

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO

IRIS NAILE MATERÁN PAREDES

**CARACTERIZAÇÃO DA ÓPTICA PARA A APRENDIZAGEM DA FÍSICA
MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA FORMAÇÃO DO PROFESSOR DE FÍSICA**

UBERLÂNDIA

2023

IRIS NAILE MATERÁN PAREDES

**CARACTERIZAÇÃO DA ÓPTICA PARA A APRENDIZAGEM DA FÍSICA
MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA FORMAÇÃO DO PROFESSOR DE FÍSICA**

Tese apresentada ao **Programa de Pós-Graduação em Educação** da **Universidade Federal de Uberlândia**, como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Educação**.

Área de concentração: Educação em Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Rogério Vargas Ustra.

UBERLÂNDIA

2023

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

P227 Paredes, Iris Naile Materán, 1983-
2023 Caracterização da óptica para a aprendizagem da física
moderna e contemporânea na formação do professor de
física [recurso eletrônico] / Iris Naile Materán
Paredes. - 2023.

Orientador: Sandro Rogério Vargas Ustra.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Educação.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2023.423>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Educação. I. Ustra, Sandro Rogério Vargas, 1969-
(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-
graduação em Educação. III. Título.

CDU: 37

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Educação
 Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1G, Sala 156 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 3239-4212 - www.ppged.faced.ufu.br - ppged@faced.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Educação				
Defesa de:	Tese de Doutorado Acadêmico, 24/2023/367, PPGED				
Data:	Vinte e oito de julho de dois mil e vinte e três	Hora de início:	14h	Hora de encerramento:	18h30min
Matrícula do Discente:	11913EDU022				
Nome do Discente:	IRIS NAILE MATERÁN PAREDES				
Título do Trabalho:	"Caracterização da Óptica para a Aprendizagem da Física Moderna e Contemporânea na Formação do Professor de Física"				
Área de concentração:	Educação				
Linha de pesquisa:	Educação em Ciências e Matemática				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	"Apoio à prática pedagógica do professor de Ciências/Física"				

Reuniu-se, através da sala virtual RNP (<https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/sandro-rogerio-vargas-ustra>), da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Educação, assim composta: Professores Doutores: Jesuína Lopes de Almeida Pacca - USP; José Rildo de Oliveira Queiroz - UFG; Emerson Luiz Gelamo - UFU; Fabiana Fiorezi de Marco Matos - UFU; Sandro Rogério Vargas Ustra - UFU, orientador da candidata.

Iniciando os trabalhos, o presidente da mesa, Dr. Sandro Rogério Vargas Ustra, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir, o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar, foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que, após lida e achada conforme, foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Sandro Rogério Vargas Ustra, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/07/2023, às 18:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Emerson Luiz Gelamo, Administrador(a)**, em 28/07/2023, às 19:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabiana Fiorezi de Marco Matos, Professor(a) do Magistério Superior**, em 31/07/2023, às 11:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Rildo de Oliveira Queiroz, Usuário Externo**, em 31/07/2023, às 17:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **JESUÍNA LOPES DE ALMEIDA PACCA, Usuário Externo**, em 10/08/2023, às 09:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4686705** e o código CRC **DBFB59E9**.

A minha filha Sophia Nazareth.

A Meus Pais: Cipriano, Coromoto, Elvira e Victor.

A meu querido Juan Ramón e a todos meus amados sobrinhos.

AGRADECIMENTOS

É com imensa gratidão e entusiasmo que inicio esta tese, resultado de anos de dedicação, perseverança e oportunidades que me foram concedidas. Permitam-me compartilhar com vocês a jornada que me trouxe até aqui, no contexto de um doutorado em Educação em um país distante do meu lar. Esta jornada não teria sido possível sem o apoio inestimável de pessoas que acreditaram em mim e a Organização dos Estados Americanos (OEA) – que me brindara a oportunidade de continuar minha formação profissional.

Agradeço a Deus e ao Universo por conseguir essa nova meta na minha vida profissional e pessoal. À minha filha Sophia, que tem sido minha fonte inesgotável de inspiração e motivação juntamente com meu companheiro de vida Álvaro, com quem embarquei nesta aventura, longe de nosso lar, agradeço por compreenderem minhas ausências, seus apoios me deram forças para superar obstáculos, perseverar e seguir em frente durante os momentos desafiadores.

À minha família que mesmo à distância, mantém-me em suas orações e enviam suas bênçãos para a realização de minhas metas profissionais, assim como todas as pessoas que me apoiaram ao longo desta jornada. À família Medina Cegarra, que me apoiou neste empreendimento.

À minha querida cunhada Anggi e meus amigos Fidel, Yusmary Cariaco e Lisbeth Segovia obrigada pela colaboração desinteressada e valiosa que me ofereceram nos momentos que precisei para a realização deste sonho.

Ao meu estimado professor Hebert Lobo que sempre esteve ao meu lado em minha jornada profissional e acadêmica, oferecendo seus conselhos, orientações e até mesmo puxões de orelha, sou infinitamente grata. Os meus queridos professores do CRINCEF Gladys, Elsy, Manuel, Jesús (in memoriam) e ao professor Fernando seus ensinamentos e conselhos sempre estiveram presentes nessa jornada.

Também gostaria de expressar minha sincera gratidão ao meu tutor, Sandro Ustra, pela orientação e apoio contínuo ao longo desta pesquisa. Seus conhecimentos, ideias e

compromisso foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua orientação ajudou a expandir meus horizontes acadêmicos e a aprimorar minha compreensão sobre o conhecimento científico referido à física e sua filosofia.

À banca examinadora de qualificação, professores Dr. Hebert Lobo, Dra. Jesuína L. A. Pacca, Dr. Rildo Queiroz, Dr. Emerson L. Gelamo, Dra. Fabiana Fiorezi de Marco, expresso minha gratidão por estarem dispostos a contribuir para tornar este trabalho de pesquisa uma contribuição importante na área de ensino de física.

Aos professores e estudantes do INFIS-UFU que participaram desta investigação, sem eles não tivesse sido possível a culminação da mesma, em especial ao Professor Ademir e a Heloisa Batista, sua ajuda para a coleta de dados da pesquisa foi inestimável.

Da mesma forma, expresso minha profunda gratidão à FAPEMIG e ao Brasil, por terem me concedido a oportunidade de realizar meus estudos de doutorado através da concessão da bolsa de estudos, foