoso e chega ao cristalino que o redireciona à pupila formando uma imagem invertida na retina e o cérebro a transforma no que vemos.
Helena	Uma união de física, biologia e química, em que a luz penetra um órgão receptor e é transformada na retina em impulsos nervosos que levarão a informação ao cérebro para que ele a interprete.
Nina	Através de estimulação das células fotorreceptoras, cada uma especializada em um tipo de frequência da luz visível.
Beto	O olho humano é como uma máquina fotográfica. A luz bate em um objeto que a reflete parcialmente. Assim, os olhos capturam a mesma que passa pelas estruturas dos olhos e a informação é transmitida para o cérebro, onde as imagens são interpretadas fazendo com que sejam vistas na posição correta.
Lorena	A luz atravessa nossos olhos como se estivesse passando por uma lente e forma a imagem. Essa imagem fica de “cabeça para baixo” e o nosso cérebro interpreta a imagem de forma correta.

Fonte: Autoria própria.

Os discentes apresentam respostas com melhor formulação do que antes da intervenção didática, enfatizando o papel do cérebro na interpretação da imagem.

Helena caracteriza o mecanismo da visão como um processo interdisciplinar. Frisa-se, contudo, que a docente/pesquisadora não usou esses termos durante a intervenção didática, o que demonstra que, ao integrar os saberes, a aluna fez associações importantes para a compreensão do processo da visão.

**QUADRO 19** - Respostas dos alunos sobre a questão 3 (Apêndice B, p. 167).

<b>Nome</b>	<b>Resposta</b>
Robson	Não, pois precisamos de luz para enxergar.
Helena	Não, quando está no escuro completo, o olho humano não consegue enxergar, pois não há luz.
Nina	Não há olho nu. Mas existem sensores capazes de detectar frequências invisíveis da luz e transformá-las em visíveis.
Beto	Se considerarmos o escuro completo, a total ausência de luz, seria impossível enxergar no escuro, pois nossos olhos captam luz refletida ou emitida de algo.
Lorena	Sim. Nossos olhos dilatam e possibilitam o que nós vemos. Apesar de escuro, nós não deixamos de ver.

Fonte: Autoria própria.

Ainda que a maior parte da amostragem tenha respondido que não é possível enxergar no escuro, os alunos que responderam o oposto justificavam no fato da pupila se dilatar ou contrair de acordo com a exposição à luz, supondo que haveria uma adaptação dos olhos no escuro.

Já o restante da turma compreendeu que a luz é fundamental para a visão, destacando a reflexão dela nos objetos.

#### **QUADRO 20** - Respostas dos alunos sobre a questão 4 (Apêndice B, p. 167).

<b>Nome</b>	<b>Resposta</b>
Robson	Uma teoria dizia que a luz era uma partícula e a outra que a luz era uma onda.
Helena	No modelo corpuscular da luz, Newton dizia que a luz era uma partícula e no modelo ondulatório, Huyghens dizia que a luz era uma onda. Porém, a luz é tanto partícula quanto onda.
Nina	O exemplo mais conhecido foi a disparidade entre a teoria ondulatória (luz sofre difração) e a teoria corpuscular (luz causaria aumento na movimentação de elétrons).
Beto	A divergência está nas duas teorias da luz. Uma que afirma a luz como onda, sofrendo difração e a teoria da mesma como partícula.

Lorena	Sobre a natureza da luz podemos dizer que ela possui um duplo comportamento, que pode ser uma onda ou partícula. Exemplo de onda: luz de um laser que passa numa fenda. Exemplo de partícula: efeito fotoelétrico.
--------	--

Fonte: Autoria própria.

Os estudantes apontaram as duas teorias relacionadas à natureza da luz, até então conhecidas: luz como onda e luz como partícula. Entretanto, há uma diferença significativa entre a teoria corpuscular de Newton e a teoria particular atual, o que não ficou claro nas soluções propostas por eles, exceto na de Helena que citou os principais defensores de cada teoria, embora a grafia do nome de Huygens não estivesse correta.

É relevante ainda, as exemplificações dadas por Lorena da natureza da luz, já que fizeram parte de demonstrações realizadas anteriormente.

#### QUADRO 21 - Respostas dos alunos sobre a questão 5 (Apêndice B, p. 167).

Nome	Resposta
Robson	O olho humano de fato é sensível à luz visível, mas existem outros tipos de luzes que não conseguimos perceber, exemplo: o infravermelho.
Helena	O olho humano é sensível à luz, pois é através da luz que a visão se inicia. Tem o infravermelho, raio X e ondas de rádio.
Nina	O olho humano é sensível à luz, mas não todas, pois conseguimos enxergar apenas uma pequena parcela dessa luz.
Beto	O olho humano percebe a luz. Existem outros tipos, mas que não são visíveis a olho nu por estarem abaixo do vermelho ou acima do violeta.
Lorena	O olho humano reage à luz, um exemplo é a pupila que aumenta ou diminui conforme a presença de luz. Tem o ultravioleta que nós não vemos.

Fonte: Autoria própria.

De modo geral, os estudantes destacam a sensibilidade do olho à luz como fundamental no mecanismo da visão, embora haja outras radiações que os olhos humanos não sejam sensíveis.

Finalizando a aplicação do produto didático, a turma assistiu aos vídeos gravados por eles anteriormente por ocasião dos experimentos sobre a luz. Foi um momento descontraído, em que interagiram fazendo comentários sobre a criatividade de cada grupo em executar a tarefa.

**Figura 36:** Turma 301 de Edificações IFF 2017.2



Fonte: Autoria própria.

Devido a pesquisa ter enfoque no ensino, os alunos foram solicitados a responderem a um questionário<sup>18</sup> disponível no *blog* sobre o ensino de física, com o intuito de avaliarem a prática docente. Os alunos foram orientados a acessar o *blog* e o responderem na primeira semana de aplicação.

A fim de reconhecer a composição da turma quanto ao gênero, obteve-se o correspondente a 56,7% de alunos do sexo feminino, como pode ser constatado na figura abaixo.

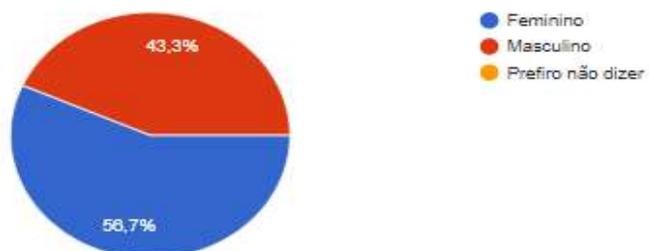
**Figura 37:** Gráfico de gênero

---

<sup>18</sup>O questionário encontra-se disponível em <<https://goo.gl/forms/5xnWV62FKwoX4mNr2>>. Ele foi criado na plataforma do *googleform*, que disponibiliza os dados em forma gráfica.

### Qual é o seu gênero?

30 respostas



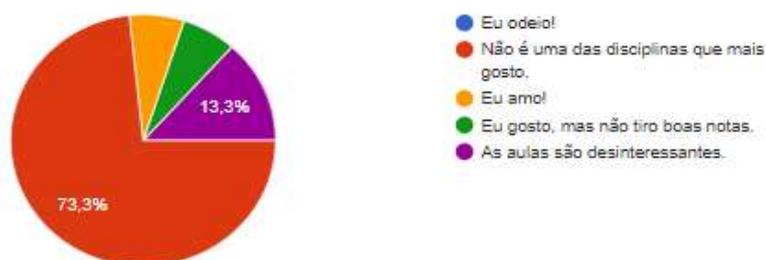
Fonte: Autoria própria.

À respeito de suas concepções das aulas de física, 73,3% dos discentes responderam que não é uma das disciplinas que eles mais gostam e 13,3% que as aulas são desinteressantes.

### Figura 38: Gráfico da concepção dos alunos sobre as aulas de física

#### Qual é a sua concepção de aulas de física?

30 respostas



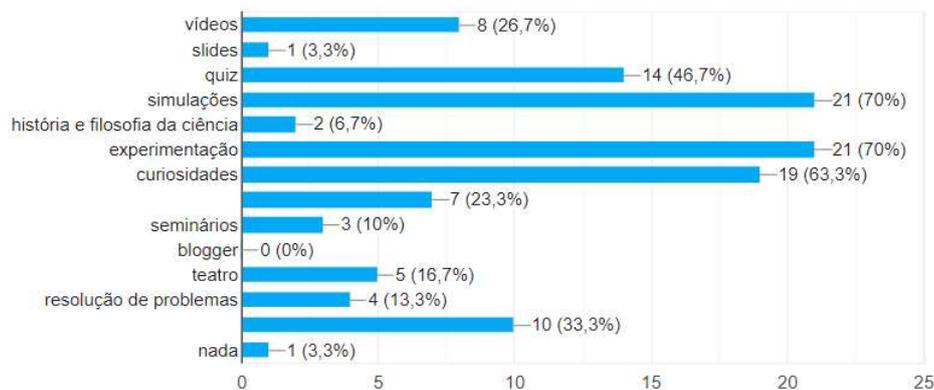
Fonte: Autoria própria.

Sobre os recursos e estratégias didáticas que os professores poderiam usar em sala de aula para tornar o ensino mais interessante (podendo escolher mais de uma opção), 70% dos alunos responderam que simulações e experimentos tornariam as aulas mais estimulantes; 63,3%, curiosidades e 46,7 % respondeu o uso de quiz.

**Figura 39:** Gráfico sobre recursos e estratégias didáticos

Quais dos recursos abaixo tornariam as aulas de física mais interessantes? Escolha mais de uma opção.

30 respostas



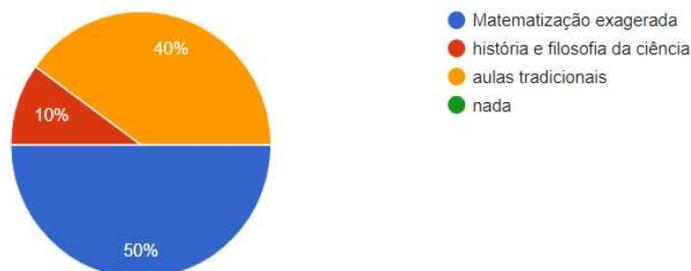
Fonte: Autoria própria.

Em relação a aspectos que tornam o ensino de física desestimulador, 50% da amostragem responsabilizam a matematização exagerada dos professores, 40% atribui às aulas tradicionais e 10% ao uso da HFC.

**Figura 40:** Gráfico sobre os elementos que tornam as aulas de física desestimulantes

Em sua opinião, o que torna as aulas de física desestimulantes?

30 respostas



Fonte: Autoria própria.

Por último, os alunos devem relatar no tocante à sua vivência no ensino médio, aspectos que consideram positivos e negativos referentes ao ensino de física.

**QUADRO 22** - Respostas dos alunos sobre os aspectos positivos e negativos das aulas de física

Faça um breve comentário sobre a sua experiência como aluno de Física durante esses três anos do ensino médio, destacando os pontos positivos e negativos.	
DISCENTE	RESPOSTA
Lorena	Foi uma experiência difícil, mas boa. Tive muita dificuldade, porém com esforço, consegui meus objetivos.
Fábio	Pontos negativos: Muitos professores desta área possuem uma bagagem acadêmica muito boa e intelectual, porém, não conseguem passar com a mesma intensidade para os alunos de maneira clara a matéria que está sendo estudada. Sem contar que não dão exercícios de fixação de acordo com os assuntos, se dão, não são do mesmo nível da prova. Fazem uso de livros que não tem exercícios pesados como o que ele dá, vídeos longos e com narração desmotivadora. Isso acontece direto! Positivo: professores que estão surgindo, são novos e estão trazendo para sala de aula uma maneira motivadora para tal explicação, levando em conta que possuem uma relação com os seus alunos bem saudável.
Helena	Física não é ruim, às vezes interessa, só que não tive muitos professores bons que me faziam ficar interessados na aula, tive os que só faziam eu perder qualquer interesse que eu tivesse.
Lucas	O conteúdo é dado sem que haja uma forma de estimular nossa aprendizagem.
Rebeca	O ponto positivo é que sempre consegui tirar notas boas e o negativo é que não gosto muito desta disciplina.
Robson	Chato.
Pedro	Física é uma matéria importante, mas muitos não vão bem pela dificuldade em resolver cálculos.
Beto	Minha turma teve cinco professores, cada um com uma dinâmica diferente, alguns assustadores e outros com verdadeiro dom para ensinar.
Gustavo	A matéria não é desagradável, entretanto o que problematiza são as didáticas dos professores, muitos sabem muito, mas não sabem transmitir ao aluno. Não creio também, que chegar para uma turma com mais de 20 matérias, com trabalhos e provas acumuladas trazendo didáticas que vão além da sala de aula ajude. Só vai saturar ainda mais os alunos que já vão para a aula exaustos (principalmente os do 3º ano). A física em si não é uma das matérias que abomino, acho alguns temas interessantes, inclusive. Mas confesso que alguns professores me fazem gostar mais e outros menos da matéria.
Carlos	Bom, no primeiro ano, o ensino de física tinha um déficit muito grande. O professor não buscava ensinar de maneira que abordasse positivamente todos os alunos, já no segundo e terceiro ano mudou a visão de física que eu tinha. Logo passei a me interessar mais e a aproveitar melhor de cada aula.
Ester	Complicada.

Erika	Positivos: claramente é o nosso aprendizado e negativo: quando os professores aplicam apenas testes e provas sem recorrer a outros instrumentos de avaliação.
Maysa	O <i>YouTube</i> me ensina que física é uma ciência fascinante. A escola me ensina que física são cálculos com um pouquinho de contexto vago.
Diana	Aulas com slides são muito legais, mas cansativas.
Carmen	Tive professores que usaram métodos mais modernos e que me fizeram entender melhor.
André	Em geral foram bons anos, mas algumas matérias ficaram pesadas para se estudar com o nosso limitado tempo, e trabalhos fora do horário que atrapalha por não termos muito tempo.
Rodolfo	Pontos negativos: Muitos professores da área tem uma bagagem acadêmica bem cheia, mas não conseguem passar da mesma forma para os alunos. explicações de difícil entendimento e pouco uso de didática. Provas que não condiz às explicações. O ponto positivo: a cada dia estão surgindo professores novos que estão conseguindo trazer didática, tecnologias para as aulas, exemplificando e facilitando o entendimento do assunto.
Maria Carolina	Gostei de apenas um professor, o único com didática suficiente para me fazer ter vontade de ir as aulas e prestar atenção na matéria.
Ana	Não odeio física, mas é uma matéria que não me desperta interesse, peguei professores no ensino médio que não eram tão bons, mas um que peguei me fez estudar, fazer exercícios que foi na dependência do primeiro ano.
Iann	Professores chatos que não sabiam explicar, só um na dependência que me fez fazer exercícios e tudo mais
Luana	Pontos positivos foram a interação da turma em experiências como meio de estudos e negativos foram aulas desestimulantes por muita coisa escrita e contas e explicações não satisfatórias do conteúdo, causando dificuldades.

Fonte: Autoria própria.

De forma geral, os alunos citaram como aspectos negativos: a falta de exercícios que sejam condizentes com as avaliações, a falta de didática na exposição de conteúdos, o uso de *slides* de forma excessiva e não bem estruturados e o uso de vídeos longos e desmotivadores. Como aspectos positivos, eles fazem algumas sugestões como o uso de avaliações diferenciadas e alguns deles destacam o professor da dependência como ótimo profissional, porque resolvia muitos exercícios da matéria com eles.

Houve críticas do aluno Gustavo a atividades extras sala que, segundo ele, poderia saturar o aluno, já que possuem atribuições de outras disciplinas. Provavelmente, este aluno sentiu-se intimidado na apresentação da proposta didática e explicitou a sua indignação antes da ocorrência das atividades.

Destaca-se ainda a fala de Maysa que aponta o ensino de física nas escolas como descontextualizado e que se prende a cálculos matemáticos, o oposto do que a mesma tem acesso por meio de vídeos dos canais de ciências cadastrados na plataforma do *Youtube*.

## 6 ANÁLISE DOS DADOS

Neste capítulo é apresentada uma análise das entrevistas realizadas com professores da rede estadual de ensino do RJ e alunos de Física dos períodos finais do Curso de Ciências da Natureza do IFF, *campus* Campos-Centro. Além disso, com a aplicação do produto didático, a professora regente da turma também foi entrevistada.

Em primeiro lugar serão apresentadas as entrevistas com os sujeitos selecionados. Em seguida, encaminhar-se-á uma análise das mesmas entrevistas, enfocando-se as perguntas norteadoras, ou seja, quais os pontos convergentes entre os entrevistados para cada tema abordado nas perguntas. Por fim, após a seleção das categorias de análise, haverá o confronto com o referencial teórico.

### 6.1 ANÁLISE DAS ENTREVISTAS POR SUJEITO

#### Análise da entrevista com a professora Maria

Comentários gerais<sup>19</sup>

No primeiro questionamento, a professora Maria destaca a **interdisciplinaridade** entre Biologia, Física e Química no material, no qual “há uma contextualização entre as três disciplinas”. Segundo ela, o material se torna mais interessante por conter **exemplos do cotidiano**, “ainda mais para um curso técnico, quando eles precisam ver o cotidiano dentro da sala de aula [...] que tem muita dificuldade em só dar o conteúdo sem uma base de vida”.

#### Adequação do material ao Currículo

A professora diz que está adequado. **Contudo**, “deveria **explicar melhor** o processo de reflexão da luz”. Deveria também “explicar [melhor] o processo da luz para o aluno, porque pra ele, da escola estadual, o currículo mínimo dele, do terceiro ano, é mínimo mesmo e não sei se ele teria tanta base pra entender dessa forma”.

#### Adequação da linguagem para compreensão dos alunos

Ela destaca que está adequada, tanto do ponto de vista da linguagem científica, quanto de uma **linguagem voltada para o cotidiano**, a qual facilita a compreensão do

---

<sup>19</sup> O roteiro de entrevistas encontra-se no apêndice A.

aluno por **contextualizar** os temas abordados. Achou também que está “fácil a leitura, dá pra entender. Têm as três ciências misturadas [...] então têm coisas da Biologia que eu não sabia e tive que ler mais a fundo para poder entender, mas quem tem a noção das três ciências, tranquilo”. Maria acha interessante a parte do material que fala de como os animais enxergam, das diferenças entre a visão de alguns animais com o ser humano. Segundo ela, “adorei essa parte de quando você fala de desvio (fenômeno da refração) [...] muito interessante também. Muito bom também”.

#### Aspectos motivacionais do material

Maria acha o material bem curioso por ser **interdisciplinar**, pois, segundo ela, “a luz bate no objeto, depois reflete e chega até seus olhos e, depois, o que acontece? É isso que é o intrigante. A biologia vai complementar o que acontece na verdade. Eu gostei”.

#### Explicitação do conhecimento prévio do aluno

Ela diz que, pela teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, seria necessário evocar o cotidiano do aluno para usar uma nova informação e promover a conexão “do conhecimento antigo com o novo, gerando um novo conhecimento”. Dessa forma, o material “fala disso”.

#### Contribuição do professor para o material

A professora acha o material muito bom. No entanto, disse que se sentiu insegura em relação ao tema de **ondas eletromagnéticas**, já que, conforme disse, “a meu ver até ele [o aluno] entender o que é uma onda eletromagnética, na verdade, aí acho que vai puxar um pouquinho”. Quanto à **História da Ciência**, foi um aspecto que ela diz ser “difícil” para o aluno compreender, pois “se o aluno não tiver base fica um pouco perdido”.

No mais, ela acha o material “intrigante”, com uma boa base de Biologia, Física e Química. E finaliza dizendo: que havia “muito tempo que não leio um material **estimulante e diferenciado** ao mesmo tempo. Gostei bastante”.

#### Comentário final sobre o material

Maria acha o **material de acordo com o currículo** do Estado: “está dentro da proposta da **contextualização** das ciências”. Diz mais uma vez sobre a importância da

contextualização e da **interdisciplinaridade**, que torna o material mais **interessante**, segundo ela.

Ela destaca também as curiosidades sobre o olho humano, no que diz respeito ao

“limite do ser humano, que o ser humano pode enxergar as cores, a luz visível e tal e tem relação do infravermelho e do ultravioleta. Achei bem interessante, traz o cotidiano pra sala de aula, traz uma contextualização. Do daltônico achei excelente, porque a gente ouviu falar, mas não sabe o porquê [...] muito bom, eu gostei”.

Acha os **exemplos bem instigantes**, ressaltando a interação das partículas de luz com as células fotossensíveis. Destaca ainda a **simplicidade dos experimentos** contidos no material. Porém, ressalta que os alunos podem ter dificuldade em fazer a maquete do olho humano sugerida no material caso não tenham “uma base boa de Biologia pra poder assimilar o conceito”. Entretanto, achou interessante.

### **Análise da entrevista com o professor Pedro**

#### Comentários gerais

O professor acha o material de “boa qualidade, bem explicado e dispõe de **exercícios** de variados níveis”.

#### Adequação do material ao Currículo

Segundo Pedro, o material “está de **acordo** com o currículo mínimo da 3ª série do ensino médio”.

#### Adequação da linguagem para compreensão dos alunos

Ele diz que o “material traz uma leitura de **fácil compreensão** para os leitores em questão”.

#### Aspectos motivacionais do material

O professor destaca o desinteresse do aluno diante do ensino de Física na rede estadual e acredita que “o material tem muito **potencial motivacional**, porém, poderiam ser expostos exemplos relacionando visão e **tecnologia**”.

#### Explicitação do conhecimento prévio do aluno

Ele diz que “o material é bem **didático e interdisciplinar**”.

#### Contribuição do professor para o material

Pedro acha o material de excelente qualidade. Em sua opinião, abrange os conteúdos pertinentes ao currículo. Contudo, destaca que **poderiam “ser acrescentados mais exercícios resolvidos ao longo do texto”**.

#### Comentário final sobre o material

Pedro destaca a **estrutura e organização** do material: “é bem explicado e exemplificado e está bem estruturado, permitindo um bom acompanhamento da matéria por parte dos professores e alunos”.

### **Análise da entrevista com o professor José**

#### Comentários gerais

José expõe inicialmente o seu interesse na leitura do material, destacando a **contextualização** e comentando a explicação do por que o homem não enxergar determinadas faixas de luz: “é uma coisa que eu não sabia [...] a questão do olho, da reação química que acontece, que a gente não enxergava acima do ultravioleta e abaixo do infravermelho”.

#### Adequação do material ao Currículo

Ele diz que o material está de acordo com o currículo. Comenta também que apesar de ter cálculo, também possui a **teoria**, a qual é muito valorizada pelo currículo mínimo, conforme o trecho: “mas eles [os autores do currículo] gostam de focar mais a parte teórica” e “os exercícios que eu dei uma olhada ‘cai’ cálculo também, mas o conteúdo tá bem direitinho e ‘bate’ bastante”.

#### Adequação da linguagem para compreensão dos alunos

José destaca a **estrutura** (organização) e desenvolvimento do texto: “o decorrer do texto está interessante e as coisas foram se encaixando”. E que a **linguagem** seria **simples**, já que “não vi nenhuma palavra difícil, porque se colocar palavra difícil eles não sabem”.

#### Aspectos motivacionais do material

O professor evidencia as **curiosidades** que são dispostas ao longo do texto, com destaque para “coisas sobre os olhos dos animais, as cores que eles enxergam. Essa questão mesmo por que a gente não enxerga certas frequências”.

O uso de **experimentos** de fácil execução é bem útil para instigar o aluno na aprendizagem de conceitos e o estimula a ter uma **atitude positiva** frente ao ensino de Física. Em relação às sugestões de demonstrações ele diz: “os experimentos também achei bem legal, essa placa de vidro é fácil de fazer e interessante”.

#### Explicitação do conhecimento prévio do aluno

Ele responde que sim, pois, segundo ele, o material possui exemplos do **cotidiano**, o que faria com que os alunos se questionassem e expusessem o que sabem sobre o tema. E que “cabe ao professor fazer as perguntas certas pra levantar o que eles já sabem”.

#### Contribuição do professor para o material

José acredita que o material esteja dentro da proposta do Estado, entretanto, “acharia que deveria focar mais na **matemática**, mas como o Estado não quer, então, dentro da proposta do Currículo tá legal”. Diz também que não acrescentaria nada ao material e que “acho que **está até melhor do que o Estado disponibiliza pra gente**”.

#### Comentário final sobre o material

O professor destacou a **sequência** e a **forma** como foi se desenvolvendo e se relacionando conceitos envolvidos no mecanismo da visão, diz que “vocês colocaram seguidos, pra poder explicar que o olho faz refração. Aí, vocês colocaram a refração, acho isso interessante porque o **processo é contínuo**, ele não é interrompido e dá pra entender como um todo”.

Outro comentário foi a respeito das **figuras**, ele as considerou de número suficiente e de acordo com os textos. Conforme ele, “tem as figuras certas, não tem figuras demais e gostei porque são todas interessantes que mostram como o daltônico vê o mundo [...] e de ilusão, achei todas bem interessantes”.

### **Análise da entrevista com o professor Paulo**

#### Comentários gerais

Paulo considera o material bem **contextualizado**, **objetivo** e **instigante** e aponta que o material “desperta a curiosidade e interesse dos alunos”. Segundo ele, “auxilia no

desenvolvimento de **habilidades** e **competências** previsto no Currículo”, ou seja, há indícios de que o material está de acordo com a proposta do Currículo Mínimo, no que diz respeito aos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1999).

#### Adequação do material ao Currículo

Como adiantado na pergunta anterior, Paulo diz que o material está adequado à proposta do Currículo Mínimo e acrescenta que o material serve de complemento para as aulas, ou seja, tem um **potencial paradidático**.

#### Adequação da linguagem para compreensão dos alunos

Paulo qualifica a linguagem do material como **simples** e **objetiva** e que também “permite a busca do conhecimento de forma **autônoma**”.

#### Aspectos motivacionais do material

Paulo afirma que sim, pois o material “apresenta o conteúdo de forma interessante” chamando atenção para a parte denominada Ilusão de Óptica.

#### Explicitação do conhecimento prévio do aluno

Paulo considera que sim devido ao fato de o material permitir “a construção do saber a partir dos conhecimentos prévios”.

#### Contribuição do professor para o material

Observa-se que, de fato, Paulo não responde à pergunta, mas aproveita para destacar o que considera os pontos positivos do material como a **interdisciplinaridade** das ciências, porque “relaciona conceitos físicos com a Química e a Biologia”.

#### Comentário final sobre o material

Como análise final, Paulo ressalta que atende as exigências previstas do Currículo Mínimo e complementa dizendo que o material está de **fácil entendimento** e considera que “incentiva a **busca do conhecimento**” pelos alunos.

### **Análise da entrevista com a professora Adelina**

#### Comentários gerais

Adelina julga o material como bom e salienta que **aprofunda** mais do que de costume. Fica muito evidente na sua fala a preocupação com o Saerjinho<sup>20</sup> e analisa que **retiraria algumas coisas**, enfocando-se mais a parte teórica, devido a prova ter muita teoria.

#### Adequação do material ao Currículo

Nessa questão, Adelina avalia que “de certa forma sim” e ressalta novamente a necessidade de melhorar [diminuiria] o nível de aprofundamento em certos pontos do material.

#### Adequação da linguagem para compreensão dos alunos

Adelina qualifica a linguagem do material como adequada, sendo possível trabalhar bem o conteúdo.

#### Aspectos motivacionais do material

Ela classifica o material como **estimulante**, chamando a atenção para a parte que fala do olho humano, sendo que “precisaria mexer um pouquinho”, e da parte prática, pois leva a fazer e interpretar os cálculos.

#### Explicitação do conhecimento prévio do aluno

Acha que sim, com reservas. Ela entende que o material por si só não levaria, mas que é um processo contínuo e que depende da forma como o professor trabalhe o conteúdo.

#### Contribuição do professor para o material

Adelina sugere um material **mais teórico**, sobretudo nos exercícios, para que se trabalhem melhor os conceitos. Comentou também que removeria alguns exercícios por acreditar que está **muito aprofundado**. Novamente baseia sua opinião no Saerjinho.

#### Comentário final sobre o material

---

<sup>20</sup> “É um programa de avaliação diagnóstica do processo de Ensino e de Aprendizagem realizado nas unidades escolares da rede estadual de educação básica, sendo uma das ações que integram o Sistema de Avaliação da Educação Básica do Rio de Janeiro – SAERJ” (RIO DE JANEIRO. Secretaria de Estado de Educação, 2011).

Adelina, em suas considerações finais sobre o material, fala que o considera bom e interessante e novamente ressalta as modificações necessárias ditas anteriormente.

### **Análise da entrevista com a licencianda Josi**

#### Comentários gerais

No primeiro momento, Josi destaca a boa **estruturação** do material, bem como a sua **interdisciplinaridade** e a linguagem utilizada, ressaltando que “o texto parece conversar com o aluno”, sendo que este último comentário é assunto da terceira questão.

#### Adequação do material ao Currículo

Josi considera que sim, porque aborda o conteúdo como previsto no Currículo Mínimo.

#### Adequação da linguagem para compreensão dos alunos

Apona que a linguagem utilizada está “próxima” do aluno.

#### Aspectos motivacionais do material

Descreve como interessante e dá ênfase as propostas de **simulação** e aos **experimentos**. A seu ver, “as **múltiplas atividades** estimulam o interesse no conteúdo”, principalmente por estar “mesclado” no texto.

#### Explicitação do conhecimento prévio do aluno

A resposta de Josi é positiva, devido a algumas **perguntas reflexivas** e também pela **contextualização** que o material suscita.

#### Contribuição do professor para o material

Josi sugere **mais figuras** no início do material, que fala da parte histórica, pois acredita que como houvera muitos cientistas envolvidos no processo, pode haver para o aluno certa confusão do processo histórico.

#### Comentário final sobre o material

Como comentário final, Josi enfatiza a adequação ao Currículo Mínimo, bem como a sua **interdisciplinaridade** e a parte **histórica** do material. Considera os exemplos

interessantes por dar uma visão mais **integrada** da ciência, no entanto, comenta que o **material aborda muita coisa** para o tempo de um bimestre.

### **Análise da entrevista com o licenciando Manoel**

#### Comentários gerais

Manoel inicia dizendo que o material trabalha o conteúdo de forma coerente com a proposta do Ensino Médio e destaca também a **linguagem acessível** utilizada e que descreve bem o processo da visão.

#### Adequação do material ao Currículo

Manoel não conhece a proposta do Currículo Mínimo.

#### Adequação da linguagem para compreensão dos alunos

Considera a linguagem como sendo **simples**, acessível a compreensão.

#### Aspectos motivacionais do material

Manoel acha que sim, **no entanto**, só considera como válido para o aluno “que já tenha uma pré-disposição com a disciplina” e que também depende do trabalho conjunto com o professor.

#### Explicitação do conhecimento prévio do aluno

Manoel considera que **não**, pois algumas questões foram colocadas depois que o aluno já viu o conteúdo e acha que desta maneira não seria possível explicitar seus conhecimentos.

#### Contribuição do professor para o material

Ele sugere alguns **experimentos** que se relacionem com as etapas da visão.

#### Comentário final sobre o material

Enfatiza em seu comentário final a **interdisciplinaridade** entre a Física, Química e Biologia, sendo que se enfoca mais na Física. Também destaca a importância de ter questões de **vestibular**, pois assim prepara o aluno para esta etapa.

## **Análise da entrevista com a professora Evelyn (regente da turma e participante da aplicação)**

### Comentários gerais

Na primeira questão, a professora diz que o material é muito bom.

### Adequação do material ao Currículo

A professora diz que o material está adequado ao currículo mínimo do RJ.

### Adequação da linguagem para compreensão dos alunos

Evelyn destaca que a linguagem presente no material está adequada e é compreensível para os alunos.

### Aspectos motivacionais do material

Evelyn destaca a importância das atividades (**experimentais**, em grupo e individuais) presentes no material como estimulantes, tanto para a pesquisa como para os alunos. Enfatiza ainda que “essas **atitudes** podem contribuir até mesmo para que o estudante, que muitas vezes não gosta da disciplina, mude de opinião e passe a gostar de Física”.

### Explicitação do conhecimento prévio do aluno

Ela frisa o que disse anteriormente sobre as **atividades práticas** e suas contribuições e acrescenta que o material faz com que o aluno apresente “sua concepção, o conhecimento já internalizado, adquirido em sua vida (seja no seu dia a dia ou na sua vida acadêmica) sobre o assunto discutido”. Para mais, ressalta a **mediação do professor** como fundamental para esclarecer se o conhecimento prévio do aluno é ‘verdadeiro’ ou não.

### Contribuição do professor para o material

A professora Evelyn sugere que o **tempo** de aplicação do produto didático junto às turmas seja **maior**.

### Comentário final sobre o material

Evelyn diz que gostou muito do material e que não teria muito a acrescentar, exceto pelo uso de **tecnologia** em diversos momentos da aplicação, o que, segundo ela, é preocupante já que por ser “uma proposta curricular para o Estado do RJ e sabendo da

precariedade de muitas escolas, como poderia ser realizado este trabalho em locais onde muitos alunos não têm acesso ao computador, à *internet*, ao *smartphone*, etc.?”.

## 6.2 ANÁLISE DAS ENTREVISTAS POR QUESTÃO

A **primeira pergunta** tem o objetivo de levantar as impressões dos entrevistados sobre o material de forma geral e, a partir dela, pode-se coletar o que mais se destacou nele. De forma unânime, todos falaram a respeito do material estar organizado **de acordo** com a proposta curricular. Maria e Josi falaram da **interdisciplinaridade**, sendo a parte **histórica** um dos destaques de Josi; alguns professores como Josi e Manoel antecipam em sua fala sobre a **linguagem** utilizada no material ser **adequada** aos sujeitos da aprendizagem, sendo este o assunto da terceira questão; Josi destaca ainda que o texto dialoga com o leitor. Maria, José e Paulo comentaram sobre a **contextualização** do material; José e Paulo destacam o material como **curioso** e Evelyn o classifica como **atitudinalmente** relevante, destacando as atividades **experimentais**; Paulo ressalta a **concordância** com o Currículo Mínimo, sendo este o tema da próxima questão.

A respeito da **segunda pergunta** da entrevista, excetuando Manoel, que desconhece a proposta do Currículo Mínimo, todos consideram que o material está adequado do ponto de vista didático. Entretanto, Adelina enfatiza a importância de detalhar alguns trechos do material, o que vai ao encontro da fala de Maria, que sugere que algumas partes sejam revistas a fim de que os alunos compreendam melhor a maneira que foi apresentado o assunto.

Vale ressaltar que, para sete dos oito entrevistados, o material está de acordo com o objetivo central desta pesquisa, que é a elaboração de um material didático na perspectiva da proposta curricular do Estado do Rio de Janeiro.

Sobre a linguagem utilizada no material, tema da **terceira questão**, os entrevistados disseram que a linguagem era simples e de fácil compreensão. Maria frisa a contextualização do material e aponta o que mais chamou a sua atenção: a integração das três ciências. José descreve que no decorrer do texto as “coisas” parecem se ‘encaixar’. Manoel ressalta as figuras utilizadas como adequadas e pertinentes.

A **quarta questão** pretende avaliar se o material estimula a atitude positiva dos alunos e, salvo algumas condições, todos responderam que sim. Para Pedro, poderia ter exemplos que relacionassem visão e tecnologia; para Adelina, o material deve estimular a realização de exercícios; para Manoel, dependeria de como o material vai ser utilizado.

Maria diz que o material está instigante; José frisa que o material o deixou curioso, principalmente na parte que aborda a visão dos animais e o experimento da placa de vidro com glicerina, também comentado por Josi. Paulo e Josi consideram o material interessante, sendo que Paulo destaca a parte da ilusão de óptica e Josi as simulações propostas. A professora Evelyn destaca as atividades práticas tanto em grupo, quanto individuais.

Na **quinta questão** foi perguntado que sugestão daria para o material a fim de melhorá-lo, Maria sugere rever a parte que aborda o comportamento dual da luz e do espectro eletromagnético, pois considera muito aprofundado para o aluno que não tiver base. Também sugere colocar a definição de galvanômetro, número de página e o índice. Pedro propõe colocar exercício resolvido ao longo do texto. José e Paulo não fazem nenhuma sugestão; José considera o material melhor do que o Estado disponibiliza e, para Paulo, o material mostra uma ciência única, integrada. Adelina requer um material mais teórico, com exercícios que trabalhem os conceitos. Josi, colocar fotos dos cientistas que foram citados e Manoel, experimentos que relacionem as etapas da visão. Evelyn ressalta apenas em relação ao tempo de aplicação do produto que poderia ser maior.

Ao serem questionados na **sexta questão** se o material instiga o aluno a explicitar seus conhecimentos prévios, quase todos responderam que sim, salvo Manoel. Para Maria, José e Josi, isso ocorre quando o material coloca questões do dia a dia, sendo que Josi evidencia que as perguntas reflexivas e a linguagem utilizada ajudam o aluno a explicitarem seus conhecimentos prévios. Pedro acredita que sim, pois o material é bem didático e interdisciplinar. Adelina julga que vai depender de como o material vai ser utilizado e para Manoel, o material não instiga, pois acredita que de certa forma o texto já coloca as respostas para as questões levantadas e considera que assim o aluno não explicitaria seus conhecimentos prévios. Evelyn acredita que as questões ao longo do texto permitem ao aluno demonstrar as suas concepções alternativas sobre o tema, em que a mediação do professor é primordial para esclarecer e ensinar o conhecimento científico.

A **sétima questão** pede aos entrevistados comentários gerais acerca do material didático apresentado. Todos afirmaram que a proposta é muito boa e que gostaram bastante do material. Os entrevistados Maria, Paulo e Josi reforçam que o material está de acordo com a proposta do Currículo Mínimo. Maria, Josi e Manoel destacam também a interdisciplinaridade e, para Josi, o tema abordado ajuda a desmistificar o ensino de Física, pois facilita a compreensão dos alunos. Maria e José consideram-no muito

interessante e curioso e dão ênfase no tema daltonismo. Pedro diz que o material é bem explicado e exemplificado; José comenta que tem figuras na medida certa e que a forma como foi escrito deixou o material interessante e contínuo, sendo possível compreender o processo como um todo. Para Paulo, o material incentiva a busca do conhecimento e para Adelina algumas coisas precisam ser mudadas. Josi acha interessante a parte histórica e a perspectiva integrada da ciência, porém considera que o material aborda muitos temas e que seria necessário o tempo de um bimestre. Por fim, Manoel considera o material interessante, principalmente as questões de vestibular e Evelyn levanta a discussão sobre o uso de tecnologias na educação, principalmente em escolas onde o acesso é impossibilitado. Entretanto, por essa razão, há alternativas disponibilizadas ao professor para que o material didático seja adaptado conforme as necessidades das turmas e da escola.

### 6.3 DIALOGANDO COM OS REFERENCIAIS TEÓRICOS

Procurando contemplar a proposta curricular do Estado do Rio de Janeiro, o projeto didático proposto possui algumas estratégias de ensino que facilitam a aprendizagem. Com o intuito de identificar esses elementos, foi feita uma leitura, a partir das entrevistas, na perspectiva de elencar algumas categorias de análise.

Contudo, primeiramente, é necessário que o professor compreenda quem são os seus alunos, o contexto em que vivem e adaptar as estratégias em seu planejamento e avaliação, conforme esses fatores lhe são apresentados. Ademais, com autonomia e reflexão de sua prática docente, encaminhar o aluno para uma mudança conceitual não é tarefa fácil e muito menos pode-se afirmar que a empreitada será bem-sucedida. Contudo, algumas estratégias propiciam essa mudança.

Seguindo a lógica do modelo de Posner et al. (1982), a mudança conceitual<sup>21</sup> é feita quando o conhecimento prévio do aluno é insuficiente para responder algumas questões. Além disso, ao ser apresentada uma nova concepção, é necessária que esta seja clara, capaz de preencher as lacunas de conhecimento deixadas pelas concepções preexistentes e, ao mesmo tempo, de fomentar possibilidades de aprofundamento

---

<sup>21</sup> Atualmente é mais adequado falar em evolução conceitual, já que as concepções alternativas são muito resistentes à mudança, sendo algumas inatas. O paradigma científico é construído sem alterar as concepções alternativas mais 'primitivas', dado seu caráter implícito e evolutivo (AUGÉ, 2014).

informacional, sendo compartilhada para outras áreas do saber (MOREIRA; GRECA, 2003, p. 304).

Nesta perspectiva, em seguida são apresentadas algumas categorias de análise da proposta didática com base nas falas dos entrevistados à luz do objeto de pesquisa desta investigação.

A **interdisciplinaridade**, primeira categoria de análise escolhida por estar evidente em diversas falas dos entrevistados, é uma característica muito presente no Currículo Mínimo estadual. No entanto, é possível dizer, diante das entrevistas realizadas, que não é um fator presente nas aulas de turmas de escolas estaduais, ao menos no âmbito da região alvo da investigação. Os professores entrevistados destacam que esse elemento ‘despertou’ a curiosidade, podendo ser um estimulador da aprendizagem e de uma atitude positiva para com o ensino, além de tornar o ensino de ondas eletromagnéticas mais integrado.

Maria, por exemplo, destaca como o uso da interdisciplinaridade pode fazer com que se possa compreender de forma mais clara o processo da visão em que as ciências se complementam; Pedro, por sua vez, diz que o material é estimulante, frisando a interdisciplinaridade; José demonstrou bastante interesse na organização e relação dos conteúdos do material, o que proporciona um conhecimento mais amplo de Física, Química e Biologia, pela a visão ser um processo complexo; Paulo diz que um dos pontos positivos do material é essa interação dos saberes e que isso estimula o aluno na busca pelo conhecimento; Josi diz que o material dá uma visão mais integrada da ciência; Manoel fala também da interdisciplinaridade, ainda que ache que o foco do material seja a Física.

Como é um tema que envolve uma certa complexidade, olho humano como receptor de ondas eletromagnéticas, se faz necessário uma integração entre os saberes de ciências, para que haja complementação entre essas disciplinas e melhor compreensão do processo como um todo. É possível identificar, pelas falas dos professores e licenciandos de Física, que o material didático promove, de forma explícita, um diálogo entre as ciências naturais, diálogo este apontado como um grande aliado na compreensão do processo da visão como um todo.

Portanto, a fala dos entrevistados encontra ressonância nas teorizações que defendem a interdisciplinaridade como fator preponderante na melhoria dos processos de ensino (LABURÚ, ARRUDA e NARDI, 2003; BAZZO, 2010) e, “na perspectiva escolar, a interdisciplinaridade não tem a pretensão de criar novas disciplinas ou saberes, mas de

utilizar os conhecimentos de várias disciplinas para resolver um problema concreto ou compreender um determinado fenômeno sob diferentes pontos de vista” (BRASIL, 1999, p. 34-36). Ela também permite o desenvolvimento de novos saberes e uma maneira de reaproximação da realidade social, permitindo assim, uma compreensão atual das dimensões socioculturais das comunidades humanas (YARED, 2008, p. 166). Assim também como vai ao encontro da proposta curricular do Estado que propõe “o desenvolvimento de um conjunto de boas práticas educacionais, tais quais: o ensino interdisciplinar e contextualizado” (BRASIL, 2012, p. 2).

A **contextualização** é outra categoria de análise que se destaca nessa pesquisa. Do ponto de vista didático, é recomendável que se use exemplos do cotidiano do aluno como recurso de ensino, já que o “pensamento conceitual é uma conquista que depende não somente do esforço individual mas principalmente do contexto em que o indivíduo se insere, que define, aliás, seu ‘ponto de chegada’”(REGO, 2001, p. 79). Nesta perspectiva, o Currículo Mínimo propicia a formação de

“um solo firme para o desenvolvimento de um conjunto de boas práticas educacionais, tais quais: o ensino interdisciplinar e contextualizado; [...] a utilização das novas mídias no ensino; a incorporação de projetos e temáticas transversais nos projetos pedagógicos das escolas; [...] entre outras — formando um conjunto de ações importantes para a construção de uma escola e de um ensino de qualidade” (BRASIL, 2012, p.2).

A contextualização foi um tópico bastante recorrente nas entrevistas. Maria diz que ao usar exemplos do cotidiano, o assunto se torna mais próximo do aluno e é interessante, dando destaque à linguagem precisa e ao diálogo, que proporcionam uma melhor discussão e compreensão do conteúdo, como no tópico que relaciona a faixa de luz visível e o porquê de termos esse limite visual; Pedro acrescenta que deveria ter mais exemplos de tecnologia no material; José, em diferentes momentos, evidencia a contextualização como um fator positivo, juntamente com exemplos curiosos que, muitas vezes, não são explorados pelo professor e, até mesmo, que o material estaria mais bem organizado do que o disponibilizado pelo Estado; Josi acha interessante a forma como o texto dialoga com o leitor e sua organização, levando-o a reflexões e melhor entendimento do conteúdo; Manoel destaca a linguagem acessível utilizada em conjunto com os exemplos contextualizados.

Os temas em ciência, filosofia, história e ensino de ciências “representam uma imagem mais rica e multicolor da ciência do que aquela que tem normalmente aparecido nos livros e nas salas de aula. Novos currículos têm tentado levar essa figura mais rica às salas de aula” (MATTHEWS, 1995, p. 197). Assim, surge uma outra categoria que se destaca, a **história da ciência e/ou o uso de experimentos** como recursos didáticos.

Para mais, utilizando a história da ciência em conjunto com experimentos, pode-se mostrar a base experimental da Física: “as demonstrações são de grande utilidade já que elas geram situações que despertam a atenção e a curiosidade dos alunos, fatores essenciais para que se realize a aprendizagem” (SEKKEL; MURAMATSU, 1976, p. 522).

A abordagem histórica e a sugestão de experimentos e simulações foram utilizadas no material com o intuito de contextualizar, tornar o ensino lúdico e favorecer a compreensão da evolução conceitual e da própria ciência. Augé (2004) é um exemplo da relevância atitudinal que esses dois recursos, história e experimentos, podem exercer nos discentes.

Os depoimentos analisados evidenciam a necessidade de experimentos simples e interessantes para dinamizar as aulas e facilitar a aprendizagem, corroborando com os objetivos da proposta pedagógica. Também concordam que a história e filosofia da ciência facilitam o entendimento do mecanismo da visão como um todo e não um ato isolado, excetuando a professora Maria que acha que os alunos teriam dificuldade em acompanhar essa evolução histórica. Josi sugere que tenha figuras dos cientistas que colaboraram para a teoria em questão, mas acha interessante a forma como foi abordada a história que, diferente da maioria dos livros, não foi tão direta e breve, teve desenvolvimento.

Alguns **conteúdos de Física** foram citados pelos entrevistados como instigantes ou interessantes, o que sugere uma outra categoria de análise na investigação.

Maria cita o conteúdo do material que fala sobre as diferenças biológicas e físicas dos olhos de outros animais e de como eles veem; destaca o processo em si da visão com a abordagem interdisciplinar como superinteressante (como na interação da luz com as células fotossensíveis) e também sobre o daltonismo; José destaca seu interesse na reação química que ocorre na retina e na explicação mais ampla da faixa de luz visível; considera também as figuras sobre daltonismo e ilusão de óptica bem instigantes. Paulo se interessa pelo tópico ilusão de óptica; Adelina diz que o material estimula quando fala do olho

humano; Josi fala das sugestões de simulações e *links* mesclados no texto, destacando a de glicerina e, também, sobre o conteúdo do olho humano.

Outro aspecto que será abordado nesta fase da análise dos dados, se encontra nas peculiaridades didático-pedagógicas da proposta, ou seja, a **estratégia didática** vista globalmente.

De acordo com algumas falas, é possível sugerir que algumas estratégias didáticas exploradas no material foram importantes do ponto de vista instrucional e também motivacional. Sekkel e Muramatsu (1976, p. 520), falando sobre atitudes motivacionais, destaca que “de qualquer modo as atitudes assumidas pelos alunos em um curso e seu interesse podem ser influenciados indiretamente através de recursos tais como: filmes, demonstrações, TV, etc.”. Pode-se acrescentar também a importância atitudinal que a estratégia didática como um todo pode exercer (AUGÉ, 2004, p. 96).

Considerar aspectos que possibilitam atitudes positivas diante do ensino é primordial no planejamento e ação do docente, que aprimorará os métodos e estratégias de ensino considerando “as condições e necessidades reais encontradas pelos professores no exercício diário de suas funções” (BRASIL, 2012, p. 2). Nesta perspectiva, é possível sugerir ainda mais uma categoria de análise, a saber, a **atitude** com relação ao ensino de Física, como aqui proposto. Na fala dos professores e licenciandos entrevistados é clara a presença de termos com conotação motivacional.

Voltando à questão norteadora desta pesquisa, ou seja, o que se pode apreender, com relação ao ensino, diante de uma proposta didática diferenciada, como a sugerida, são feitas agora algumas considerações finais.

O currículo norteia os conteúdos, de forma a valorizar saberes que são pertinentes ao ensino de Física. Por isso, é fundamental considerar os seus aspectos e direções ao elaborar um material didático. A respeito deste documento, “elaborou-se um currículo que contemple tanto temas de Física Moderna e Contemporânea quanto uma abordagem histórico-filosófica” (BRASIL, 2012, p. 3).

Seguindo essas recomendações e a de compreender a Física Ondulatória a partir do olho humano, foi confeccionado o material alternativo e, através da análise das falas dos professores e licenciandos, pode-se inferir que o material didático em questão apresenta elementos que favorecem a aprendizagem e, ao mesmo tempo, dialoga com os objetivos do currículo mínimo, usando de artifícios experimentais, abordagem histórica, contextualização e elementos de Física Moderna com o objetivo de facilitar a compreensão do conteúdo.

No entanto, alguns aspectos precisam ser revistos como o aprimoramento dos recursos de ilustração no decorrer do texto, como também a introdução de exercícios voltados para o vestibular, pontos estes presentes nas colocações dos entrevistados.

A proposta didática enquadra-se como diferenciada não somente por mesclar diversas estratégias de ensino, mas também por usar um tema da física instigante com uma organização de conteúdos bem inovadora.

Com uma abordagem interdisciplinar, o material propõe o ensino de ondas eletromagnéticas a partir do olho humano e do processo da visão, inserindo tópicos da física moderna e contemporânea de forma contextualizada e com o auxílio das novas tecnologias.

Pode-se apreender, portanto, em relação ao ensino, a dinamicidade que o material propõe nas aulas de física, buscando a facilitação na compreensão do conteúdo e a participação ativa do aluno no processo de aprendizagem, com destaque no ensino a partir das concepções prévias do aprendiz.

Vale ressaltar que o foco dessa pesquisa é no ensino. Contudo, devido a sua aplicação, pode-se inferir uma compreensão progressiva e global dos alunos diante da proposta didática, progressão que pode ser quantificada a partir da análise das respostas dos discentes nas atividades avaliativas realizadas, o que fica como sugestão para uma futura pesquisa.

Quanto à proposta curricular e a questão motivacional dos autores desta pesquisa, ambas vão ao encontro uma da outra, já que o conteúdo tratado no material foi ressaltado pela equipe pedagógica que compõe o currículo mínimo de física como escasso ou até mesmo inexistente em livros didáticos, o que enfatiza o valor educacional do material educativo.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de ciências no Brasil encontra-se, de certa forma, fragmentado e desarticulado com as novas estratégias de ensino e com as recentes pesquisas na área de educação. Apesar dos avanços.

Além disso, há uma escassez em sala de aula das aplicações do conhecimento científico no cotidiano dos alunos, levando-os a reconhecer a ciência como um conhecimento impessoal, objetivo e abstrato, ou seja, há uma dissociação entre o que é aprendido em sala de aula e a natureza.

Na tentativa de superação da crise educacional, nas últimas décadas, houve uma grande preocupação na elaboração de estratégias de ensino e investimentos nessa área. O Estado do Rio de Janeiro formulou orientações básicas em relação ao processo de ensino e aprendizagem das escolas estaduais na intenção de atender as novas necessidades da Educação Básica. O novo Currículo Mínimo busca um ensino dinâmico, valorizando os conhecimentos atuais e contextualizados com o intuito de resgatar o interesse dos alunos, dentre outros aspectos.

Todavia, essa nova perspectiva evidenciou novas problemáticas, já que conteúdos considerados como clássicos no Ensino de Física foram retirados, como a cinemática e outros que se mantiveram, partem de uma proposta mais atual e concreta, com a inserção de tópicos da Física Moderna e Contemporânea.

Com isso, ensinar ciências tornou-se um grande desafio ao professor, já que, muitas vezes, este não dispõe de uma formação acadêmica profissional adequada e de materiais instrucionais que atendam esse novo olhar do Currículo Mínimo, como os livros didáticos utilizados pelas escolas estaduais que, apesar de cumprirem algumas exigências, mostram-se insuficientes para serem utilizados como único apoio.

A partir desse cenário, a presente pesquisa propôs formular um material didático diferenciado sob a nova perspectiva do Currículo Mínimo, sobre Ondas eletromagnéticas, apresentada a partir do olho humano como receptor das mesmas.

Com o intuito de produzir um material com potencial significativo, em sua elaboração, buscou-se conhecer os enfoques didáticos e os modelos didáticos dos professores para apreender seus pressupostos e metas, seleção de conteúdos, avaliação, relação professor-aluno, métodos de ensino e de pesquisa, intenção, entre outros, que se configurem no fazer pedagógico do professor e em seus saberes. Empregou-se ainda a

História e Filosofia da Ciência e a experimentação (física e virtual) como estratégias didáticas no material devido ao seu caráter de enriquecer e motivar a aprendizagem nos alunos.

O uso em conjunto desses dois recursos possibilita uma aprendizagem mais dinâmica e prazerosa, além de mostrar uma visão de ciência mais global, na sua construção e contexto social, visto que esses recursos permitem uma aproximação com a ciência.

‘Luz e Visão: entendendo o olho humano como receptor de ondas eletromagnéticas’ é um material introdutório ao ensino de Física Ondulatória para o 3º bimestre da 3ª série do Ensino Médio da Rede Estadual de ensino.

Um fator preponderante desde a escolha do tema até o seu desenvolvimento, é a interdisciplinaridade. O que permite um ensino integrado e mais curioso.

Em sua composição, o material apresenta textos que dialogam com o aluno, levando-o a refletir. Por isso, a valorização de temas atuais e presentes no cotidiano, trazendo inquietações sobre o processo da visão e da natureza da luz.

No tocante à estrutura conceitual, a proposta didática faz uma breve introdução sobre o eletromagnetismo através de uma abordagem histórica e próxima ao aluno, questionando a natureza da luz e sua importância para o mecanismo da visão. Em seguida, conceitua-se refração e introduz-se os cálculos que a envolvem, proporcionando assim, uma melhor compreensão do processo da formação da imagem, integrando saberes de química, física e biologia.

O material pedagógico apresenta ainda assuntos pertinentes como mecanismo da visão em outros animais, ilusão de óptica e daltonismo, tornando-o interessante e singular. Finalizando com exercícios sobre todo o conteúdo explicitado anteriormente.

Ao longo do texto, o leitor se depara com sugestões de simulações e experimentos simples que possibilitam uma melhor compreensão dos fenômenos em conjunto com a teoria, além de perguntas que permitem ao docente avaliar a aprendizagem do aluno.

É fundamental frisar que as atividades propostas devem ser administradas pelo professor segundo sua intencionalidade e, desse modo, adequá-las à turma conforme sua realidade escolar. Embora seja sugerida a realização de simulações e experimentos, eles são primordiais para o melhor entendimento dos fenômenos e para aprendizagem.

O conteúdo deverá ser trabalhado durante um bimestre. Entretanto, a aplicação ocorreu em menor tempo devido aos ajustes do calendário letivo e do feriado proveniente ao carnaval.

A respeito da aplicação, houve grande mobilização e participação dos alunos nas atividades orientadas, interagindo entre eles, com o material e com o professor.

O momento mais impactante, do ponto de vista do pesquisador, foi o último momento investigativo, que culminou no seminário sobre o mecanismo da visão. Nesta etapa, os discentes fizeram uma síntese sobre tudo o que foi discutido em sala de aula e, utilizando de criatividade, obtiveram um excelente desempenho, com a integração de todos os integrantes do grupo.

Através das falas dos entrevistados, destacaram-se categorias de análise as quais evidenciaram o potencial do material proposto.

Categorias estas relevantes na apreensão do impacto positivo da proposta didática no ensino e se seus objetivos foram alcançados. Destacam-se a interdisciplinaridade, contextualização, HFC e experimentos, conteúdos de Física, estratégia didática e atitude.

Por meio da aplicação e da análise da entrevista da professora regente da turma, levantou-se a reflexão sobre a adaptação de algumas atividades que exigem o uso de tecnologia em escolas onde não há uma boa infraestrutura e investimento nesse quesito.

Contudo, é disponibilizado ao professor todos os questionários que foram inseridos nas plataformas digitais para que ele faça as adaptações necessárias e possa utilizar ou de forma impressa, ou com *PowerPoint*, ou de outra maneira que jogar mais adequada e condizente com a realidade escolar local.

O uso de tecnologia em sala de aula é uma estratégia desafiadora, não somente pelas limitações em seu manuseio, mas também pelo seu acesso nas escolas. No entanto, a sociedade atual cada vez mais exige sua inserção na educação para uma melhor formação de sujeitos que atuarão no mercado profissional.

A fim de facilitar a assimilação dos conteúdos, a pesquisa tem como um de seus objetivos elaborar um material didático de qualidade que vá ao encontro do Currículo Mínimo no que se refere a abordagem dos conceitos.

Por mais que haja um crescimento significativo em pesquisas na área de Ensino de Física, professores com viés tradicional são mais resistentes a aplicá-las ou pelo comodismo ou pela dificuldade em se adequarem às novas exigências do mercado profissional.

Quanto a isto, Castro e Carvalho (2004) corrobora a falta de atuação do professor mediante as mudanças no ensino exigidas pelo currículo:

[...] É possível, no entanto, encontrarmos currículos e programas bastante atualizados, porém submetidos a um tratamento didático obsoleto, em desacordo com o processo de fazer e de pensar a Ciência. A busca da certeza e o lugar das incertezas que desafiam o futuro são, enfim, avessos às condições de uma mente científica. Nesses casos, há uma dupla traição: às condições próprias ao desenvolvimento da Ciência e às exigências de um processo de ensino/aprendizagem que faça justiça à inteligência do aluno (CASTRO; CARVALHO, 2004, p. 8).

Ao final desta pesquisa, conclui-se que a produção de materiais pedagógicos com caráter interdisciplinar, norteados pelo Currículo Mínimo, sobre luz e visão ainda é muito incipiente, entretanto, a proposta aqui apresentada é uma tentativa inicial diante de todo um processo de adaptação curricular.

Nesta perspectiva, o material tem valor pela sua iniciativa, sendo possível posteriormente dar continuidade a esta pesquisa, não somente com complementos para aperfeiçoá-lo, mas também para ampliar seus objetivos, com a finalidade de explorar os resultados de sua aplicação, especificamente, em nível da aprendizagem.

Além disso, sugere-se que os professores desenvolvam outras propostas de intervenção didática com base no Currículo-RJ, expandindo as pesquisas na área em concordância com a sua prática docente, transpondo didaticamente, por exemplo, conteúdos da FMC ao ensino básico ou trazendo uma nova roupagem aos conteúdos clássicos.

A reformulação da prática educativa deve ser atual, sendo crucial que os docentes tenham um olhar crítico e reflexivo sobre o ato de ensinar, buscando uma formação continuada e novas estratégias de ensino que deverão ser aprimoradas e implementadas em sala de aula para um ensino mais acessível, dinâmico e agregador.

Conforme Freire (1996, p. 136), o “sujeito que se abre ao mundo e aos outros inaugura com seu gesto a relação dialógica em que se confirma como inquietação e curiosidade, como inconclusão em permanente momento na História”. Em outras palavras, a formação docente deve estar voltada para o contexto social e geográfico dos educandos e da escola em que se trabalha, permitindo, assim, uma intervenção pedagógica mais frutífera, compreendendo as necessidades daquele grupo escolar.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Alda Judith. O planejamento de pesquisas qualitativas em educação. *Cadernos de Pesquisa*, São Paulo: Fundação Carlos Chagas/Cortez, 77, p. 53-61, maio 1991. Disponível em: <<http://www.fcc.org.br/pesquisa/publicacoes/cp/arquivos/797.pdf>>. Acesso em: 20 ago 2015.

ALVES, Gilberto Luiz. *O trabalho didático na escola moderna: formas históricas*. Campinas: Autores Associados, 2005.

AMARAL, Ivan A. Conhecimento formal, experimentação e estudo ambiental. *Ciência & Ensino*, n. 3, p. 10-15, dez. 1997.

ANDRÉ, Marli. *O que é um estudo de caso qualitativo em educação?*. Revista FAEEBA-Educação e contemporaneidade, Salvador, v. 22, n. 40, p. 95-103, jul./dez. 2013.

AUGÉ, P. S. *Uma proposta didática diferenciada e a atitude dos alunos frente ao ensino de ciências*. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D. e HANESIAN, H. (1980). *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro, Interamericana. Tradução para português, de Eva Nick et al., da segunda edição de Educational psychology: a cognitive view.

AZEVEDO, Maria Cristina Paternostro Stella de Azevedo. *Situações de ensino-aprendizagem: análise de uma sequência didática de física a partir da Teoria das Situações de Brousseau*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo: s.n, 2008. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-09102008-141845/pt-br.php](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-09102008-141845/pt-br.php)>. Acesso em: 19 ago. 2014.

BARBOSA, E. F.; MOURA, D. G. Metodologias ativas de aprendizagem na Educação Profissional e Tecnológica. *B. Tec. Senac*, Rio de Janeiro, v. 39, n.2, p.48-67, maio/ago. 2013.

BAZZO, Walter Antônio. *Ciência, tecnologia e sociedade e o contexto da educação tecnológica*. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 2010.

BELLUCCO, Alex; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 31, p. 30-59, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2014v31n1p30>>. Acesso em: 07 out. 2015.

BENDIA FILHO, Amâncio Gabriel; RIBEIRO, Josiane da Silva. Novo currículo mínimo de Física do Estado do Rio de Janeiro: análise do posicionamento de professores. 2014. 93f. Monografia (Licenciatura em Física) – Coordenação de Ciências da Natureza, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Campus Campos Centro, 2014.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. Trad. Maria João Alvarez, Sara Bahia dos Santos e Telmo Mourinho Baptista. Porto: Porto Editora, 1994. 337 p. (Coleção ciências da educação). Tradução de: Qualitative Research for Education.

BRASIL. Ministério da Educação. *Programa Nacional do Livro Didático*. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2012. Disponível em: <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:JYFO2YTnIQ4J:www.fnde.gov.br/arquivos/category/125guias%3Fdownload%3D5507:pnlD-2012-fisica+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. *Secretaria de Educação Básica. PCN+ - Ensino Médio*, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2014.

\_\_\_\_\_. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. *PCN+: Ensino Médio-orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília: MEC, 2002. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em: dez. 2014.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio: ciências da natureza, matemática e*

suas tecnologias. Brasília, 1999. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2014.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. *Secretaria de Educação Básica. PCN+ - Ensino Médio*, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>.

Acesso em: 23 set. 2014.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação e Cultura. 700 experiências, compilação da UNESCO. Diretoria do Ensino Industrial, Brasília, 1964.

CASTRO, A. D. Prefácio. In: CARVALHO, A. M. P. (Org). *Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p. 3-21.

CANIATO, Rodolpho. *Com ciência na educação: ideário e prática de uma alternativa brasileira para o ensino da ciência*. [2.ed.] São Paulo: Papyrus, 1989.

CAVALCANTI, Anderson Brasil Silva. Energia nuclear no ensino médio: uma análise dos livros didáticos de Física dos programas PNLEM 2007 e PNLD 2012. 235f. *Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais*. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <[http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EnCiMat\\_CavalcanteABS\\_1.pdf](http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EnCiMat_CavalcanteABS_1.pdf)>. Acesso em: 02 maio 2015.

CHIQUETTO, Marcos José. O currículo de Física do Ensino Médio: discussão retrospectiva: *Revista e-curriculum*, v. 7, n. 1, abr., 2011. Disponível em: <<http://revistas.pucsp.br/index.php/curriculum/article/view/5646/3990>>. Acesso em 23 set. 2014.

CRUZ, Sônia Maria de Souza e ZYLBERSZTAJN, Arden, O enfoque ciência, tecnologia e sociedade e a aprendizagem centrada em eventos. Em: *Ensino de Física – conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora*, Maurício Pietrocola (Org.). Editora da UFSC, Florianópolis, p. 171 – 196, 2005.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. *Ensino de ciências: fundamentos e métodos*. São Paulo: Cortez, 2002.

DRUZIAN, Aline César; RADÉ, Tane; SANTOS, Renato P. dos. *Uma Proposta de Perfil Conceitual para os Conceitos de Luz e Visão*. In: VI ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação de Ciências, Florianópolis, SC, 28 de novembro a 2 de dezembro de 2007. Atas. Bauru, SP: ABRAPEC, 2007. Disponível em: <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/vienpec/CR2/p1073.pdf>>. Acesso em: 25 de nov. 2018.

DURÁN, José Henrique Rodas. *Biofísica: Fundamentos e Aplicações*. São Paulo, SP: Prentice Hall, 2003.

FAZENDA, Ivani (org.). *O que é interdisciplinaridade?*. São Paulo: Cortez, 2008.

FIGUEROA, D.; GUTIERREZ, G. Demonstraciones de Física: elemento motivador em la formación del docente. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 1992, v. 14, n. 4, p.253-256. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol14a41.pdf>>. Acesso em: 7 jun. 2014.

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. *Lições de Física de Feynman- volume I*. Porto Alegre: Bookman, 2008a.

\_\_\_\_\_. *Lições de Física de Feynman- volume II*. Porto Alegre: Bookman, 2008b.

FIRMIANO, Ednaldo P. Aprendizagem Cooperativa na sala de aula. *Programa de cooperação em células cooperativas- PRECE*. Campinas, 2011. Disponível em: <[https://www2.olimpiadadehistoria.com.br/vw/1I8b0SK4wNQ\\_MDA\\_b3dfd\\_/APOSTILA%20DE%20Aprendizagem%20Cooperativa%20-%20Autor-%20Ednaldo.pdf](https://www2.olimpiadadehistoria.com.br/vw/1I8b0SK4wNQ_MDA_b3dfd_/APOSTILA%20DE%20Aprendizagem%20Cooperativa%20-%20Autor-%20Ednaldo.pdf)>. Acesso em 3 mar. 2018.

FOUREZ, Gérard. Crise no ensino de Ciências?. *Investigações em Ensino de ciências*, v. 8, n. 2, ago. 2003. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo\\_ID99/v8\\_n2\\_a2003.dpf](http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID99/v8_n2_a2003.dpf)>. Acesso em: 8 jul. 2014.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa*. São Paulo, SP: Editora Paz e Terra S/A, 1996.

GARCÍA PÉREZ, Francisco F. Los modelos didácticos como instrumento de análisis y de intervención en la realidad educativa. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, v. V, n. 207, Universidad de Barcelona, fev. 2000. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol11/n3/v11\\_n3\\_a2.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol11/n3/v11_n3_a2.htm)>. Acesso em: 15 ago. 2014.

GASKELL, G. *Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático*. 2º ed. Trad. Pedrinho A. Guareschi. Petrópolis, RJ: Vozes, 2003. Título original: *Qualitative Researching with Text, Image and Sound: a Practical Handbook*.

GATTI JÚNIOR, Décio. *A escrita escolar da história: livro didático e ensino no Brasil*. Bauru, SP: Edusc; Uberlândia, MG: Edufu, 2004.

GAUTHIER, C. *Por uma teoria da Pedagogia: pesquisas contemporâneas sobre o saber docente*. Ijuí: Unijuí, 1998.

GIL PÉREZ, Daniel. Tres paradigmas basicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona/València: U. Barcelona/U. València, v. 1, p. 26-33, 1983. Disponível em: <<http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/50606/92617>>. Acesso em: 07 out. 2015.

GIRCOREANO, José Paulo; PACCA, Jesuína L. A. O ensino da óptica na perspectiva de compreender a luz e a visão. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 18, n. 1, Florianópolis, p. 26-40, abr. 2001. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6687>>. Acesso em: 03 jan. 2018.

GUERRA, A.; FREITAS, J.; REIS, J. C.; BRAGA, M. A. A interdisciplinaridade no ensino das ciências a partir de uma perspectiva histórico-filosófica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 15, n. 1, p. 32-46, abr. 1998.

GUIMARÃES, Gislene Margaret Avelar; ECHEVERRÍA, Agustina Rosa; MORAES, Itamar José. Modelos didáticos no discurso de professores de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 11, n. 3, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 303-322, dez. 2006. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol11/n3/v11\\_n3\\_a2.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol11/n3/v11_n3_a2.htm)>. Acesso em: 19 jul. 2014.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de física – Óptica e Física moderna*. 8ª ed.- Rio de Janeiro: LTC, 2009. v.4.

HARRES, João B. S. Uma revisão de pesquisas nas concepções de professores sobre a natureza da ciência e suas implicações para o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*. V4 (3). p. 197-211, 1999.

HENNIG, George j. *Metodologia do ensino de ciências*. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1994.

HOUAISS, Antônio. *Dicionário Houaiss da língua portuguesa*. Rio de Janeiro: Instituto Antônio Houaiss, 2001.

KUHN, Thomas s. A estrutura das revoluções científicas. São Paulo: Editora Perspectiva S.A, 5ª edição, 1998, p. 257.

LABURÚ, C.E.; ARRUDA, S.M.; NARDI, R. Pluralismo metodológico no ensino de Ciências. En R.Gadelha (Ed.), *Ciência & Educação. Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência* (247-260). Bauru: UNESP, 2003.

LEMOS, Evelyse dos Santos. A aprendizagem significativa: estratégias facilitadoras e avaliação. *Série-Estudos: Periódicos do Mestrado em Educação da UCDB*, v. 1, n. 21, Campo Grande, p. 25-35, jan/jun. 2006. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo\\_ID3/v1\\_n1\\_a2011.pdf](http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID3/v1_n1_a2011.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2012.

LIBÂNEO, José Carlos. *Democratização da escola pública – a pedagogia crítico social dos conteúdos*. 13º ed. São Paulo: Edições Loyola, 1995.

LORETO, Élgion Lúcio da Silva; SARTORI, Paulo Henrique dos Santos. Simulação da visão das cores: decodificando a transdução quântica-elétrica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 25, n. 2, Florianópolis: UFSC, p. 266-286, ago. 2008. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2008v25n2p266>>.

Acesso em: 13 maio 2015.

LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da; ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. *Curso de física volume 3*. Editora Scipione, 2010.

MARTINS, R. A. Sobre o Papel da História da Ciência no Ensino. *Boletim da Sociedade Brasileira da História da Ciência*, 9, 3-5, 1990.

MATTHEWS, Michael R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 12, n. 3, Florianópolis, p. 164-165, dez. 1995. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7084>>. Acesso em: 19 out. 2012.

MEDEIROS, A.; BEZERRA FILHO, S. A Natureza da Ciência e a Instrumentação para o Ensino da Física. *Ciência & Educação*, v. 2, n.4, 2000.

MOREIRA, Marco Antônio Moreira. *Aprendizagem significativa em mapas conceituais*. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24\\_n6\\_moreira\\_.pdf](http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24_n6_moreira_.pdf)>. Acesso em 07 out. 2017.

\_\_\_\_\_. *A teoria da Aprendizagem significativa*. Subsídios teóricos para o professor pesquisador em Ensino de Ciências. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2016.

\_\_\_\_\_. Unidades de ensino potencialmente significativas - UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review*, v. 1(2), p. 43-63, 2011. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo\\_ID10/v1\\_n2\\_a2011.pdf](http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf)>. Acesso em 07 out. 2015.

\_\_\_\_\_. Grandes desafios para o ensino da Física na educação contemporânea. *Revista do Professor de Física*. Brasília. vol.1, n.1. 2017.

\_\_\_\_\_. *Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: A Teoria da Aprendizagem Significativa*. Porto Alegre-RS, 2009a.

\_\_\_\_\_. *Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: Comportamentalismo, construtivismo e humanismo*. Porto Alegre-RS, 2009b.

\_\_\_\_\_. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, Marco Antônio Moreira; GRECA, Ileana Maria. Mudança conceitual: análise crítica e propostas à luz da teoria da aprendizagem significativa. *Ciência e Educação*, v. 9, n. 2, p. 301-315. 2003. Disponível em: <<http://www2.fc.unesp.br/cienciaeducacaooid=58&layout=abstract>>. Acesso em: 19 out. 2015.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos?. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 1, p. 20-39, 1996. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo\\_ID8/v1\\_n1\\_a2.pdf](http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID8/v1_n1_a2.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2014.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. H. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*. v.7, n. 3, p. 283-306, 2002.

MOURA, Anderson. da S. Matemática na escola: Prática interdisciplinar apoiada pela Teoria da Atividade. *Dissertação de mestrado. UFJF, Instituto de Ciências Exatas. Programa de Pós-graduação em Educação Matemática*, 2016. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/mestradoedumat/files/2011/05/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Final-Anderson3.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

MUELLER, Conrad G.; RUDOLPH, Mae. *Luz e Visão*. Rio de Janeiro, RJ: Livraria José Olympio Editora, 1966.

MUNAKATA, Kazumi. Livro didático: produção e leituras. In: ABREU, Márcia. *Leitura, História e História da Leitura*. São Paulo: Mercado de Letras, 1999.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. *Curso de Física básica – Ótica, Relatividade e Física Quântica*. São Paulo: Edgard Blucher, 1998. v.4.

OKUNO, Emico; CALDAS, Iberê Luiz; CHOW, Cecil. *Física para ciências biológicas e biomédicas*. São Paulo, SP: Harper & Row do Brasil, 1982.

OLIVEIRA, Marcos Barbosa de. Cognitivismo e Ciência cognitivista. *Trans/Form/Ação*, v. 13, p. 85-93, 1990. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/trans/v13/v13a06.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2017.

PEDUZZI, L. O. Q; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (orgs.) *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino*. Natal: EDUFRN, 2012. Disponível em: <http://ppgect.ufsc.br/files/2012/11/Temas-de-Historia-e-Filosofia-da-Ciencia-no-Ensino1.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2014 8h 11min.

PENTEADO, Rosa Maria R.; KOVALICZN, Rosilda Aparecida. *Importância de materiais de laboratório para ensinar Ciências*. Disponível em: <

<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/22-4.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

PEREZ, D. G.; GONZÁLEZ, E. M. Las practicas de laboratorio de fisica, en la formacion del profesorado. Un analisis critico. Revista de Enseñanza de la Física, Argentina: APFA, s.vol., p. 47-60, 1992.

PINTO, A. Marcianinha. As novas tecnologias e a educação. In: V Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul, 2004, Curitiba. *Anais do V Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul*. Curitiba: Editora da PUC, 2004. v. 1. p. 1-7.

POSNER, G.; STRIKE, K.; HEWSON, P.; GERTZOG, W. (1982). Accommodation of a scientificconception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, v. 66, p. 211-227.

POZO, J. I. *Teorias Cognitivas da Aprendizagem*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

POZO, Juan Ignacio; GÓMEZ CRESPO, Miguel Ángel. *A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

RAMALHO JÚNIOR, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo A. de Toledo. Os fundamentos da Física- Volume 2. 6.ed . São Paulo: Editora Moderna, 1993a. 480p.

\_\_\_\_\_. Os fundamentos da Física- Volume 3. 6.ed . São Paulo: Editora Moderna, 1993b. 480p.

REGO, Teresa Cristina. *Vygotsky: Uma perspectiva histórico-cultural da educação*. 12<sup>a</sup> ed., Editora Vozes: Petrópolis, 2001.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado de Educação. *Currículo Mínimo: Física*. Rio de Janeiro: Governo do Estado do Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.rj.gov.br/web/seeduc/exibeconteudo?article-id=759820>>. Acesso em: 16 jun. 2014.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado de Educação. *Reorientação curricular, Ciências da Natureza e Matemática*, 2006. Disponível em:

<[http://www.conexaoprofessor.rj.gov.br/downloads/LIVROII\\_ciencias\\_inicio.pdf](http://www.conexaoprofessor.rj.gov.br/downloads/LIVROII_ciencias_inicio.pdf)>.

Acesso em: 19 ago 2014.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado de Educação. SAERJ/ SAERJINHO/ IDERJ. Rio de Janeiro: Governo do Estado do Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.rj.gov.br/web/Seeduc/exibeconteudo?article-id=843535>>. Acesso em: 17 ago. 2015.

ROBILOTTA, M. R. O Cinza, o Branco e o Preto – da relevância da História da Ciência no Ensino de Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 5 (Número especial): p. 7-22, jun. 1998.

ROMANATTO, Mauro Carlos. *O Livro Didático: alcances e limites*. 2009 Disponível em:<[http://www.miltonborba.org/CD/Interdisciplinaridade/Anais\\_VII\\_EPEM/mesas\\_rendondas/mr19-Mauro.doc](http://www.miltonborba.org/CD/Interdisciplinaridade/Anais_VII_EPEM/mesas_rendondas/mr19-Mauro.doc)>. Acesso em ago. 2014.

SANT'ANNA, Blaidi; MARTINI, Glória; REIS, Hugo Carneiro; SPINELLI, Walter. *Conexões com a física*. Rio de Janeiro: Editora Moderna, 2010.

SANTOS JÚNIOR, João Batista; MARCONDES, Maria Eunice Ribeiro. Identificando os modelos didáticos de um grupo de professores de Química. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 12, n. 3, Belo Horizonte, p. 101-116, set./dez. 2010. Disponível em: <<http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/view/525/517>>. Acesso em: 20 ago. 2014.

SECKEL, Al. *Optical Illusions: The Science of Visual Perception*. Firefly Books, 2006.

SEKKEL, W.W.; MURAMATSU, M. Por que utilizar demonstrações nas aulas de física? *Revista Brasileira de Física*, v. 6, III SNEF, 1976. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/bjp/download/v06e/v06a54.pdf>>. Acesso em: 9 jun. 2014.

SILVA, Cláudio Xavier da; BARRETO FILHO, Benigno. *Física aula por aula*. São Paulo: Editora FTD, 2010.

SILVA, Fábio W. O. da. A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 29, n. 1, p. 149- 159. 2007.

SILVA, L. H. A.; ZANON, L. B. A experimentação no ensino de ciências. In: SCHNETZLER, R.P.; ARAGÃO, R. M. R. *Ensino de Ciências: fundamentos e abordagens*. Piracicaba: CAPES/UNIMEP, p.120-153, 2000.

SILVEIRA, Fernando Lang da. A filosofia da ciência de Karl Popper: o racionalismo crítico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 13, n. 3, Santa Catarina, p. 197-218, dez. 1996. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7046/6522>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

TARDIF, Maurice. *Saberes docentes e formação profissional*. Petrópolis, RJ: Vozes, 2014.

TRIVIÑOS, A. N. S. Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

VERCEZE; SILVINO. O livro didático e suas implicações na prática do professor nas escolas públicas de Guajará- Mirim. *Práxis Educacional*, v. 4, n. 4, 2008. Disponível em: <<http://periodicos.uesb.br/index.php/praxis/article/viewFile/328/361> >. Acesso em: dez. 2014.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. São Paulo Martins Fontes, 1984.

YARED, Ivone. O que é interdisciplinaridade? In: Ivani Fazenda (Org.). *O Que é interdisciplinaridade?* São Paulo: Cortez, 2008. p. 161-166.

ZABALA, A. *A prática educativa-como ensinar*. Trad. Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: Artmed, 1998. Tradução de: *La práctica educativa: cómo enseñar*.

# APÊNDICES

## APÊNDICE A: Roteiro da entrevista

1. De modo geral o que você acha do material didático apresentado?
2. Você considera que o material está adequado a proposta curricular do Estado do RJ?
3. Sobre a linguagem usada no material didático, está adequada para a compreensão dos alunos sobre o tema?
4. Com relação aos aspectos motivacionais, o material estimula a atitude dos alunos frente ao Ensino de Física?
5. Que contribuição você sugeriria, do ponto de vista do professor, para este material?
6. Do ponto de vista da aprendizagem significativa, o material instiga o aluno a explicitar seu conhecimento prévio sobre o tema abordado?
7. Você poderia fazer um comentário final sobre o material didático em questão?

APÊNDICE B: MATERIAL DIDÁTICO LUZ E VISÃO

MATERIAL DIDÁTICO AUXILIAR PARA O ENSINO DE FÍSICA

LUZ E VISÃO:

ENTENDENDO O OLHO HUMANO COMO RECEPTOR DE ONDAS  
ELETROMAGNÉTICAS

PRISCILA DOS SANTOS CAETANO DE FREITAS

PIERRE SCHWARTZ AUGÉ

## Apresentação

Luz e Visão foi desenvolvido para o ensino introdutório de olho humano como receptor de ondas eletromagnéticas para o professor do terceiro ano de Física da rede estadual de ensino de acordo com o novo Currículo Mínimo do Estado do Rio de Janeiro de 2012.

Ao preparar este material buscaram-se os conceitos contemporâneos da Física com relação ao tema, relacionando-os com conceitos da Química e Biologia para tornar o conhecimento mais integrado e utilizou elementos da História e Filosofia da Ciência para tornar o aprendizado mais dinâmico e contextualizado.

Visto a importância da demonstração na sala de aula juntamente com a História e Filosofia da Ciência, essa proposta contém esses elementos ao longo dos textos com a finalidade de colaborar para a compreensão da evolução científica e para o aluno perceber que a Ciência é mutável e é sujeita a refutação de teorias.

De maneira a auxiliar o professor em relação ao conteúdo, disponibiliza-se, através dos *links* abaixo, as apresentações de slides utilizadas ao longo das aulas, não sendo obrigatórias, contudo, são sugestões a fim de facilitar o planejamento do docente.

### *Links:*

Apresentação sobre Luz e Visão parte I:

[http://prezi.com/vfpwbugxfsly/?utm\\_campaign=share&utm\\_medium=copy](http://prezi.com/vfpwbugxfsly/?utm_campaign=share&utm_medium=copy)

\*Apresentação sobre Luz e Visão parte II:

[http://prezi.com/zau6w4ldsoew/?utm\\_campaign=share&utm\\_medium=copy](http://prezi.com/zau6w4ldsoew/?utm_campaign=share&utm_medium=copy)

\*Slides sobre Daltonismo:

<https://www.slideshare.net/priscilacaetanojs/daltonismo-120478669>

Este material possui alguns apêndices que foram desenvolvidos com o objetivo de auxiliar o docente no manuseio do material didático em questão e em sua aplicação em sala de aula.

Para uma familiarização com o produto educacional, faz-se necessário apresentá-lo quanto à sua estrutura. Integrados a ele, encontram-se:

- Tutoriais de aplicativos online
- Textos históricos
- Questões ao longo dos textos

- Questionários
- Experimentos
- Atividades Avaliativas online
- Proposta de seminário
- Conteúdo interdisciplinar e contextualizado.
- Lista de exercícios

Este conjunto de atividades educacionais têm o intuito de tornar a sala de aula mais atrativa e o ensino mais dinâmico, com uma abordagem de conceitos diferenciada e implementando novas tecnologias que favorecem a aprendizagem.

Antes, porém, gostaria de agradecer ao meu orientador do TCC e do mestrado Dr. Pierre Schwartz Augé, do IFF Campos Campus Centro, que me incentivou e colaborou profundamente em minha formação profissional, orientando-me com muita sabedoria e dedicação, desempenhando um papel fundamental na elaboração de minha dissertação do mestrado.

Espero que o produto educacional possa ser amplamente utilizado nas escolas, principalmente na rede pública estadual de ensino, já que a seleção do tema a ser abordado no material foi inspirado no currículo mínimo do RJ a fim de auxiliar os professores de física no ensino de Ondas eletromagnéticas partindo do olho humano como receptor delas.

Com essa proposta, busca-se um ensino contextualizado, com tópicos de física Moderna, podendo tornar o ensino mais agradável e participativo.

## SUMÁRIO

PRIMEIRO MOMENTO INVESTIGATIVO .....	166
Questionário para coleta das concepções prévias.....	166
SEGUNDO MOMENTO INVESTIGATIVO .....	167
Texto histórico.....	167
Tarefa para casa: Atividade Experimental I.....	169
TERCEIRO MOMENTO INVESTIGATIVO .....	171
<b>Introdução ao eletromagnetismo.....</b>	<b>171</b>
<b>Atividade experimental II.....</b>	<b>172</b>
QUARTO MOMENTO INVESTIGATIVO.....	175
<b>Simulação:a natureza dual da luz.....</b>	<b>175</b>
QUINTO MOMENTO INVESTIGATIVO .....	179
Texto teórico/Maquete do olho .....	179
<b>Estrutura do olho humano.....</b>	<b>179</b>
Tarefa para casa: Seminário sobre maquete do olho humano .....	180
SEXTO MOMENTO INVESTIGATIVO.....	181
Texto teórico/Atividade experimental.....	181
<b>Fenômeno da refração.....</b>	<b>181</b>
SÉTIMO MOMENTO INVESTIGATIVO.....	183
Texto teórico.....	183
<b>Lei de Snell-Descartes/Formação da imagem no olho e visão .....</b>	<b>183</b>
OITAVO MOMENTO INVESTIGATIVO .....	188
Aplicação do conhecimento .....	188
<b>Daltonismo.....</b>	<b>188</b>
<b>Mecanismo da visão em outros animais .....</b>	<b>193</b>
<b>Ilusão de Óptica .....</b>	<b>194</b>
NONO MOMENTO INVESTIGATIVO .....	196

Questões .....	196
Caderno de Respostas .....	199
DÉCIMO MOMENTO INVESTIGATIVO .....	204
Seminário.....	204
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	206
<b>Apêndice I</b> .....	207
<b>Apêndice II</b> .....	216

**PRIMEIRO MOMENTO INVESTIGATIVO**

## Questionário para coleta das concepções prévias

1- Na sua opinião, o que é luz?

---

---

---

2- Como ocorre o mecanismo da visão humana?

---

---

---

3- É possível enxergar no escuro? Justifique a sua resposta.

---

---

---

4- Os cientistas realizam investigações científicas tentando buscar respostas para solucionar problemas encontrados na natureza que estão em desacordo com a teoria vigente. À respeito da natureza da luz, comente sobre possíveis divergências entre teorias, citando, se possível, exemplos que as ilustrem.

---

---

---

5- Explique a frase: o olho humano é sensível à luz. Tente tecer comentários se existem outros tipos de luz.

---

---

---

## SEGUNDO MOMENTO INVESTIGATIVO

### Texto histórico

#### Natureza da luz

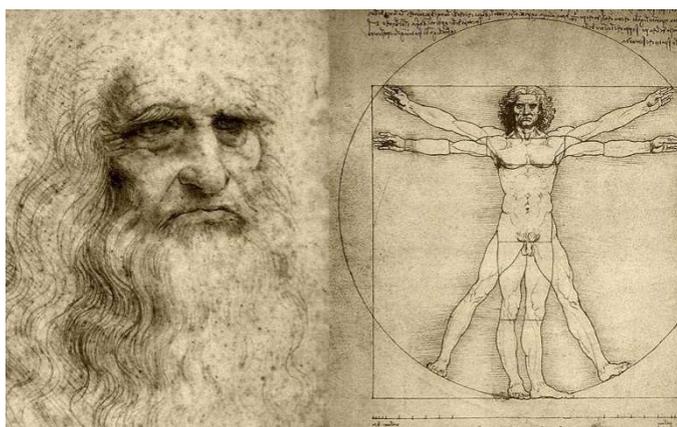
Uma das grandes curiosidades da humanidade desde os primórdios foi em relação à natureza da luz<sup>1</sup> e, dessa forma, compreender como ocorre o mecanismo da visão.

Aristóteles foi um esplêndido filósofo que se dedicava à observação da natureza, buscando compreender os fenômenos do cotidiano.

No séc. IV a.C., Aristóteles e Platão difundiram a ideia de que os nossos olhos emitiam pequenas partículas que se alinhavam em linha reta com velocidades altas e que ao atingirem os objetos, poderíamos enxergá-los.

**ENTÃO, CONSEGUIRÍAMOS ENXERGAR NO ESCURO?**

No séc. XVI, Leonardo da Vinci foi um dos primeiros estudiosos a contrariar essa ideia. Ele comparou o fenômeno da reflexão com o fenômeno ondulatório do eco, dessa forma, concluiu que a luz seria uma onda e não um conjunto de partículas.



Leonardo da Vinci, grande pintor, cientista e inventor. FONTE: [socientifica.com.br](http://socientifica.com.br)

---

<sup>1</sup> Em 2013, as Nações Unidas proclamaram o ano de 2015 como o ano internacional da luz, homenageando o cientista árabe Ibn al-Haytham. Mais informações em <<http://www.unesco.org/new/pt/brasil/ia/about-this-office/prizes-and-celebrations/2015-international-year-of-light/>> e <<http://www.light2015.org/Home/About.html>>.

Posteriormente, no séc. XVII, as duas ideias ganharam importantes defensores.

Isaac Newton adotou a da Grécia antiga, formulando a teoria corpuscular da luz. E Huygens, defendia Da Vinci, caracterizando a luz como um tipo de onda.

Entretanto, até então, não se compreendia a luz como uma onda eletromagnética.

Ondas são perturbações que podem se propagar em um meio. São classificadas em mecânicas e eletromagnéticas.

As ondas mecânicas necessitam de um meio material para se propagar, como por exemplo, as ondas produzidas em uma corda.

As ondas eletromagnéticas diferem-se das mecânicas, pois se propagam tanto no vácuo quanto em meios materiais. Podemos exemplificar com a luz.

Alguns conceitos da óptica geométrica são fundamentais para compreender a óptica ondulatória. Dessa forma, abordar-se-á o conceito de raio luminoso.

Raio luminoso é um conceito geométrico que consiste em uma representação, através de linhas retas num meio homogêneo, do caminho percorrido pela luz. O sentido da propagação do raio de luz é indicado por uma seta

As principais características das ondas eletromagnéticas são a amplitude ( $A$ ), a velocidade de propagação ( $v$ ), a frequência ( $f$ ) e o comprimento de onda ( $\lambda$ ).

O tempo de duração de uma oscilação completa é chamado de período ( $T$ ), medido pelo sistema internacional de medidas (SI) em segundos (s).

A frequência corresponde ao número de repetições dessas oscilações em 1 segundo, é medido em Hertz (Hz) ou  $s^{-1}$ . Pode ser calculada pelo inverso do período.

$$f = \frac{1}{T} .$$

Ainda que a onda mude de meio, a intensidade da frequência não muda, ela se mantém constante e igual à frequência gerada no início da onda.

A amplitude oscila no espaço juntamente com os campos elétrico ( $\vec{E}$ ) e magnético ( $\vec{B}$ ) e com o passar do tempo.

O comprimento de onda ( $\lambda$ ) pode ser identificado através da distância entre dois vales ou duas cristas consecutivas ou a de um vale até uma crista (formando o que chamamos de senóide). A unidade de medida de  $\lambda$  é o metro (m).

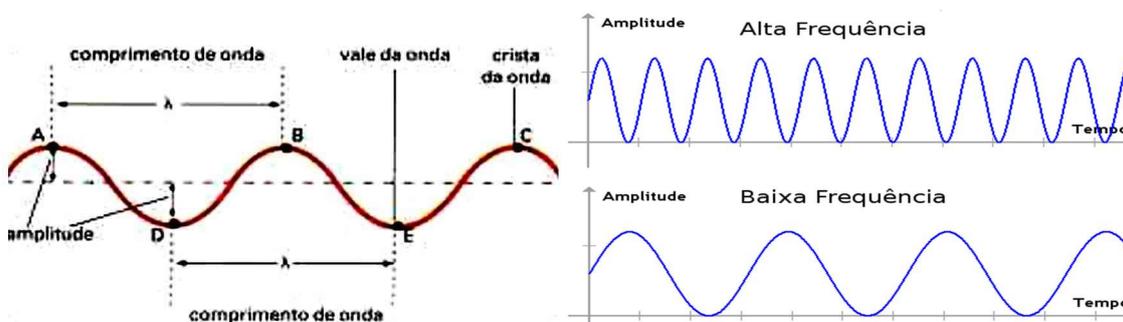
Podemos então encontrar a velocidade de propagação da onda relacionando o comprimento de onda com o período ou a frequência. Basta associarmos a fórmula de velocidade média ( $v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$ ) com a velocidade da onda:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{ou} \quad v = \lambda \cdot f.$$

Onde,

- velocidade de propagação da onda ( $v$ ): m/s.
- comprimento de onda ( $\lambda$ ): m.
- período ( $T$ ): s.
- frequência ( $f$ ): Hz ou  $s^{-1}$ .

Característica de ondas.



Fonte: <http://fisicanacabeca.blogspot.com>

Fonte: <https://anasaes1.wordpress.com/>

As ondas eletromagnéticas no vácuo têm todas as velocidades iguais a da luz no vácuo, ou seja, iguais a  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.

### **VAMOS CALCULAR A VELOCIDADE DA LUZ?**

Em grupo, siga as instruções do roteiro a seguir e grave um vídeo sobre o experimento. Logo em seguida, na postagem do vídeo no blog da turma, responda em forma de texto as perguntas sobre a atividade.

### **Tarefa para casa: Atividade Experimental I**

#### **Medindo a velocidade da luz**

#### **OBJETIVO**

Medir a velocidade da luz com um forno de micro-ondas.

## MATERIAL

- Forno de micro-ondas.
- Recipiente plano de vidro.
- Material comestível pastoso: pode ser chocolate, manteiga, mussarela, cobertura de sorvete (camada de aproximadamente 2 cm de espessura e 18 cm de comprimento), etc. Escolha o mais adequado.
- Régua graduada em cm.

## PROCEDIMENTOS

- a) Coloque o material comestível no recipiente plano de vidro e aqueça-o no micro-ondas por 15 s até que observe pontos em que ele derreteu.

OBS.: Talvez seja necessário refazer esse procedimento.

- b) Meça a distância do ponto médio dessas regiões mais “moles” consecutivas.

O valor obtido foi: \_\_\_\_\_ m.

- c) Multiplique esse valor por 2.

O valor obtido foi: \_\_\_\_\_

- d) Verifique a frequência do micro-ondas.

$f =$  \_\_\_\_\_

- e) Com os valores obtidos, calcule  $c$  (velocidade da luz no vácuo):

$c =$  \_\_\_\_\_

- f) Calcule o erro percentual da medida realizada:

Erro percentual: \_\_\_\_\_

- g) Calcule o comprimento de onda das micro-ondas:

\_\_\_\_\_

- h) Por que multiplicamos a distância entre dois pontos consecutivos por dois?

---

---

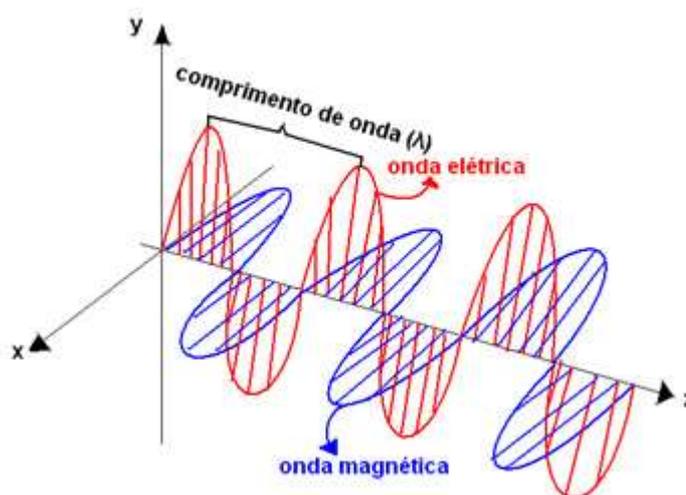
---

## TERCEIRO MOMENTO INVESTIGATIVO

Texto histórico/Experimento

### Introdução ao eletromagnetismo

A teoria do Eletromagnetismo foi proposta por James Maxwell ao tentar explicar a relação existente entre magnetismo e eletricidade, unificando-as, com base no conceito de campo eletromagnético. Veja na figura abaixo, uma onda eletromagnética:



Fonte: [brasilecola.com](http://brasilecola.com)

Acerca do campo elétrico, no qual ele pode ser produzido por um campo magnético variável, foi proposto por Michel Faraday por meio de experimentos, já o contrário, pelos esforços teóricos de James Clerk Maxwell.

Depois que Oersted demonstrou, em 1820, que a corrente elétrica afetava a agulha magnética, Faraday deduziu que o campo magnético também era capaz de produzir campo elétrico. Através de seu experimento com uma toróide, dois fios, uma bateria e um galvanômetro, ele percebeu uma deflexão no galvanômetro. Segundo Hayt:

Em termos de campo, dizemos agora que o campo magnético variável produz uma força eletromotriz que pode estabelecer uma corrente em um circuito fechado adequado. Uma força eletromotriz é tão somente uma tensão que aparece nos

condutores que se movem em um campo magnético ou que vem de campos magnéticos variáveis (HAYT, 1983, p. 265).

Exemplo de uma toróide



Fonte: mgsel.com.

Somente após 23 anos que Maxwell comprovou teoricamente o eletromagnetismo (1865) é que Henrich Rudolph Hertz (físico alemão), experimentalmente, pôde demonstrar essa teoria através de um transmissor de ondas.

No início do séc. XIX, Young através de seu experimento, verificou o fenômeno de interferência, característico de ondas eletromagnéticas, fazendo com que as ideias de Newton à respeito da luz fossem abandonadas.

**<sup>2</sup>SUGESTÃO: O PROFESSOR PODE REPRODUZIR O EXPERIMENTO DE FARADAY E O DE OERSTED.**

**VAMOS “REPRODUZIR” O EXPERIMENTO???**

## **Atividade experimental II**

### **Redes de difração e interferência luminosa**

#### **OBJETIVOS**

- Observar o comportamento da luz como onda eletromagnética.
- Compreender o fenômeno da difração da luz quando esta incide sobre um fio de cabelo.
- Analisar o padrão de interferência da luz difratada que passa por um fio de cabelo.

#### **INTRODUÇÃO**

---

<sup>2</sup> Esses experimentos podem ser encontrados em: <[https://www.youtube.com/watch?v=QjKy\\_myFHx4](https://www.youtube.com/watch?v=QjKy_myFHx4)> e <[https://www.youtube.com/watch?v=\\_y9sP9khil4](https://www.youtube.com/watch?v=_y9sP9khil4)>.

As ondas podem sofrer o efeito de diversos fenômenos, dentre eles estão a difração e a interferência. A difração corresponde à possibilidade de uma onda contornar o obstáculo que se interpôs à sua frente, e ocorre para qualquer tipo de onda mecânica ou eletromagnética.

A difração ocorre também quando a luz atravessa fendas estreitas, da ordem do comprimento de onda da luz incidente, projetando-se sobre um anteparo, regiões brilhantes ou escuras. Iluminando com um feixe de luz raios paralelos e monocromáticos (de uma só cor) um pedaço de papelão, por exemplo, no qual há uma fenda. Se a fenda é larga será projetada na tela uma tira luminosa de contornos bem definidos. Ao estreitar a fenda, a tira luminosa irá se alargar ao invés de diminuir. A luz invade a região de sombra. Quanto mais estreita for a fenda, mais acentuado será o efeito da difração.

O fenômeno da difração foi observado pelo físico e matemático Francesco Maria Grimaldi (1618 -1663), no século XVII, mas só foi explicada por Fresnel em 1817, através da sua teoria matemática para a difração da luz baseada na hipótese ondulatória de Huygens, quando ganhou o prêmio oferecido pela Academia de Ciências de Paris.

Denominamos interferência ao efeito da superposição de duas ou mais ondas. A interferência é dita construtiva quando a superposição ocorre com dois pulsos de mesma frequência e em concordância de fase. Já, ela é dita destrutiva quando a superposição ocorre com dois pulsos de mesma frequência e oposição de fase.

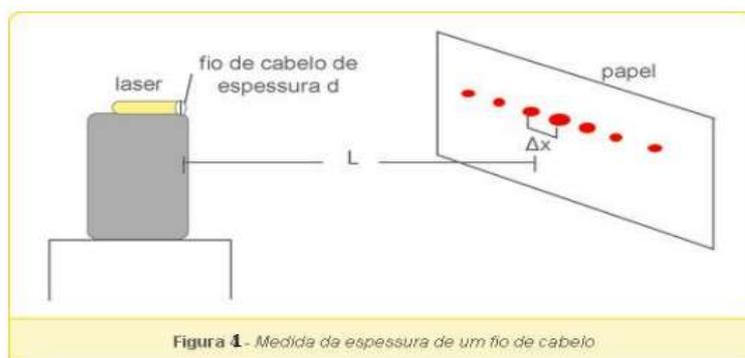
Neste experimento será utilizado um apontador laser (laser point), por isso apresentamos algumas características desta fonte de luz. O significado da sigla “laser” em inglês é “light amplification by stimulated emission of radiation” e em português é traduzida como “amplificação de luz pela emissão estimulada de radiação”. Foi inventado em 1960 e o feixe laser apresenta as seguintes características:

- Monocromático - todas as ondas de luz têm a mesma frequência;
- Coerente - todas as ondas de luz estão em fase;
- Colimada - todas as ondas de luz são paralelas.

O comprimento de onda do laser vermelho é aproximadamente:  $\lambda = 650$  nanômetros ( $650 \times 10^{-9}\text{m}$ ).

O laser é utilizado na medicina, odontologia, indústria, entre outros.

A difração da luz quando é decorrente da incidência da luz monocromática em um obstáculo, por exemplo, um fio de cabelo, vai apresentar regiões claras e escuras como mostra a figura 1, onde  $\Delta x$  é a distância entre os dois máximos da luz difratada no anteparo.



Fonte: [http://177.71.183.29/acessa\\_fisica/subsites/256/src/imagens/figura2\\_2.jpg](http://177.71.183.29/acessa_fisica/subsites/256/src/imagens/figura2_2.jpg)

Sobre o experimento:

- 1- Foi possível observar regiões claras e escuras. O que essas “faixas” representam?

Explique a sua resposta.

---



---



---



---

- 2- A interferência é uma característica de ondas eletromagnéticas. Este experimento permite observar esse fenômeno na luz? Como isso é possível?

---



---



---



---

- 3- Dê algum exemplo de interferência de ondas eletromagnéticas e suas implicações.

---



---



---

## QUARTO MOMENTO INVESTIGATIVO

### Texto/Simulação

Somente em 1900 e 1905, respectivamente, Max Planck e Albert Einstein deram início a teoria de quantização da luz.

Einstein ao explicar o efeito fotoelétrico (verificado por Hertz, primeiramente) só o pôde fazer ao perceber a luz como sendo composta de pequenos pacotes de luz, os quanta, ou fótons (feixes de luz).

Quantizando a luz, seja esta emitida ou incidida, pode-se explicar diversos fenômenos que ocorrem com a mesma, dando a característica dual onda-partícula.

### **Simulação: a natureza dual da luz**

- Simulação 1: luz como onda:  
[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/quantum-wave-interference](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/quantum-wave-interference)
  
- Simulação 2: luz como partícula:  
[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/photoelectric](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/photoelectric)

1- Após observar as simulações apresentadas e interpretá-las, responda:

a) Através dos experimentos, foi possível comprovar qual teoria? Justifique a sua resposta com exemplos.

---

---

---

b) De acordo com a resposta anterior, qual seria o papel da experimentação na produção do conhecimento científico?

---

---

---

---

- c) Que características da luz como partícula são observadas na simulação 2? E da luz como onda (simulação 1)?

---

---

---

---

**Tarefa para casa: Vídeo e questionário interativo**

Agora que aprendemos um pouco mais sobre o comportamento dual da luz, assista ao vídeo disponível no aplicativo online *edpuzzle* <<https://edpuzzle.com/assignments/5a77b777703f8c4100eccfdb/watch>> e responda ao questionário proposto sobre a natureza da luz<sup>3</sup>.

**Acesse também pelo QR – code:**



Obs.: Ao entrar no *site*, o aluno fará o cadastro e confirmará sua entrada na turma, tendo acesso ao conteúdo do vídeo e do questionário.

---

<sup>3</sup> Professor, você encontrará um tutorial e o gabarito das questões no apêndice I deste material didático. Este questionário está disponível em: <<https://edpuzzle.com/media/5bb0df1fd108d5406217394c>>

Questionário *Edpuzzle*

- 1- Pesquise na internet e em livros sobre os problemas enfrentados pela física no final do séc. XIX ao usar a teoria clássica da luz para explicá-los e as suas implicações na Ciência.
- 2- O efeito fotoelétrico consistia em um fenômeno que ocorria quando algumas superfícies metálicas eram iluminadas e elétrons eram arrancados, produzindo uma corrente elétrica.
  - a) Verdadeiro
  - b) Falso
- 3- Cite os dois exemplos citados no vídeo em que as previsões da teoria clássica sobre o efeito fotoelétrico não eram observadas.
- 4- Segundo Einstein, para aumentarmos a energia do fóton, era necessário aumentar
  - a) a intensidade
  - b) a amplitude
  - c) a frequência
  - d) o tempo
- 5- Você poderia citar aplicações em nosso cotidiano do efeito fotoelétrico? Justifique a sua resposta.
- 6- O que seria o fóton?
- 7- Quais são as características em comum desse modelo particular da luz com o modelo corpuscular de Newton? Em que elas se diferem?
- 8- A ciência é mutável? Justifique a sua resposta, dando exemplos da Física.

- 9- Qual é a função do experimento na produção do conhecimento científico? Justifique sua resposta com o experimento de Compton.
- 10- No início do séc. XX, houve uma ruptura com o paradigma da física clássica, havendo necessidade de uma nova física. Dessa forma, toda a teoria clássica foi descartada.
- a) Falso
  - b) Verdadeiro
- 11- Explique o fenômeno ondulatório de interferência.
- 12- Durante o séc. XIX imperava a doutrina mecanicista. Que fator foi primordial para o surgimento de uma nova física no séc. XX?
- a) Nada. Pois a física estava finalizada.
  - b) O reaproveitamento da teoria clássica, pois ela era inquestionável.
  - c) A física clássica previa com grande êxito os fenômenos naturais, dessa forma, houve acúmulo do conhecimento de forma gradativa (ciência normal).
  - d) Necessidade de explicar fenômenos que eram contrários à física clássica ou insatisfeitos.

## QUINTO MOMENTO INVESTIGATIVO

### Texto teórico/Maquete do olho

#### Estrutura do olho humano

A luz do ambiente é refletida nos objetos e é através desses raios refletidos que conseguimos enxergar.

Mas o mecanismo da visão se dá dessa forma tão simples? Como você acha que ocorre o processo da visão?

---

---

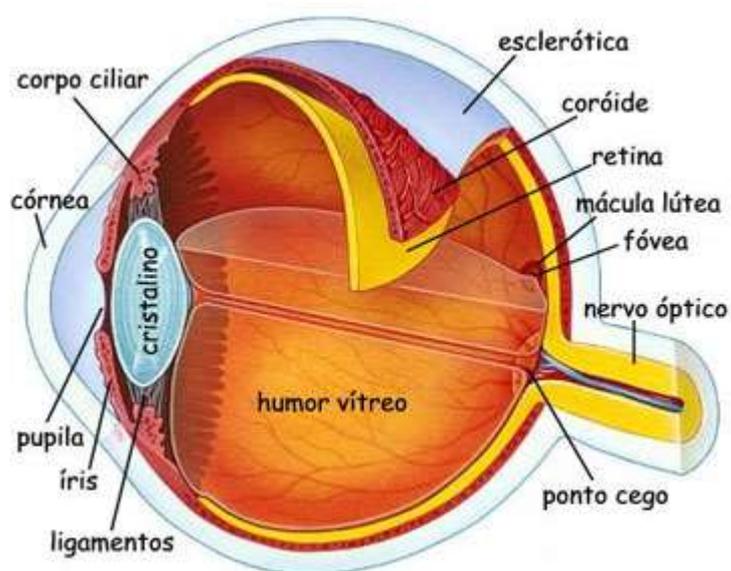
Em sua opinião, quem é o protagonista desse processo?

---

---

Na verdade, meu caro aluno, esse mecanismo tão importante a nós seres vivos se dá de uma maneira muito complexa.

Vamos adentrar no interior do olho humano através da nossa imaginação e dos recursos tecnológicos que nos são dispostos.



Fonte: explicatorium.com

### Tarefa para casa: Seminário sobre maquete do olho humano

Uma maneira de compreendermos o mecanismo da visão de uma forma lúdica (concreta) é a confecção de uma maquete do olho humano. Assim, é possível perceber a importância de cada estrutura do olho e explorar em sala de aula esse material com o intuito de facilitar a aprendizagem dos conceitos, de forma interdisciplinar.

A turma será dividida em 4 grupos. Dois deles montarão uma câmara escura e explicarão o processo de formação da imagem na retina. Os outros grupos usarão a maquete para explicar a interação da luz com as estruturas do olho, porque enxergamos apenas uma faixa do espectro eletromagnético, a importância da vitamina A no mecanismo da visão.

Os trabalhos serão avaliados de acordo com a concordância com o tema proposto, a criatividade e a execução dos objetivos (compreender a formação da imagem na retina, entender as funções das estruturas do olho nesse processo e descrever o mecanismo da visão).

Os grupos apresentarão as maquetes à turma no último momento de aula.

Se pudéssemos penetrar ainda mais as camadas, veríamos a existência de células muito importantes para a visão: são chamadas de células fotorreceptoras. Iremos compreender como ocorre a interação das partículas de luz (os quanta, está lembrado?) com os bastonetes e cones, situados no interior da retina.

A luz é focalizada através do fenômeno físico chamado de refração, em que ocorre mudança de direção do feixe luminoso da superfície da córnea centralizando na retina, sendo a íris responsável pela quantidade de luz que penetra no olho.

No olho, também ocorre o fenômeno de difração, que corresponde a um efeito de espalhamento ou contorno que ocorre quando ondas passam por um orifício cuja dimensão não é muito maior do que o comprimento de onda. Entretanto, em nossa pupila, esse fenômeno é imperceptível, exceto em situações como a de não conseguirmos diferenciar os dois faróis de um carro que está a alguns quilômetros de distância.

## SEXTO MOMENTO INVESTIGATIVO

Texto teórico/Atividade experimental

### Fenômeno da refração

A luz pode atravessar alguns meios transparentes, como a água, o vidro, diamantes entre outros. Ao atravessá-los muda a sua velocidade podendo também mudar de direção.

Esse fenômeno de mudança de velocidade quando a luz atravessa um meio com densidades diferentes é chamado de refração e ao atravessar diz-se que a luz foi refratada.

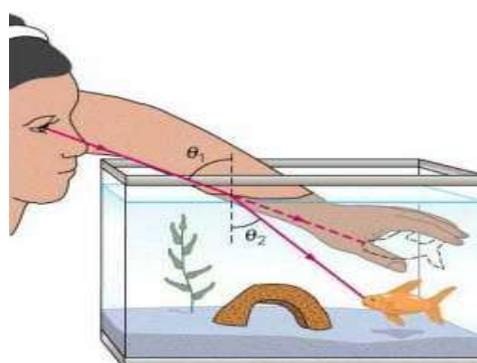
No ar a velocidade da luz é de 300.000 km/s, na água sua velocidade é reduzida em 25% enquanto no vidro sua velocidade é reduzida em 30%.

Para que haja a refração com mudança de direção, a luz deve ser incidida sobre o novo meio sob certo ângulo e não diretamente. O valor desse ângulo determina a quantidade de luz desviada.

A refração da luz produz alguns fenômenos como as miragens, o arco-íris e alguns efeitos ópticos estranhos. Graças a esse fenômeno um copo grosso de vidro parece mais cheio do que realmente está, o Sol aparentará pôr-se vários minutos após o ocorrido, os peixes dentro d'água nunca estão na posição que o vemos (vide na figura abaixo), bem como os astros no céu e também permite corrigir alguns defeitos do olho humano com lentes.



Fonte: saladefisica.com



Fonte: Conexões com a Física.

Na primeira figura, o canudo parece estar quebrado, já o peixe parece estar numa posição mais acima do que realmente está. Isso ocorre devido ao fenômeno da refração.

### Atividade experimental III: Fazendo um objeto desaparecer

Imagine um objeto feito inteiramente de vidro imerso em glicerina contida num recipiente também de vidro. Como o objeto é visto por um observador situado no ar?

**MATERIAL:**

- um copo de vidro cilíndrico;
- glicerina.
- placa de vidro;

**MONTAGEM**

Encha o copo com glicerina e insira a placa de vidro no copo. Observe o que ocorre com a parte submersa.

**QUESTÃO**

O que ocorreu com a parte submersa? Como podemos explicar esse fato?

---

---

---

---

R.: Os índices de refração da glicerina e do vidro são praticamente os mesmos. A luz ao passar da glicerina para o vidro não sofre mudança de velocidade. Isso significa que não será possível identificar o material no interior da glicerina. Ele parecerá invisível. Entretanto, o formato circular do copo, colabora para esse efeito óptico.

**Sugestão de site**

No endereço: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/bending-light](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/bending-light) é possível simular efeitos ópticos da refração, reflexão e a lei de Snell-Descartes.

## SÉTIMO MOMENTO INVESTIGATIVO

### Texto teórico

#### Lei de Snell-Descartes/Formação da imagem no olho e visão

Snell era um matemático holandês que verificou, no caso de dois meios diferentes (por exemplo: ar e água), que a razão entre os senos do meio 1 pelo meio 2 era correspondente a razão das velocidades do meio 1 pela do meio 2 e que esse valor era constante para esses meios.

$$\frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} .$$

No caso em que o meio 1 é o vácuo com qualquer meio 2, temos velocidade 1 ( $v_1$ ) correspondente à velocidade da luz no vácuo ( $c$ ). Então, teremos  $\frac{c}{v}$  que resulta no que chamamos de índice de refração ( $\eta$ ).

$$\eta = \frac{c}{v} .$$

Através de experimentos e do uso dessa equação, podem-se conhecer os valores dessas constantes para meios diferentes. Veja na tabela abaixo os valores de alguns índices de refração.

Índices de refração de alguns meios:

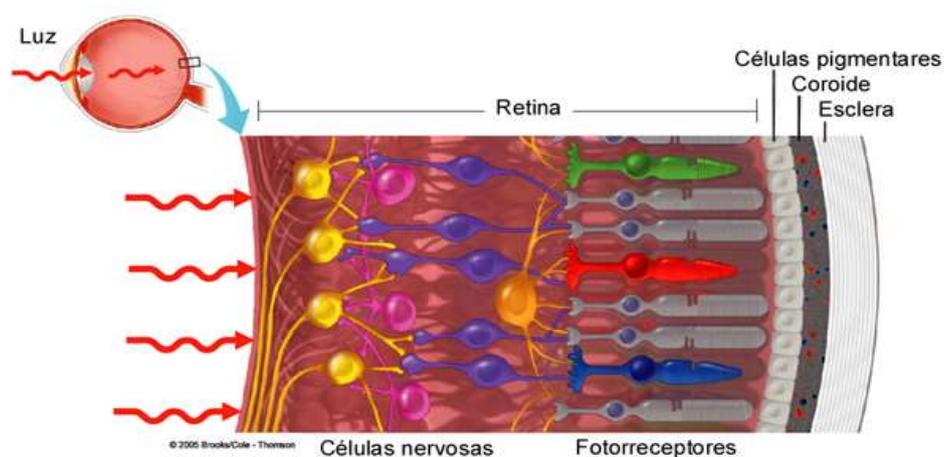
Substância	$\eta$
Vácuo	1,0000
Ar	1,0003
Humor aquoso	1,33
Humo vítreo	1,34
Córnea	1,38
Cristalino	1,40

A retina está localizada na parte interna do olho e tem aproximadamente 0,5 mm de espessura. Nela, estão presentes muitos nervos, e é onde ocorre a transformação da

informação luminosa em impulsos elétricos que serão enviados para o cérebro, mais precisamente no córtex visual, que fará a interpretação das formas, cores, percepção de movimentos e sobreposição de imagens captadas pelos dois olhos.

Essa etapa da formação da imagem na retina ocorre analogamente ao funcionamento de uma câmera fotográfica: após a refração da luz na lente, a imagem é formada no filme invertida. Contudo, na visão, o cérebro é o responsável por interpretar a imagem.

Na figura abaixo, está representada a retina com seus componentes principais: os cones e os bastonetes.



Fonte: naukas.com

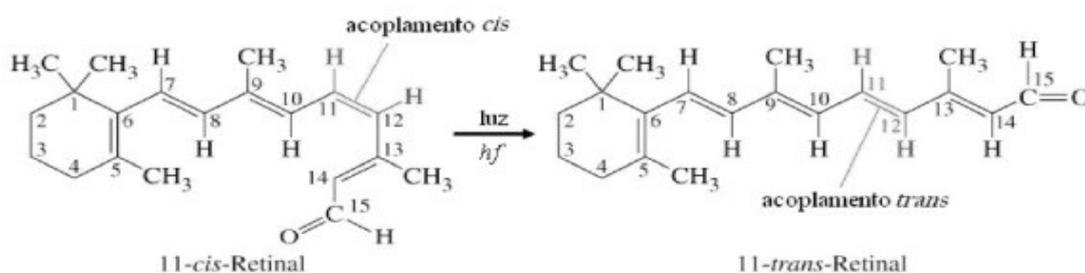
Estima-se que o homem tenha 6,5 milhões de cones em cada olho, essas células são sensíveis a luz correspondente às cores primárias (azul, verde e vermelho) e, portanto, responsável por uma visão mais detalhada durante o dia. As demais cores são obtidas através da combinação da resposta dos diversos cones.

Já os bastonetes estão estimados em 120 milhões por olho, são pouco sensíveis às cores, mas funcionam bem com luzes de baixa intensidade, por isso, são responsáveis pela visão acromática (preto e branco).

Cada bastonete é formado por milhões de moléculas de rodopsina (pigmento fotossensível). Essas moléculas são compostas por uma proteína e por um derivado da vitamina A. Por essa razão, a importância da ingestão de vitamina A no auxílio à visão.

A rodopsina é decomposta em outros componentes, a principal é a rodopsina ativada, pois é ela que produz os impulsos elétricos que serão interpretados como luz pelo cérebro.

As variações estruturais ao redor de uma ligação dupla na porção retinal da molécula inicia uma série de reações químicas que resultam na visão. Ou seja, o processo envolve um sistema complexo em que o composto em sua forma *cis* é convertido em sua forma *trans*. A luz absorvida é deslocada através de ligações duplas alternadas.



Fonte: Simulação da visão das cores.

A luz como fóton (partícula) fornece energia eletromagnética do pulso luminoso para ser transformado em pulso elétrico que será conduzido pelo nervo ótico (localizado na retina) até a parte detrás do cérebro (córtex visual) para ser decodificado.

Contudo, se o fóton tiver frequência inferior a limite (energia insuficiente para iniciar uma reação fotoquímica), por exemplo, na faixa do infravermelho, ele não será detectado pelo olho humano. Já quando ele possui energia acima da necessária para a reação (fóton ultravioleta), ele é absorvido antes de chegar à retina.

$$E = h \cdot f$$

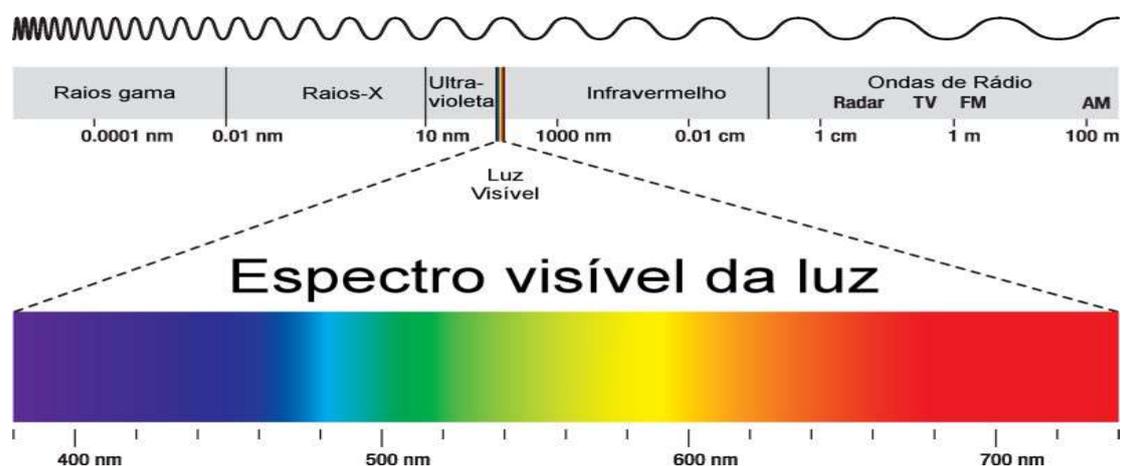
$E$  = energia do fóton, em J (Joules)

$h$  = constante de Planck ( $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ )

$f$  = frequência, em Hz

Quanto maior é a frequência, maior é a energia do fóton.

$E$  é justamente por esta razão que há uma faixa de radiação eletromagnética visível ao olho humano e outra faixa em que não temos essa percepção, exceto alguns animais a tem.



Espectro eletromagnético. Fonte: infoescola.com

### PROVANDO...

Ao manusear um controle de TV antigo, percebe-se que “a led não pisca”. Entretanto, se apertamos qualquer botão dele e fotografarmos essa ação, veremos na fotografia “uma luz”.

De acordo com os conhecimentos adquiridos, como esse fato seria possível?

---



---



---



---

R.: Com apenas uma câmera fotográfica de celular e um controle de TV modelo antigo, podemos visualizar ondas eletromagnéticas que não são perceptíveis ao nosso olho. A câmera tem sensibilidade a essa faixa de luz, de forma que nas fotos, elas se tornam visíveis ao nosso olho.

A **cor** é a resposta de nossos olhos às **frequências** da luz (sensação visual), ou seja, cada cor tem uma frequência.

Os objetos vermelhos absorvem todos os componentes da luz branca e refletem apenas o vermelho.

Os comprimentos de ondas correspondentes às cores primárias são: 700 nm para o vermelho, 546 nm para o verde e 436 nm para o azul.

Apesar de nossos cones serem sensíveis a três tipos de cor, conseguimos enxergar 100.000 combinações. Isso se deve ao fato de mais de um cone poder ser sensibilizado.

Qual é o papel do cérebro no mecanismo da visão?

---

---

---

O resultado é processado pelo cérebro com uma percepção específica de determinada cor.

Esse procedimento ocorre também no funcionamento da TV (sensibilização dos cones de acordo com a variação da intensidade de luz nos comprimentos de onda primários).

Quando não há cones sensíveis a determinada cor, ocorre o daltonismo.

## OITAVO MOMENTO INVESTIGATIVO

### Aplicação do conhecimento

#### Daltonismo

O Daltonismo é uma perturbação da percepção visual caracterizada pela incapacidade de diferenciar todas ou algumas cores, manifestando-se muitas vezes pela dificuldade em distinguir o verde do vermelho.

Normalmente é de origem genética, mas pode ser causado por lesão nos órgãos responsáveis pela visão, ou de lesão de origem neurológica.

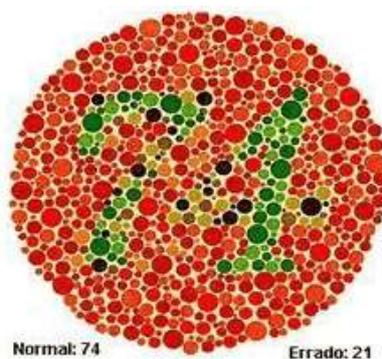
Há 130 milhões de pessoas no mundo com daltonismo.

No século XVIII, o químico John Dalton foi o primeiro cientista a estudar a anomalia de que ele mesmo era portador.

O Daltonismo está geneticamente ligado ao cromossoma X, ocorrendo mais frequentemente entre os homens.

A verificação para a cegueira das cores pode ser feita pelo teste de Ishihara. Pessoas normais enxergam o número 74, enquanto o daltônico vê o número 21.

Figura 1 – Teste de Ishihara.



Fonte: Luz e Visão

A seguir algumas imagens de como um daltônico vê o mundo.

Figura 2 – O mundo do daltônico.



Fonte: Colour blind simulator

### Sugestão de *site*

No *site* <https://www.color-blindness.com/coblis-color-blindness-simulator/> encontra-se um simulador de como um daltônico enxerga as coisas.

Obs.: O professor disponibilizará um tempo para que os alunos resolvam algumas questões selecionadas do caderno de questões, em grupo (nono momento investigativo). Logo em seguida, será aplicado um questionário individual de múltipla escolha através do aplicativo online *plickers*.

Questionário Interativo *Plickers* – Luz e Visão<sup>4</sup>

- 1- Diante de tantos "personagens" no processo da visão, qual seria o protagonista desse evento?
  - a) O olho
  - b) A luz
  - c) O cérebro
  - d) O objeto
  
- 2- Por que a vitamina A é fundamental para o sentido da visão?
  - a) Porque o derivado dela serve como reserva de energia, que será usada para transformar a molécula cis em trans.
  - b) Porque ela proporciona energia às células fotossensíveis.
  - c) Porque a molécula de rodopsina é composta por um derivado da vitamina A e é essa molécula que é responsável pela transformação dos impulsos luminosos em elétricos.
  - d) Porque quando ela é quebrada, libera energia, sendo conduzida pelo nervo ótico ao cérebro.
  
- 3- No experimento com o laser e o fio de cabelo, foi possível observar com nitidez dois fenômenos característicos de ondas. São eles:
  - a) Difração e interferência
  - b) Interferência e refração
  - c) Reflexão e difração
  - d) nenhuma das anteriores
  
- 4- Os bastonetes são células fotorreceptoras que estão presentes em maior número em nossa retina e são responsáveis pela visão em cores.
  - a) Verdadeiro
  - b) Falso
  
- 5- No século XVII, duas teorias sobre a natureza da luz ganharam dois importantes adeptos. Quais são elas?
  - a) Da Vinci: ondas e Newton: corpúsculos
  - b) Huygens: ondas eletromagnéticas e Newton: corpúsculos
  - c) Aristóteles: partícula e Da Vinci: ondas
  - d) Huygens: ondas e Newton: partícula

---

<sup>4</sup> Há um tutorial e gabaritos no apêndice II deste material didático.

- 6- Os cones são células fotossensíveis à luz nas cores primárias, responsáveis por uma visão melhor diurna.
- a) Verdadeiro
  - b) Falso
- 7- A dualidade onda-partícula da luz pode ser explicada como:
- a) A luz pode ser onda ou pode ser partícula.
  - b) A luz tem característica de onda mecânica e de partícula ao mesmo tempo.
  - c) A luz é onda e partícula. Depende do observador.
  - d) A luz é onda e partícula. Depende da intensidade luminosa e se a luz é monocromática, como o laser.
- 8- Fótons são pacotes de luz.
- a) Verdadeiro
  - b) Falso
- 9- O efeito fotoelétrico tem várias aplicações em nosso dia a dia, um exemplo é:
- a) a lâmpada fluorescente.
  - b) porta automática do shopping.
  - c) o laser.
  - d) os carros modernos de injeção eletrônica.
- 10- Por que nossos olhos não detectam a maior parte do espectro eletromagnético?
- a) Porque todos esses fótons são absorvidos antes de chegar à retina.
  - b) Porque os fótons absorvidos possuem energia inferior a limite.
  - c) Porque os fótons com energia superior não iniciam uma reação fotoquímica.
  - d) Porque esses fótons não possuem energia suficiente para gerar uma reação fotoquímica ou são absorvidos antes de chegar à retina.
- 11- Em relação à função de algumas estruturas do olho, qual das alternativas abaixo está correta?
- a) retina- formação da imagem.
  - b) esclera- responsável pela cor dos olhos.
  - c) pupila- estrutura responsável pela transformação de luz em impulsos elétricos.
  - d) íris- controle da luminosidade.
- 12- Na visão, quando a luz atravessa nossas lentes, ela sofre diversas refrações até chegar à retina.
- a) Verdadeiro

b) Falso

- 13- Em 2015, uma fotografia compartilhada na rede social *twitter* trouxe muitas dúvidas a quem a observasse. A foto de um vestido trazia a seguinte questão quanto a suas cores: "azul e preto" ou "branco com dourado"? Essa confusão pode ser explicada por:



- a) daltonismo.
- b) interpretação pessoal
- c) falta de objetividade
- d) ilusão de ótica

- 14- Sobre o daltonismo, é correto afirmar:

- a) O Daltonismo está geneticamente ligado ao cromossoma X, ocorrendo mais frequentemente entre as mulheres.
- b) O Daltonismo é uma perturbação da percepção visual caracterizada pela incapacidade de diferenciar todas ou algumas cores.
- c) O daltonismo foi estudado primeiramente pelo químico Jonas Dalton, portador dessa doença.
- d) O teste de Ishihara é um dos testes menos eficaz para detectar a cegueira das cores.

- 15- Todos os animais enxergam da mesma maneira, ou seja, na mesma faixa do espectro eletromagnético.

- a) Verdadeiro
- b) Falso

## **Mecanismo da visão em outros animais**

O modo como cada animal percebe a luz depende de como consegue o alimento, como foge dos predadores, se é noturno ou diurno, como acasala entre outros fatores.

Nos vertebrados quase todos os olhos são semelhantes com o olho humano, no entanto há uma grande variedade de olhos.

Os receptores de luz, assim chamados porque não são olhos, mais simples e rudimentares pertencem à crustáceos microscópicos e são chamados de ocelos que só percebem claro e escuro. Enquanto que nos insetos, encontram-se a estrutura mais desenvolvida os chamados olhos compostos, que são formados por células especiais chamadas de omatídeos. As abelhas, por exemplo, conseguem enxergar do azul ao ultravioleta.

Os peixes, as borboletas, os pássaros e reptéis também podem enxergar colorido, porém alguns mamíferos não enxergam.

Já os cães não conseguem distinguir o verde do vermelho. Eles apenas enxergam uma escala de amarelos e azuis, enxergam bem com baixa iluminação por possuírem muitos bastonetes e nessas condições enxergam preto e branco.

Todavia os gatos enxergam azul, verde, amarelo e violeta e por possuírem muitos bastonetes conseguem identificar objetos que se movem rapidamente. Sua pupila à noite abre-se ao máximo concedendo-lhe uma excelente visão noturna.

Os animais noturnos, como a coruja, possuem uma enorme quantidade de bastonetes que são muito sensíveis à luz, possibilitando enxergar objetos com quase nada de iluminação.

Os falcões e as águias possuem a visão mais aguçada, podendo localizar sua presa a 300 m de altitude.

Os maiores olhos são o da lula chegando a 38 cm de diâmetro, enquanto o olho humano chega a 25 mm de diâmetro.

Em cada caso, a estrutura do receptor de luz ou do olho dos animais vai depender de suas necessidades específicas.

Figura 3 – Os olhos dos animais.



Fonte: Dreamstime.com



Fonte: Minilua.com

## Ilusão de Óptica

Existem imagens que enganam, por um momento, o nosso cérebro. São chamadas de ilusão de óptica.

Por exemplo, o sol e a lua quando estão próximos do horizonte parecem ser maiores do que quando estão no alto do céu.

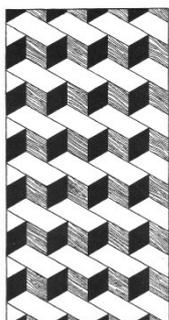
Nossos olhos podem nos enganar, por isso, devemos aprender a usá-los como a um instrumento.

Avaliar distância, direção e posição dependem do movimento de diversos músculos envolvidos na visão, além daquilo que a retina nos revela e da interpretação do cérebro.

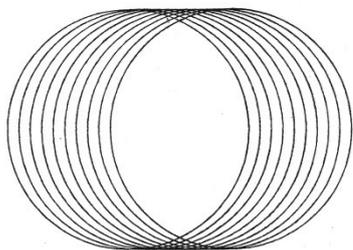
As imagens abaixo podem nos levar a julgamentos errôneos à primeira vista. A visão humana é altamente adaptável e o cérebro interpreta as informações recebidas pelos olhos a fim de perceber uma imagem aceitável, embora nem sempre precisa.

Todavia, quando são fornecidos certos sinais que, apesar de contraditórios, são igualmente aceitáveis, o sistema visual interpreta-os objetivamente. O fio enrolado e os cubos empilhados podem ser vistos em dois sentidos, e o cérebro vai e vem de uma vista para outra.

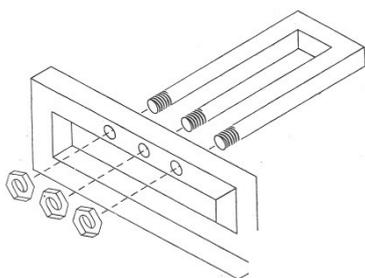
Figura 4 - Ilusões



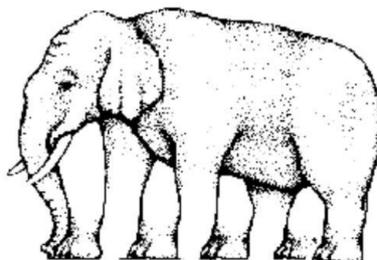
A pilha de blocos pode ser vista com os lados brancos, quer como base quer como topo.



O fenômeno da perspectiva reversível faz com que o fio enrolado pareça mudar de posição.



O garfo, o suporte e as roscas são rejeitados pelo cérebro como figuras impossíveis.



**Quantas pernas tem o elefante?**

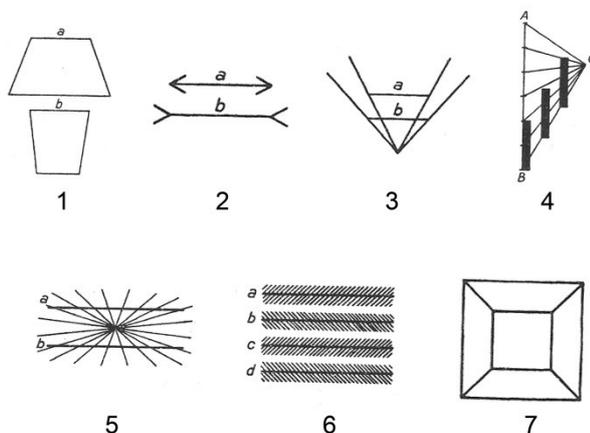
Obs.: O professor disponibilizará um tempo para que os alunos resolvam o restante do caderno de questões, individualmente (nono momento investigativo). Após um tempo, eles serão divididos em grupos para discussões. Em seguida, alguns representantes farão a correção dos problemas no quadro.

**NONO MOMENTO INVESTIGATIVO**

## Questões

- 1- Um fóton de frequência  $f=6 \cdot 10^{14}$ Hz penetra o olho humano. Sabendo que a faixa de luz visível está entre  $4,3 \cdot 10^{14}$ -  $7,5 \cdot 10^{14}$  Hz, verifique se ele será detectado pelo olho. Justifique a sua resposta em termos de energia do fóton.
- 2- A luz amarela de sódio propaga-se na córnea com a velocidade de  $2,18 \cdot 10^8$ m/s. Sendo a velocidade da luz no vácuo  $c= 3 \cdot 10^8$ m/s, determine, aproximadamente, o índice de refração da córnea para a luz amarela de sódio.
- 3- A velocidade da luz no cristalino mede  $\frac{5}{7}$  da velocidade no vácuo. Qual é o valor do índice de refração do cristalino?
- 4- Determine o comprimento de onda na córnea de uma luz cuja frequência vale  $8,3 \cdot 10^8$  Hz. Sabendo que o índice de refração da córnea é  $\eta = 1,38$  e a velocidade da luz no vácuo é  $c= 3 \cdot 10^8$ m/s.
- 5- De maneira sucinta, comente sobre a dualidade onda-partícula da luz. E quais são os fatores que caracterizam a luz como onda eletromagnética?
- 6- A visão envolve fatores físicos, químicos e biológicos. Explique o mecanismo da visão numa linguagem interdisciplinar.
- 7- Calcule a velocidade da luz vermelha ( $f=4,3 \cdot 10^{14}$  Hz ) nos meios abaixo, sabendo-se seus índices de refração e calcule o comprimento de onda em cada meio:
  - a) Córnea ( $\eta = 1,38$ )
  - b) Cristalino ( $\eta = 1,40$ )
  - c) Humor vítreo ( $\eta = 1,34$ )

- 8- O nosso cérebro pode ser enganado por algumas imagens. Observe as imagens abaixo e comente sobre a ilusão de óptica que elas nos causam:



- Nas imagens 1, 2 e 3, observe os tamanhos dos segmentos representados na figura.
- Na figura 4, analise os postes quanto ao seu comprimento.
- Nas figuras 5 e 6: as linhas horizontais são paralelas?
- Observe a imagem 7: olhamos o interior do cubo ou para o alto dele?

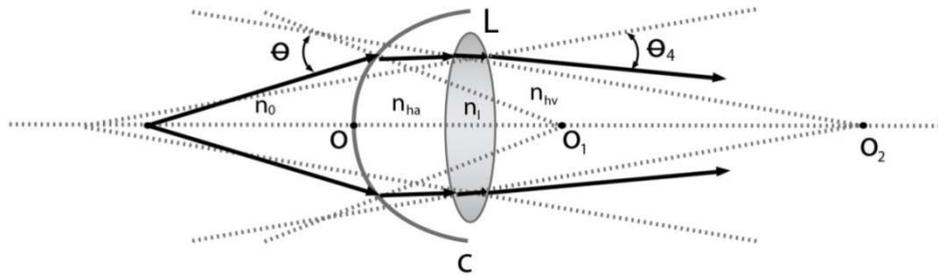
Discuta com os colegas as suas observações. Nem tudo é o que parece ser!

- 9- A respeito da luz verde com o comprimento de onda igual a 525 nm:
- Qual é a sua frequência?
  - Quando essa luz penetra no cristalino ( $n = 1,40$ ), sua frequência não muda, apenas muda, a sua velocidade e seu comprimento de onda. Qual é o seu comprimento de onda nesse meio (cristalino)?

- 10- Através<sup>5</sup> da lei de Snell- descartes, pode-se obter uma comparação à respeito dos ângulos incidente e os refratados quando a luz incide do humor aquoso para a lente e desta para o humor vítreo. Sabendo que o índice de refração da lente e a dos humores aquoso e vítreo são respectivamente, 1,424 e 1,336,

<sup>5</sup>Questão adaptada e figuras extraídas do livro: Biofísica – Fundamentos e Aplicações, de José Enrique R Durán (DURÁN, 2003).

compare esses ângulos e explique, através dos resultados, este efeito da focalização na córnea.



Legenda:

C: córnea

L: lente

$n_0 = 1,000$

$n_l = 1,424$

$n_{ha} = n_{hv} = 1,336$

$\Theta$  = ângulo de incidência

$\Theta_4$  = ângulo de refração

$O_1$ : centro de curvatura de C

$O_2$ : centro de curvatura de L

## Caderno de Respostas

### Questionário *Edpuzzle*:

2- A

4- C

10- A

12- D

### Questionário *Plickers*:

1- B

2- C

3- A

4- B

5- D

6- A

7- C

8- A

9- B

10- D

11- A

12- A

13- D

14- B

15- B

### Questões ao final do material:

1- Utiliza-se a equação  $E = h \cdot \nu$ :

$$E_{\text{máx}} = h \cdot \nu_{\text{máx}} \rightarrow E_{\text{máx}} = 7,5 \cdot 10^{14} \cdot h \text{ J}$$

$$E_{\text{mín}} = h \cdot \nu_{\text{mín}} \rightarrow E_{\text{mín}} = 4,3 \cdot 10^{14} \cdot h \text{ J}$$

$$E = h \cdot f \rightarrow E = 6 \cdot 10^{14} \cdot h \text{ J}$$

Como  $E_{\text{máx}} < E < E_{\text{mín}}$ , a energia do fóton está entre os limites de energia que o olho detecta, ou seja, o fóton será detectado pelo olho, pois tem energia suficiente para iniciar uma reação fotoquímica.

Para obter os valores de  $E_{\text{máx}}$ ,  $E_{\text{mín}}$  e  $E$ , basta substituir o valor da constante de Planck  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .

$$E_{\text{máx}} = 49,7 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

$$E_{\text{mín}} = 28,5 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

$$E = 39,8 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

2- Usando a relação  $\eta = \frac{c}{v}$ :

$$\eta = 3 \cdot 10^8 / (2,18 \cdot 10^8)$$

$$\eta = 1,38$$

3- Substituindo os valores do enunciado em  $\eta = \frac{c}{v}$ :

$$\eta = \frac{c}{5/7c}$$

$$\eta = \frac{7}{5} = 1,4$$

4- Primeiramente, calcula-se a velocidade através da fórmula  $\eta = \frac{c}{v}$

$$v = 3 \cdot 10^8 / 1,38$$

$$v = 2,17 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Substituindo os valores dados em  $v = \lambda f$ , temos

$$\lambda = 260 \text{ nm (lembrando que nm} = 10^{-9} \text{ m)}.$$

5-

A natureza da luz durante muitos anos foi discutida pelos filósofos e cientistas.

Por possuir características correspondentes a ondas eletromagnéticas, como amplitude, a velocidade de propagação, a frequência e o comprimento de onda, Maxwell pode unificar a óptica e o eletromagnetismo. Além dessas características, a luz sofre fenômenos ondulatórios quando disposta em algumas situações: reflexão, refração, difração e interferência. Este último evidenciou ainda mais que a luz é uma onda, quando no século XIX, Young a demonstrou experimentalmente.

Alguns problemas da física só puderam ser compreendidos a partir do momento que enxergaram a luz como partícula (fóton, feixe de luz) e como tal, transferia quantidade de movimento.

A partir disso, a luz foi caracterizada como dual, ela se comporta como onda e como partícula, dependendo da intenção do experimento.

6-

O mecanismo da visão tem a sua complexidade desde a formação da imagem invertida na retina até o processamento da informação pelo cérebro.

A luz fornece energia luminosa a células receptoras (bastonete e cones) presentes na retina.

Os fótons excitam essas células, mas é necessária que a energia do fóton seja suficiente para que ocorra uma reação fotoquímica.

Há um pigmento fotossensível presente nos bastonetes, são as moléculas de rodopsina, elas são formadas de um derivado da vitamina A e são responsáveis por produzir os impulsos elétricos que serão transmitidos pelo nervo ótico até o cérebro (córtex visual) onde as informações recebidas serão decodificadas.

A carência de vitamina A pode causar cegueira noturna, já que essa funciona como uma reserva de rodopsina.

7-

$$a) \eta = \frac{c}{v}, v = 3 \cdot 10^8 / 1,38 = 2,17 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$v = \lambda f \rightarrow \lambda = 505 \text{ nm}$$

$$b) \eta = \frac{c}{v}, v = 3 \cdot 10^8 / 1,40 = 2,14 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$v = \lambda f \rightarrow \lambda = 498 \text{ nm}$$

$$c) \eta = \frac{c}{v}, v = 3 \cdot 10^8 / 1,34 = 2,2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$v = \lambda f \rightarrow \lambda = 512 \text{ nm}$$

8-

- a) Os segmentos a e b são de mesmo tamanho. Com o auxílio de uma régua, pode-se concluir isso.
- b) De maneira análoga a letra a, os postes têm o mesmo comprimento.
- c) Sim, são paralelas.

- d) O jogo de cor e listras nos lados do cubo faz com que nossos olhos não consigam distinguir se estamos olhando para o interior do cubo ou para o alto dele. Provavelmente, os alunos verão de maneiras diferentes a mesma figura.

9-

- a) Para encontrarmos a frequência de um comprimento de onda  $\lambda = 525 \text{ nm}$ , usaremos a equação da velocidade da onda ( $v = \lambda f$ ), usando o valor da velocidade da luz no vácuo:

$$f = 3 \cdot 10^8 / 525 \cdot 10^{-9} = 5,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

- b) Como a luz atravessou outro meio, sofrerá refração. Primeiramente, devemos calcular a velocidade. A velocidade no meio 2 pode ser obtida através do índice de refração.

$$\eta = \frac{c}{v}$$

$$v = 3 \cdot 10^8 / 1,4 = 2,14 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

E obtemos o comprimento de onda por:  $v = \lambda f$

$$\lambda = 2,14 \cdot 10^8 / 5,7 \cdot 10^{14} = 375 \text{ nm}$$

10-

Meio I:

Humor aquoso

$\theta_1$  e  $\eta_1 = 1,336$



Meio II

Lente

$\theta_2$  e  $\eta_2 = 1,424$

$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2 \rightarrow \text{sen}\theta_1 = (n_2/n_1) \cdot \text{sen}\theta_2$$

$$\text{sen}\theta_1 = 1,066 \cdot \text{sen}\theta_2$$

O resultado indica que  $\theta_1 < \theta_2$ .



$$n_3 \cdot \text{sen}\theta_3 = n_4 \cdot \text{sen}\theta_4 \rightarrow \text{sen}\theta_3 = (n_4/n_3) \cdot \text{sen}\theta_4$$

$$\text{sen}\theta_3 = 0,938 \cdot \text{sen}\theta_4$$

O resultado indica que  $\theta_3 < \theta_4$  e que  $\theta_1 < \theta_4$ . A convergência causada pela ação da lente do olho é evidenciada pelo resultado, mostrando o que experimenta os raios luminosos desde a pupila ao humor vítreo.

## DÉCIMO MOMENTO INVESTIGATIVO

### Seminário

O seminário consiste em uma atividade final, em grupo, a ser apresentada para a turma sobre o processo da visão, relacionando-a com a luz (onda eletromagnética/fótons).

Dependendo do número de alunos da turma, esta será dividida em quatro grupos:

- Um grupo fará a maquete da câmera escura.
- Outro grupo irá explicar o processo de formação da imagem na retina utilizando esse modelo, destacando o fenômeno da refração.
- Outro grupo fará a maquete do olho com suas estruturas bem demarcadas, incluindo uma parte extra que destaque as células fotorreceptoras (em escala maior).
- Por último, haverá um grupo que explicará a interação da luz com as estruturas do olho, porque enxergamos apenas uma faixa do espectro eletromagnético e a importância da vitamina A no mecanismo da visão.

Os trabalhos serão avaliados de acordo com a concordância com o tema proposto, a criatividade e a execução dos objetivos (compreender a formação da imagem na retina, entender as funções das estruturas do olho nesse processo e descrever o mecanismo da visão).

Na ficha a seguir, estão dispostos os critérios de avaliação desta atividade:

### Ficha de avaliação dos trabalhos sobre Luz e visão

Classificação de 1 a 4, sendo: 1- RUIM 2- REGULAR, 3- BOM, 4- EXCELENTE de acordo com os parâmetros de avaliação abaixo:

#### Maquete e câmara escura

Parâmetros avaliativos	Nota
Concordância com o proposto	
Criatividade	
Clareza e objetividade na confecção	
Cumprimento de prazos	
Apreciação global	

#### Apresentações Orais

Parâmetros avaliativos	Nota
Clareza da apresentação	
Enquadramento do trabalho ao tema proposto	
Exemplos interessantes/ seleção de aspectos relevantes	
Dinâmica da apresentação	
Interação com os participantes do grupo	

Integrantes do grupo:

---



---



---



---

Observações:

---



---



---



---

## REFERÊNCIAS

- BARDINI, Renan. Luz visível. *Blog cola da web*. Disponível em: <<http://www.colada.com/fisica/ondas/luz-visivel>>. Acesso em: 18 out. 2012, 12h 40min.
- BRASIL, Ministério da Educação e Cultura. Acervo: Luz e Energia. *Portal do professor*. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/linkscursosmateriais.html?categoria=121>>. Acesso em: 17 out. 2014, 18h 31min.
- BRASIL, Ministério da Educação e Cultura. *700 experiências, compilação da UNESCO*. Diretoria do Ensino Industrial, Brasília, 1964.
- DURÁN, José Henrique Rodas. *Biofísica: Fundamentos e Aplicações*. São Paulo, SP: Prentice Hall, 2003.
- FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. *Lições de Física volume II*. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de física volume 4*. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- HAYT JÚNIOR, W. H. *Eletromagnetismo*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1983.
- LORETO, Élgion Lúcio da Silva; SARTORI, Paulo Henrique dos Santos. Simulação da visão das cores: decodificando a transdução quântica-elétrica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 25, n. 2, Florianópolis: UFSC, p. 266-286, ago. 2008. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2008v25n2p266>>. Acesso em: 13 maio 2015, 14h.
- MUELLER, Conrad G.; RUDOLPH, Mae. *Luz e Visão*. Rio de Janeiro, RJ: Livraria José Olympio Editora, 1972.
- NISHIDA, Silvia M. *Apostila do curso de fisiologia: Sentido da visão*. IB Unesp-Botucatu: Departamento de Fisiologia, 2012.
- OKUNO, Emico; CALDAS, Iberê Luiz; CHOW, Cecil. *Física para ciências biológicas e biomédicas*. São Paulo, SP: Harper & Row do Brasil, 1982.
- SANT'ANNA, Blaidiet al. *Conexões com a Física volume 2*. 1.ed. São Paulo, SP: Moderna, 2010.
- TORQUATTO, Jonas. *Genética: o que esse assunto tem a ver com você?*. 1. ed. São Paulo, SP, 2009. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=95UWBAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 12 dez. 2014, 11h 45min.
- TORTORA, Gerard J. *Corpo Humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 4.ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2000.

# Apêndice I

## TUTORIAL *EDPUZZLE*

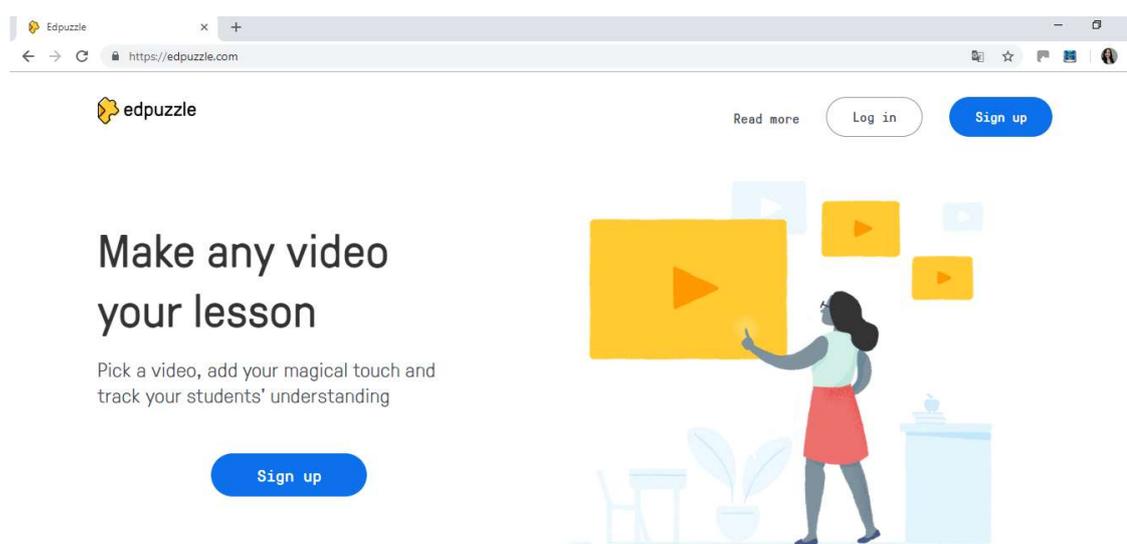
### O QUE É *EDPUZZLE*?

O *edpuzzle* consiste em um aplicativo *online* que permite ao professor criar turmas onde estão dispostas questões inseridas ao longo de um vídeo. Após a criação da turma e a disponibilização do link aos alunos, o professor poderá estabelecer um prazo no *site* do *edpuzzle* para que os alunos concluam a atividade.

Além de possibilitar uma avaliação individual, interativa e diferenciada, o aplicativo permite ao professor a retomada de conteúdo, traz os resultados gerais e individuais das questões e utiliza de novas tecnologias no ensino, proporcionando um ensino mais qualitativo e extra sala de aula.

Ele pode ser acessado através do endereço eletrônico: <[www.edpuzzle.com](http://www.edpuzzle.com)>.

**Figura 1: Layout do site do aplicativo *Edpuzzle*.**



Fonte: Autoria própria.

### COMO ACESSAR?

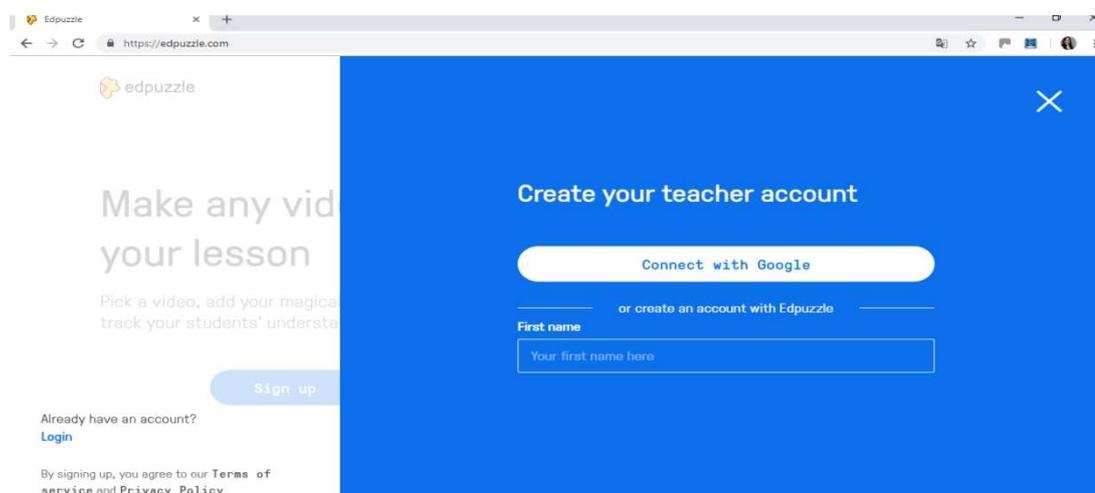
- 1º passo: acesse o endereço eletrônico do *Edpuzzle*.

<<https://www.edpuzzle.com>>

- 2º passo: cadastre-se pela conta *Google* ou pela conta *Edpuzzle*.

Clique em Sign up para fazer o cadastro. Logo em seguida, clique em Sign up as a teacher (opção para cadastro como professor) e aparecerá a tela a seguir:

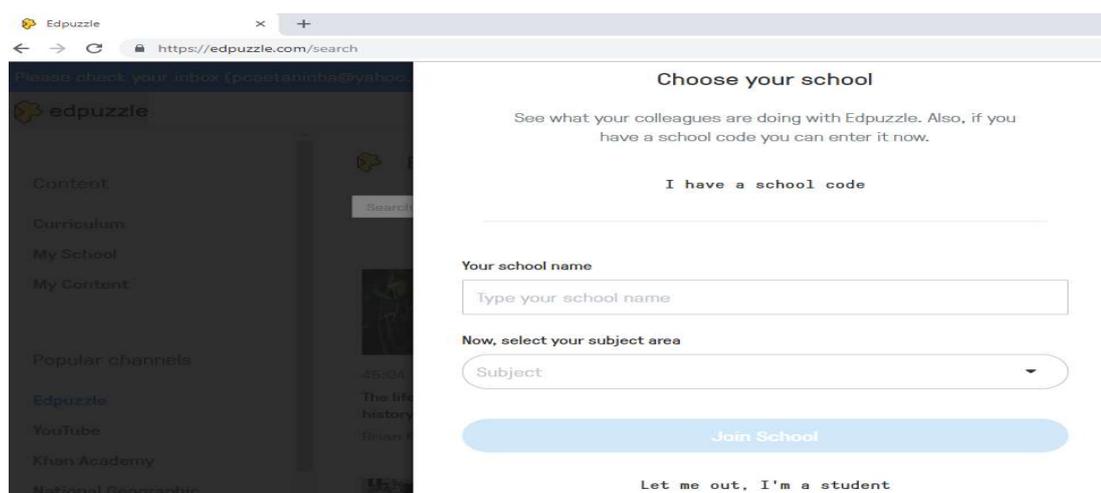
**Figura 2: Tela de cadastro pela conta *Google* ou pela conta *Edpuzzle*.**



Fonte: Autoria própria.

Escolha a opção “Connect with Google” caso possua uma conta *Google* ou crie uma conta com o *Edpuzzle*, preenchendo os dados solicitados. Após efetuar o cadastro e *logar* no site, aparecerá uma tela em que poderá introduzir o código da escola, caso o tenha ou em que poderá especificar a escola em que dá aula e a área. Desse modo, facilita a conexão de professores da mesma instituição de ensino e o compartilhamento de informações. Em seguida, você será direcionado para um tutorial de apresentação das funcionalidades do aplicativo.

**Figura 3: Escolha da escola.**

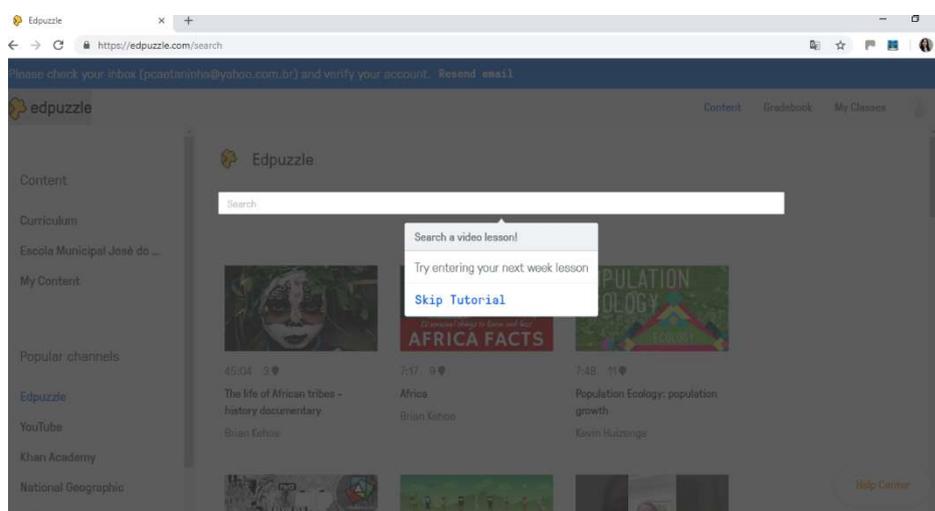


Fonte: Autoria própria.

- 3º passo: apresentação das funcionalidades do *Edpuzzle*.

Nesta etapa, o site oferece um tutorial que permite uma familiarização com o aplicativo *Edpuzzle*, guiando o professor pelo site e pelas suas funcionalidades.

**Figura 4: Tutorial oferecido pelo site do *Edpuzzle*.**



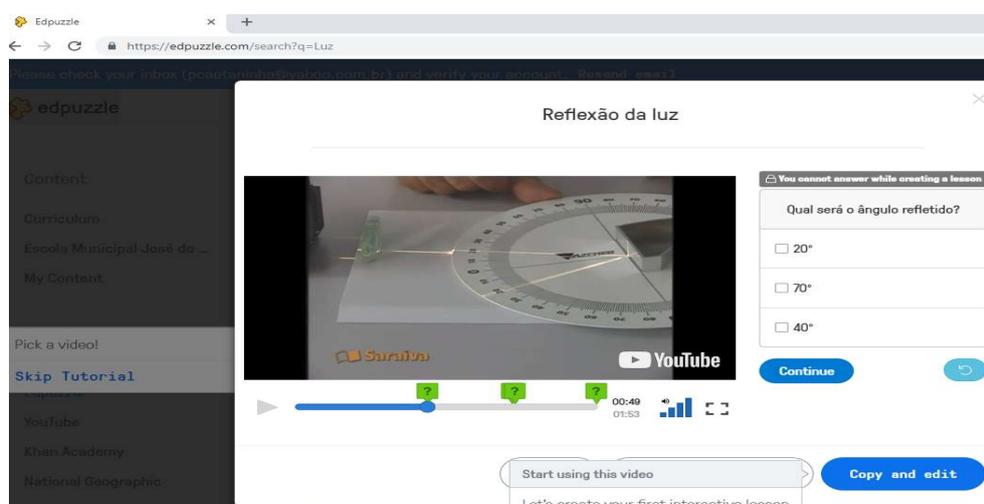
Fonte: Autoria própria.

Na função “Content” (conteúdo), o docente poderá buscar vídeos cadastrados no *site* que contém questões e editá-los.

O *Edpuzzle* procura uma ampla gama de hospedagem de vídeos tanto presentes no site do *Edpuzzle* quanto em outros sites. Você será solicitado a procurar um vídeo para editar.

Digite seus termos de pesquisa e pressione Enter (ou Return) no teclado.

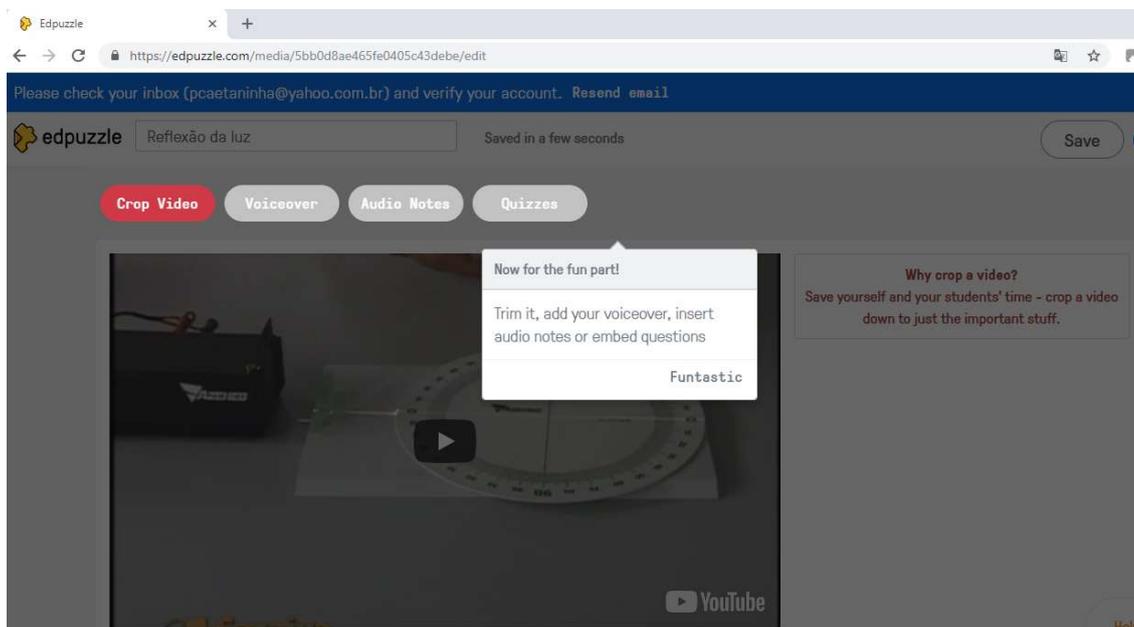
**Figura 5: Escolha de vídeo- aula para edição.**



Fonte: Autoria própria.

Dessa maneira, pode-se criar a sua primeira lição interativa.

**Figura 6: Escolha de vídeo- aula para edição.**



Fonte: autoria própria.

Função “Crop Video”:

O *Edpuzzle* permite que você utilize vídeos do *Youtube* e de outros lugares e os corte, selecionando o trecho desejado.

Clique nas *tags* vermelhas e deslize-as até o local que quiser para encurtar o vídeo, em seguida, toque na aba de sua escolha para inserir conteúdo no vídeo (áudio, notas, questões).

Função “Voiceover”:

Você pode clicar neste ícone para gravar sua própria voz em todo o segmento de vídeo.

Função “Audio Notes”:

Esta função é mais apropriada caso queira adicionar uma introdução com suas palavras em alguns trechos do vídeo como notas.

Função “Quizzles”:

*Edpuzzle* também permite que você insira perguntas do questionário nos vídeos. Digite uma questão na caixa de perguntas e clique em “Continue”.

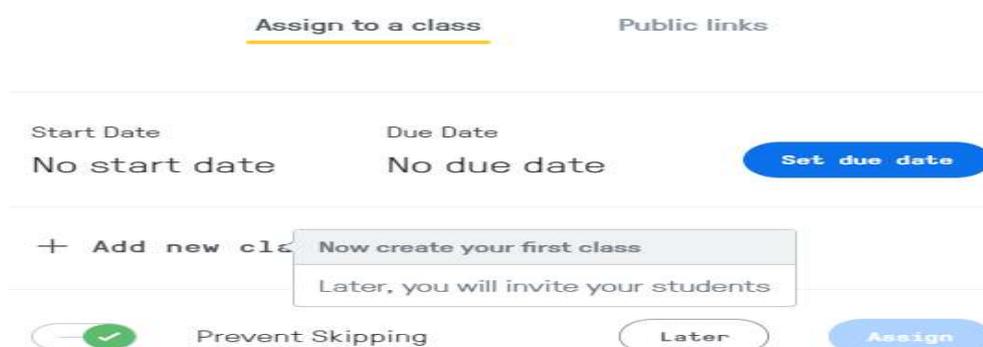
As questões podem ser objetivas (múltipla escolha e verdadeiro ou falso) e discursivas. Quando tiver terminado, clique no botão “Finish” no topo da página.

Obs.: Imagens e fórmulas podem ser inseridas nas questões criadas.

- 4º passo: inserir turma.

Ao finalizar a aula, aparecerá a janela “Assign to a class”. Esta janela servirá para você incorporar a aula em uma turma.

**Figura 7: Incorporar a uma turma.**



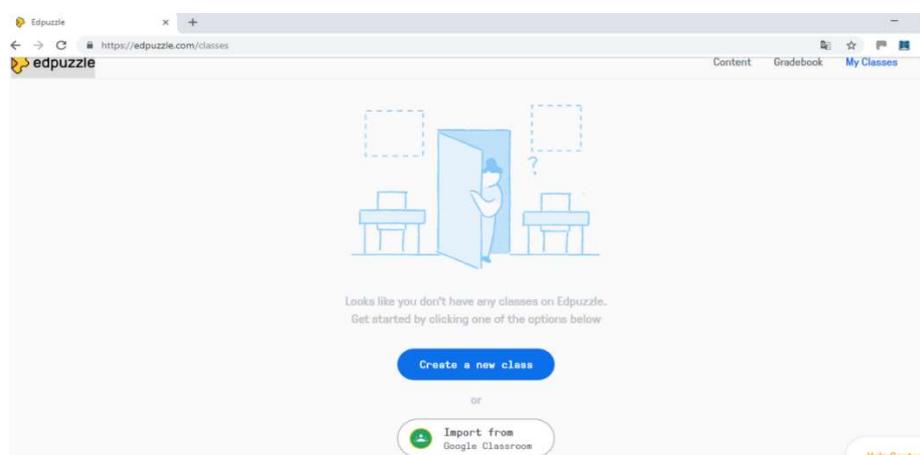
Fonte: Autoria própria.

Você poderá optar em criar a turma depois ao clicar em “Later” ou de forma imediata na página acima.

Caso opte pela última opção, clique em “+Add new class” e digite um nome para a turma, logo em seguida, clique em “Prevent Skipping” para evitar que o aluno pule as questões.

Para criar uma turma posteriormente, vá na aba “My classes” em azul no canto superior direito da página como demonstrado na Figura 8, clique em “Create a new class” ou importe a sua turma do aplicativo *Google Classroom*.

**Figura 8: Criar uma nova turma**

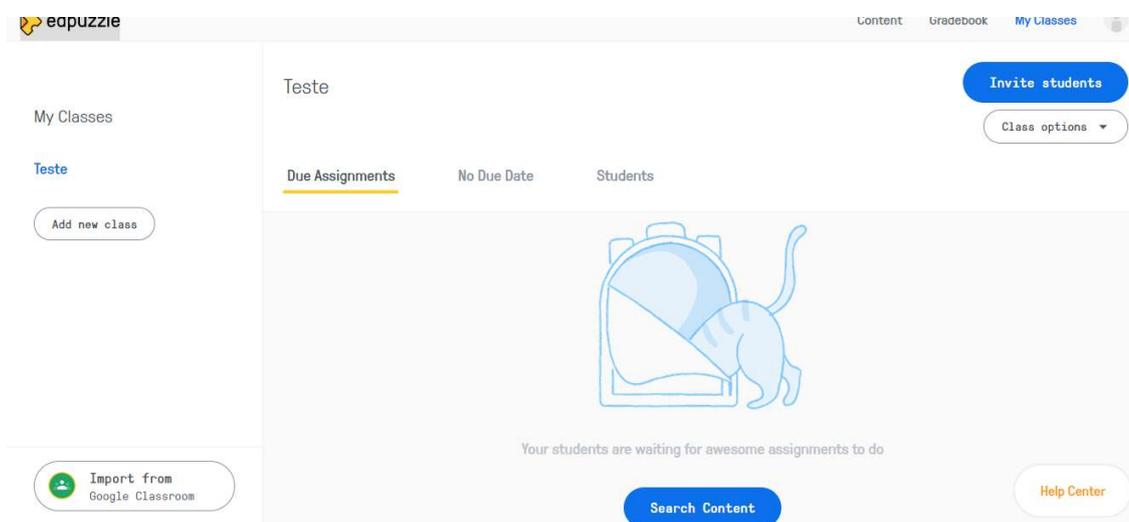


Fonte: Autoria própria.

Em seguida, insira o nome da turma e clique em “Add class”. Se quiser adicionar outras turmas, vá na opção “Add new class” (Figura 9) e repita o procedimento.

Para adicionar a lição à turma, clique em “Search Content” e na coluna esquerda.

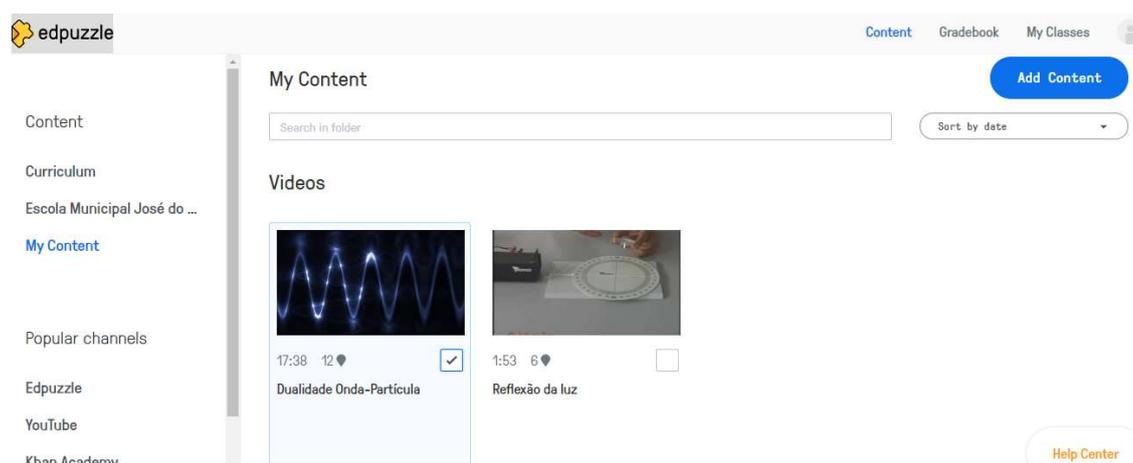
**Figura 9: Adicionar lição à turma.**



Fonte: Autoria própria.

Na tela seguinte, clique em “My content” caso já tenha realizado o 3º passo deste tutorial e busque o vídeo escolhido selecionando o quadrado abaixo do vídeo conforme a Figura 10. Se a resposta for negativa, crie o seu conteúdo lendo as instruções do passo 3.

**Figura 10: Adição de conteúdo à turma.**



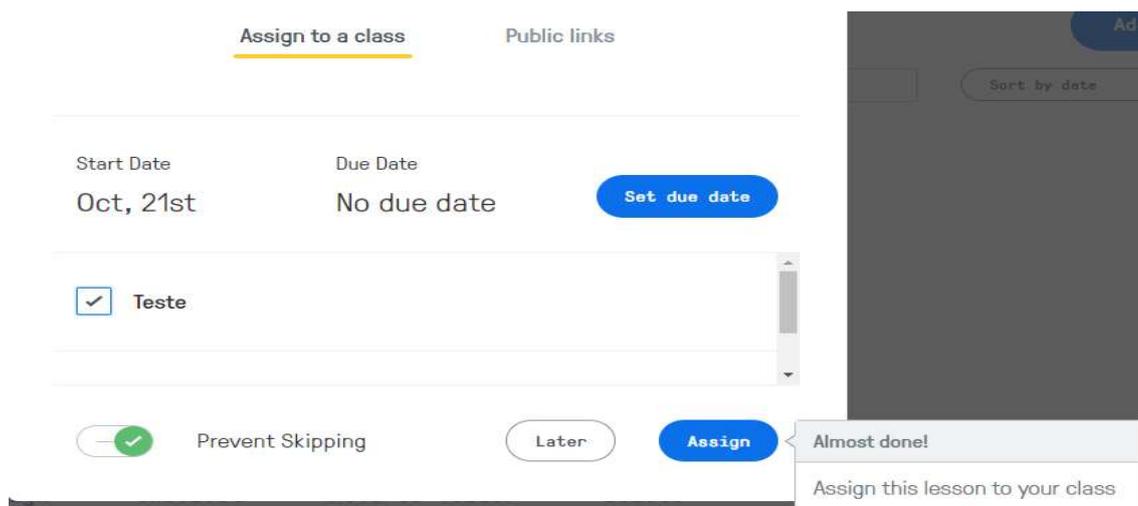
Fonte: Autoria própria.

- 5º passo: Compartilhar aula.

Assim que selecionar a caixa correspondente ao vídeo escolhido, clique em “Assign” (Atribuir).

Aparecerá uma janela em que você atribuirá o conteúdo à(s) turma(s) criadas e poderá optar em estabelecer um prazo para que os alunos realizem a atividade. Neste caso, clique em “Set due date”, ou seja, definir data de vencimento e escolha a data de sua preferência para o prazo máximo em que a atividade estará disponível para o aluno. Em seguida, clique em “Assign” para finalizar a atribuição.

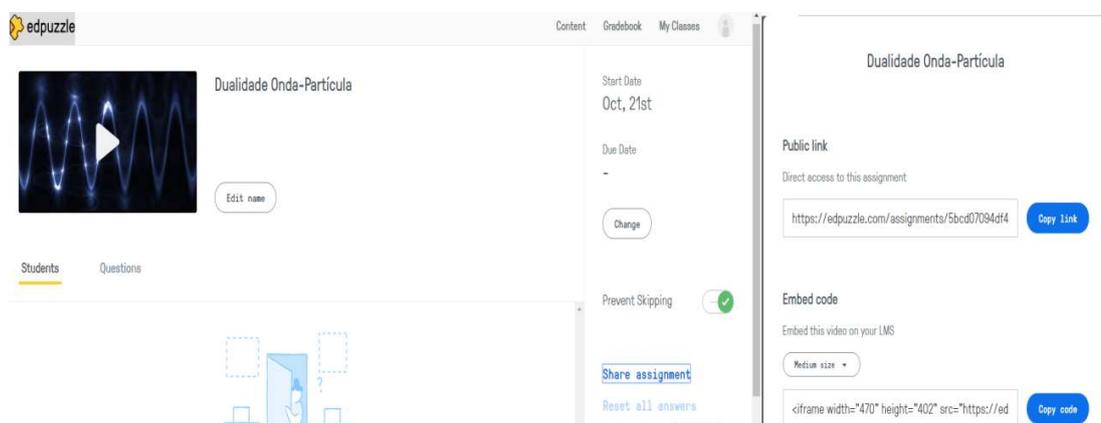
**Figura 11: Finalizar a atribuição de atividade a uma turma.**



Fonte: Autoria própria.

Para compartilhar o *link* do conteúdo criado para sua(s) turma(s), clique em “Share assignment” na parte inferior direita da tela e abrirá uma janela com o *link* gerado. Clique em “Copy link” e compartilhe com os alunos em mídias sociais.

**Figura 12: Janelas de compartilhamento de *link*.**



Fonte: Autoria própria.

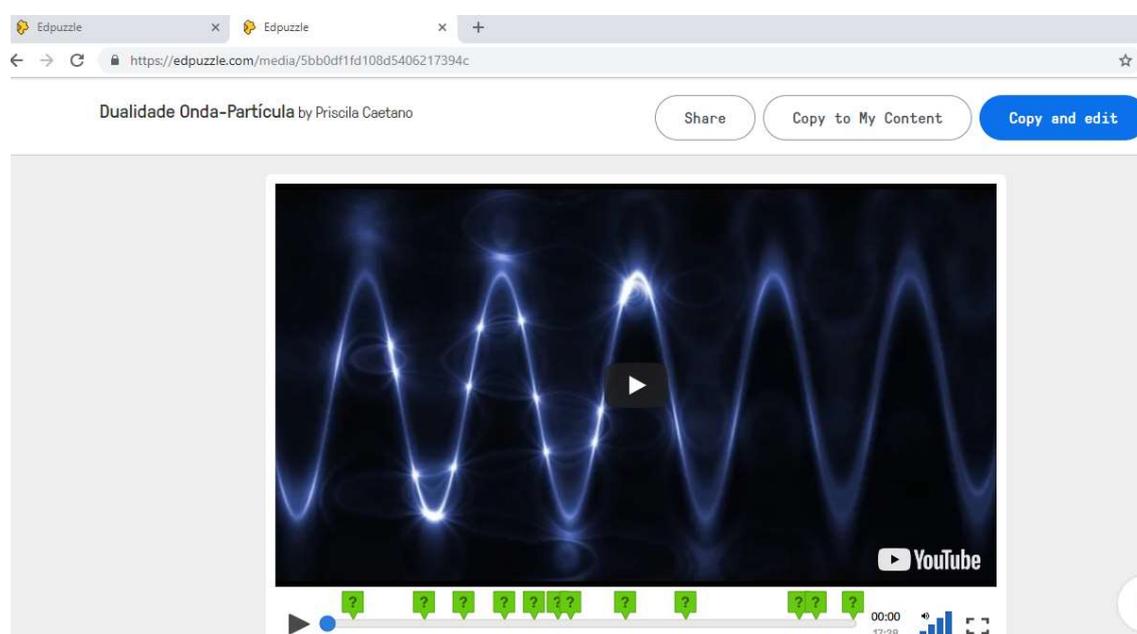
- 6º passo: criar questionário Dualidade Onda-Partícula.

Agora que você já se familiarizou com o aplicativo, vamos usá-lo para criar o nosso questionário interativo sobre a luz e visão!

De maneira a facilitar para o professor a criação dessa lição, está disponível abaixo o vídeo que contém as questões para ser copiado: <<https://edpuzzle.com/media/5bb0df1fd108d5406217394c>> .

Após acessar o *link* acima, escolha uma das opções: “Copy to My Content” ou “Copy and edit” para copiar a aula. A primeira opção refere-se a cópia do vídeo de forma integral, sem edições. Já a segunda, o usuário copia o arquivo e pode editá-lo.

**Figura 13: Copiar vídeo existente no aplicativo com o questionário Dualidade Onda-Partícula.**



Fonte: Autoria própria.

Clicando em “Copy and edit” e, logo em seguida, em “Finish”, aparecerá a opção de atribuir o vídeo a uma turma (vale ressaltar que a mesma atividade poderá ser atribuída a mais turmas).

Neste momento, o professor tem a opção de escolher a data de início e a data final que a atividade estará disponível no site para os alunos.

Após o término do prazo, os alunos não terão acesso a esta avaliação. Contudo, o professor poderá alterar o período novamente para a realização da tarefa escolar.

# Apêndice II

## **TUTORIAL *PLICKERS***

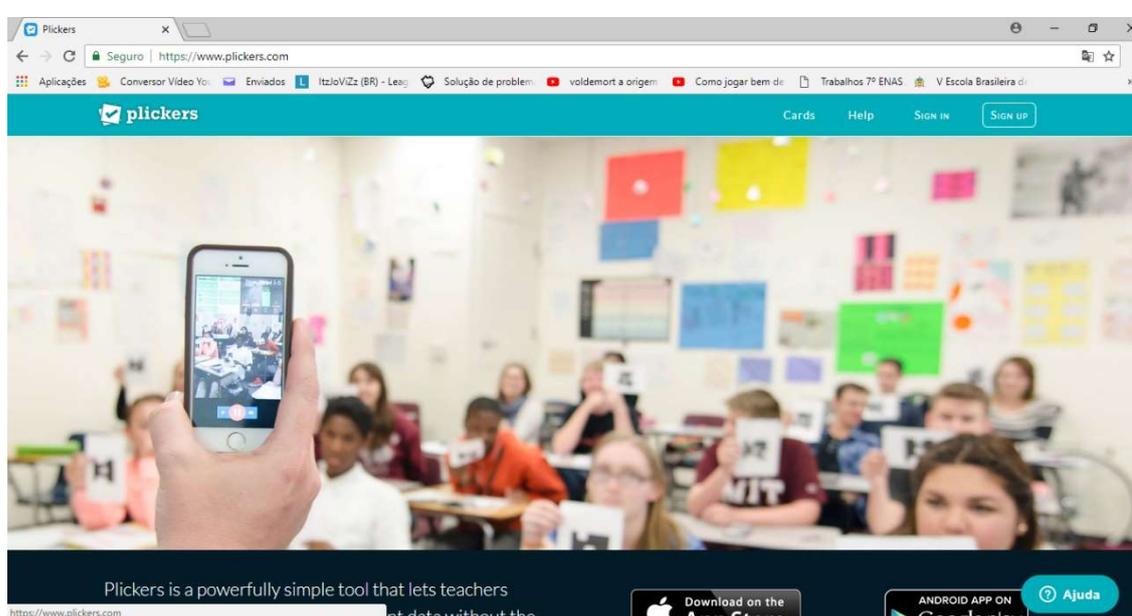
O QUE É *PLICKERS*?

É um aplicativo móvel que permite ao professor elaborar questionários de múltipla escolha ou verdadeiro ou falso de forma interativa, possibilitando a visualização rápida das respostas individuais fornecidas pelos alunos por intermédio de cartões individuais.

Em outras palavras, o *Plickers* pode ser uma ferramenta útil no processo avaliativo tornando-o mais dinâmico, além de facilitar a correção pelo professor, pois esta é imediata o que favorece a retomada de conteúdo pelo docente.

Ele pode ser acessado por meio do endereço eletrônico <<https://www.plickers.com/>>.

**Figura 14: Layout do site do aplicativo *Plickers*.**



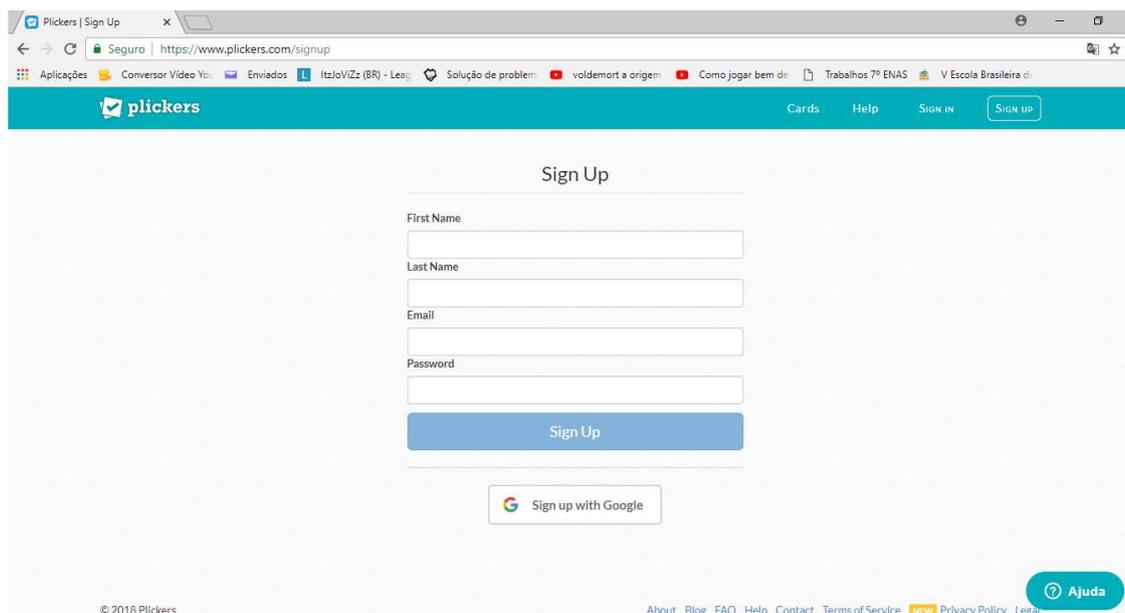
Fonte: <<https://www.plickers.com/>>

### COMO ACESSAR?

- **1º passo:** acesse o endereço eletrônico do *Plickers*.  
<<https://www.plickers.com/>>
- **2º passo:** clique no canto superior direito em *SIGN UP*.
- **3º passo:** preencha os campos em branco na seguinte ordem:
  - Nome;
  - Sobrenome;
  - E-mail;
  - Senha.

**Obs.:** se você já possui uma conta Google, seu acesso é facilitado!

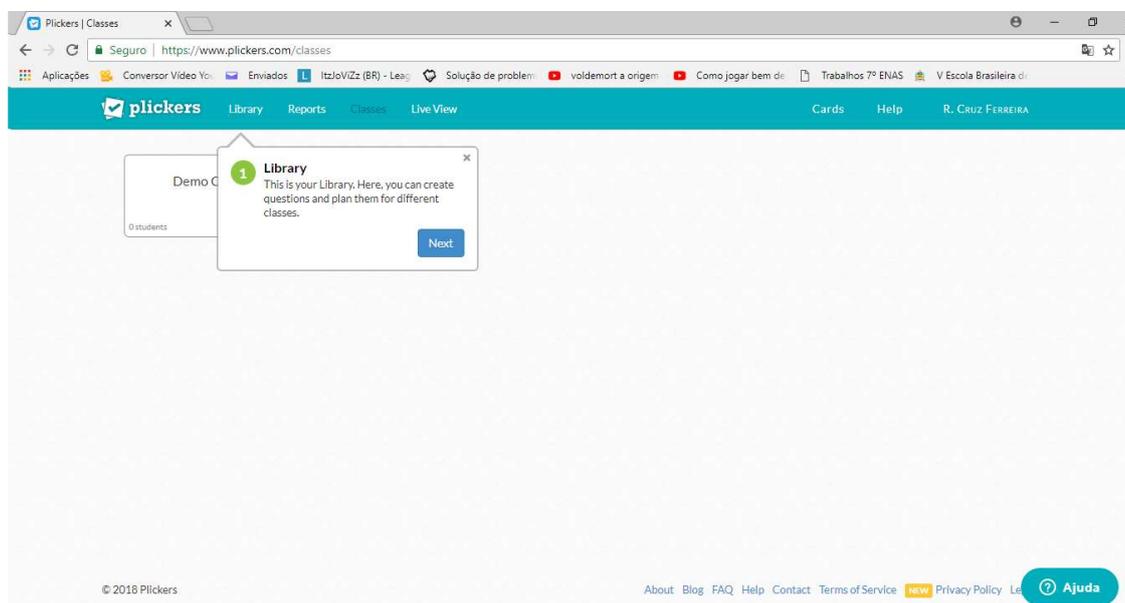
**Figura 15: Tela *Sign in* do aplicativo.**



Fonte: plickers.com

- **4º passo:** após efetuar seu *login*, acompanhe a apresentação de cada setor.

**Figura 16: Tela *Library* do aplicativo.**



Fonte: plickers.com

### 1) Biblioteca

Esta é sua biblioteca. Aqui, você pode criar questões e planejá-las para diferentes turmas.

### 2) Relatório

Visualize seus resultados completos em Relatórios.

### 3) Turmas

Crie e gerencie suas turmas aqui.

### 4) Visualização ao Vivo

Exibe perguntas e resultados em tempo real para alunos com o *Live View*.

### 5) Cartões

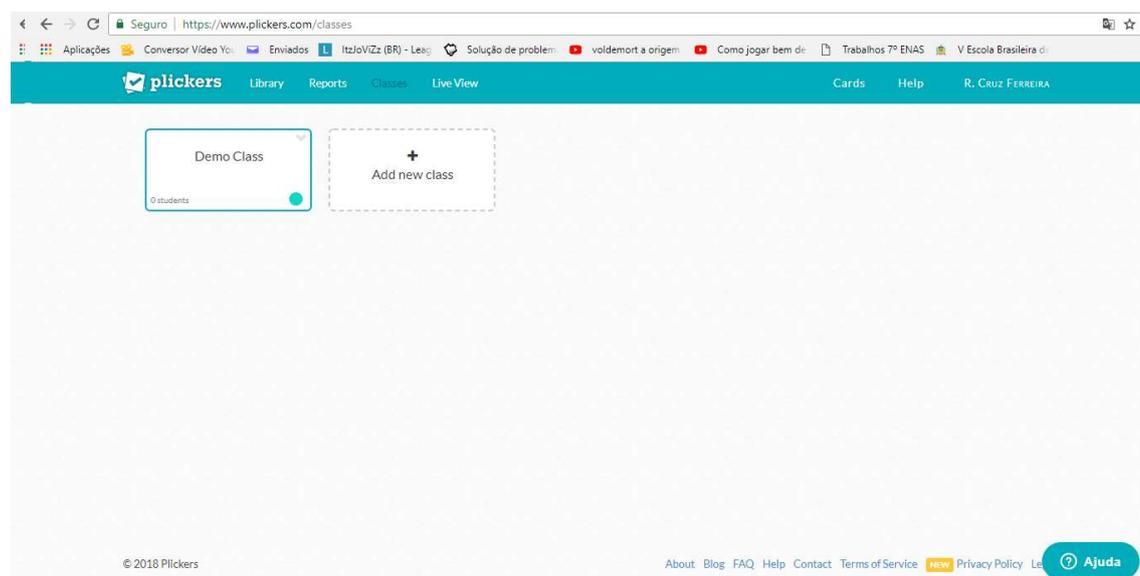
Visualize opções de cartão para impressão.

### 6) Ajuda

Encontre mais informações sobre como começar aqui!

- **5º passo:** vá em frente e crie sua turma utilizando a opção *Demo Class* na aba *Classes*!

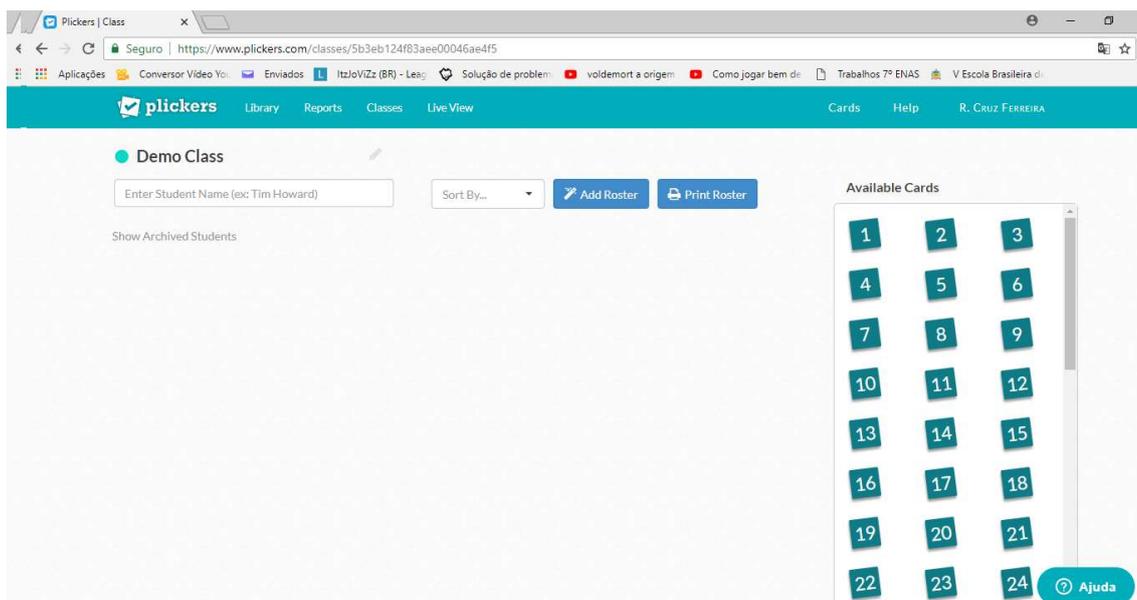
**Figura 17: Tela *Classes* do aplicativo.**



Fonte: plickers.com

- **6º passo:** crie sua(s) turma(s)!  
Após clicar em *Demo Class*, insira o nome do aluno no espaço *Enter Student Name*.

**Figura 18: Tela *Demo Class* do aplicativo.**



Fonte: plickers.com

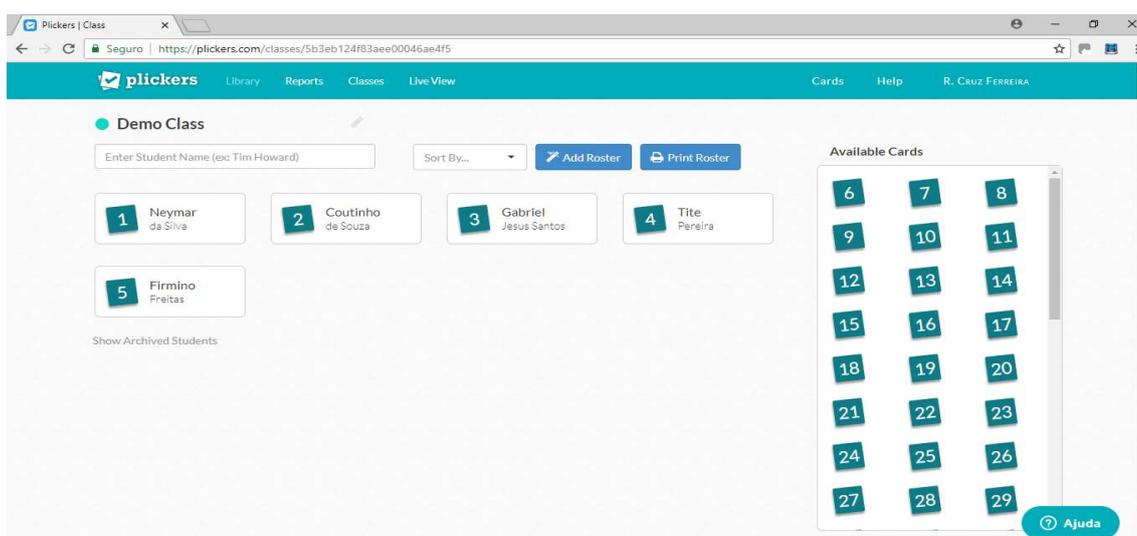
Você também pode usar a opção *ADD ROSTER* (Adicionar lista) para criar uma turma, adicionando todos os nomes dos alunos de uma vez.

Após digitar o nome dos alunos, clique na opção *SAVE* (Salvar).

**Obs.:** para cada aluno é atribuído um número que será útil mais à frente no que se refere ao seu cartão individual.

- **7º passo:** é hora de criar suas questões! Para isso, clique na opção *Library*.

**Figura 19: Inserção dos alunos na turma escolhida.**



Fonte: plickers.com

Você pode utilizar a opção *NEW QUESTION (Nova Questão)* para criar uma questão. No entanto, é aconselhável que se crie uma pasta (na opção *NEW FOLDER – Nova Pasta*), a fim de armazenar as questões por tema em comum.

Insira o nome da pasta no local selecionado, clicando, posteriormente, na opção *SAVE (Salvar)*.

Agora, selecione a pasta criada para adicionar as questões.

Com a pasta acessada, é possível adicionar novas questões, utilizando a opção *NEW QUESTION (Nova Questão)*.

Digite sua pergunta na caixa de texto fornecida. Além da questão, você pode incluir imagens nas suas perguntas selecionando a opção *ADD IMAGE – Adicionar imagem* – no canto inferior direito da caixa de texto.

Após digitar sua pergunta, selecione a opção *MULTIPLE CHOICE (Múltipla Escolha)* ou *TRUE/FALSE (Verdadeiro/Falso)* e coloque as opções de resposta nas caixas de texto inferiores.

Indique a alternativa correta, selecionando uma das caixas na opção *CORRECT (Correta)* e clique em *SAVE (Salvar)* para finalizar ou em *SAVE AND CREATE NEW (Salvar e Criar Novo)* para inserir uma nova questão.

Utilize a caixa de texto para digitar uma nova questão de verdadeiro ou falso, selecionando novamente a resposta correta e finalizando em *SAVE (Salvar)*.

Agora, escolha a turma para a qual será disponibilizada a questão, clicando na opção *ADD TO QUEUE*. Realize o mesmo procedimento para a questão seguinte.

Abaixo, estão dispostas as questões que foram utilizadas no aplicativo *Plickers* e que fazem parte da intervenção didática Luz e visão.

## Questionário Interativo Plickers- Luz e Visão

- 1- Diante de tantos "personagens" no processo da visão, qual seria o protagonista desse evento?
- a) O olho
  - b) A luz
  - c) O cérebro
  - d) O objeto
- 2- Por que a vitamina A é fundamental para o sentido da visão?
- a) Porque o derivado dela serve como reserva de energia, que será usada para transformar a molécula cis em trans.
  - b) Porque ela proporciona energia às células fotossensíveis.
  - c) Porque a molécula de rodopsina é composta por um derivado da vitamina A e é essa molécula que é responsável pela transformação dos impulsos luminosos em elétricos.
  - d) Porque quando ela é quebrada, libera energia, sendo conduzida pelo nervo ótico ao cérebro.
- 3- No experimento com o laser e o fio de cabelo, foi possível observar com nitidez dois fenômenos característicos de ondas. São eles:
- a) Difração e interferência
  - b) Interferência e refração
  - c) Reflexão e difração
  - d) nenhuma das anteriores
- 4- Os bastonetes são células fotorreceptoras que estão presentes em maior número em nossa retina e são responsáveis pela visão em cores.
- a) Verdadeiro
  - b) Falso
- 5- No século XVII, duas teorias sobre a natureza da luz ganharam dois importantes adeptos. Quais são elas?
- a) Da Vinci: ondas e Newton: corpúsculos
  - b) Huygens: ondas eletromagnéticas e Newton: corpúsculos
  - c) Aristóteles: partícula e Da Vinci: ondas
  - d) Huygens: ondas e Newton: partícula

6- Os cones são células fotossensíveis à luz nas cores primárias, responsáveis por uma visão melhor diurna.

- a) Verdadeiro
- b) Falso

7- A dualidade onda-partícula da luz pode ser explicada como:

- a) A luz pode ser onda ou pode ser partícula.
- b) A luz tem característica de onda mecânica e de partícula ao mesmo tempo.
- c) A luz é onda e partícula. Depende do observador.
- d) A luz é onda e partícula. Depende da intensidade luminosa e se a luz é monocromática, como o laser.

8- Fótons são pacotes de luz.

- a) Verdadeiro
- b) Falso

9- O efeito fotoelétrico tem várias aplicações em nosso dia a dia, um exemplo é:

- a) a lâmpada fluorescente.
- b) porta automática do shopping.
- c) o laser.
- d) os carros modernos de injeção eletrônica.

10- Por que nossos olhos não detectam a maior parte do espectro eletromagnético?

- a) Porque todos esses fótons são absorvidos antes de chegar à retina.
- b) Porque os fótons absorvidos possuem energia inferior a limite.
- c) Porque os fótons com energia superior não iniciam uma reação fotoquímica.
- d) Porque esses fótons não possuem energia suficiente para gerar uma reação fotoquímica ou são absorvidos antes de chegar à retina.

11- Em relação à função de algumas estruturas do olho, qual das alternativas abaixo está correta?

- a) retina- formação da imagem.
- b) esclera- responsável pela cor dos olhos.
- c) pupila- estrutura responsável pela transformação de luz em impulsos elétricos.
- d) íris- controle da luminosidade.

12- Na visão, quando a luz atravessa nossas lentes, ela sofre diversas refrações até chegar à retina.

- a) Verdadeiro
- b) Falso

13- Em 2015, uma fotografia compartilhada na rede social twitter trouxe muitas dúvidas a quem a observasse. A foto de um vestido trazia a seguinte questão quanto a suas cores: "azul e preto" ou "branco com dourado"? Essa confusão pode ser explicada por:



- a) daltonismo.
- b) interpretação pessoal
- c) falta de objetividade
- d) ilusão de ótica

14- Sobre o daltonismo, é correto afirmar:

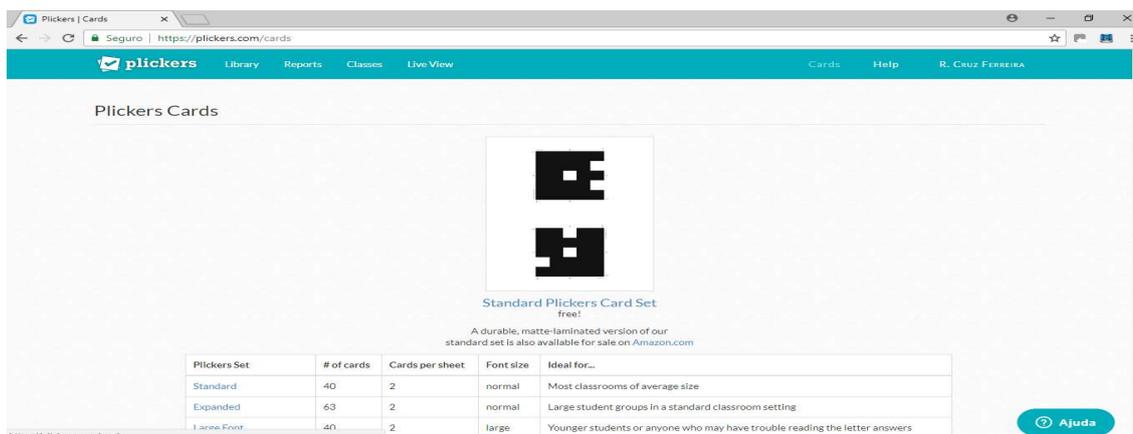
- a) O Daltonismo está geneticamente ligado ao cromossoma X, ocorrendo mais frequentemente entre as mulheres.
- b) O Daltonismo é uma perturbação da percepção visual caracterizada pela incapacidade de diferenciar todas ou algumas cores.
- c) O daltonismo foi estudado primeiramente pelo químico Jonas Dalton, portador dessa doença.
- d) O teste de Ishihara é um dos testes menos eficaz para detectar a cegueira das cores.

15- Todos os animais enxergam da mesma maneira, ou seja, na mesma faixa do espectro eletromagnético.

- a) Verdadeiro
- b) Falso

- **8º passo:** impressão dos cartões individuais.

**Figura 20: Cartões individuais disponíveis no *Plickers*.**



Fonte: plickers.com

Para imprimir os cartões individuais, selecione a aba *CARDS* (*Cartões*) no canto superior direito da página do *Plickers*, escolhendo devidamente o conjunto de cartões que melhor se adequa a sua classe por meio da opção *PLICKERS SET*.

O site oferece o conjunto de cartões abaixo:

- Conjunto de cartões *STANDARD* → ideal para salas de aula de tamanho médio.
- Conjunto de cartões *EXPANDED* → ideal para grandes grupos de alunos em um ambiente de sala de aula padrão.
- Conjunto de cartões *LARGE FONT* → ideal para indivíduos que tenham dificuldades em ler as respostas da carta.
- Conjunto de cartões *LARGE CARDS* → ideal para salas de aula ou auditórios amplos (Nota: cartões maiores podem bloquear os cartões de outros alunos).
- Conjunto de cartões *LARGE CARDS EXPANDED* → ideal para grandes grupos de estudantes em salas de aula amplas (Nota: cartões maiores podem bloquear os cartões de outros alunos).

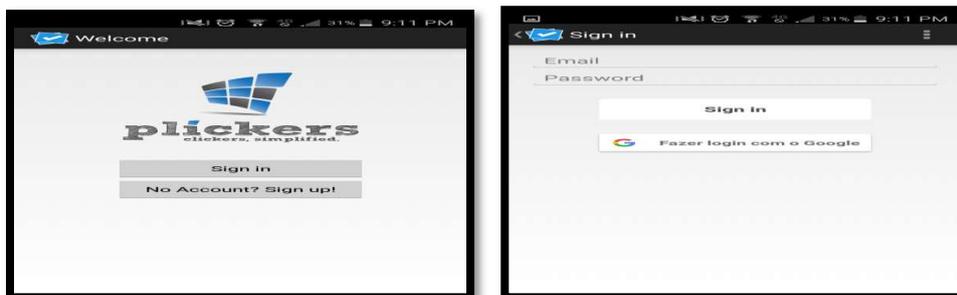
O aplicativo permite o cadastro de turmas que possuam um limite de até sessenta e três estudantes.

Vale destacar que, cada cartão tem um número exclusivo que será atribuído individualmente ao aluno correspondente.

- **9º passo:** projeção das questões no *Live View*.

A opção *LIVE VIEW (EXIBIÇÃO AO VIVO)*, sugere que seja selecionada uma pergunta no aplicativo *Plickers* iOS/Android para projetar na sua turma. Para isso, é preciso que o *Plickers* já esteja instalado em seu dispositivo móvel.

**Figura 21: Tela do *Plickers* no dispositivo móvel.**



Fonte: Autoria própria.

Ao abrir o aplicativo em seu celular, aparecerá a opção *SIGN IN* (Entrar) para você efetuar seu login.

Usando o aplicativo móvel, selecione a turma para qual irá realizar uma pergunta (no nosso caso, a *DEMO CLASS*) e, posteriormente, escolha a questão que você deseja usar. Neste momento, a questão será imediatamente projetada no *Live View*.

Agora, você pode observar sua pergunta selecionada tanto na tela do celular quanto na do computador.

Antes de realizar a leitura dos cartões individuais, certifique-se de esconder as respostas dos alunos na opção *HIDE PAINEL* (*Esconder Painel*).

O *Live View* também permite que os professores compartilhem os resultados em tempo real com a turma. Enquanto é realizada a leitura das respostas, a aba *Live View* no site é atualizada mostrando quais alunos responderam. Ao clicar na opção *REVIEW ANSWER* (*Revelar Resposta*) é possível visualizar as respostas dadas pelos alunos, bem como os resultados em forma de gráfico.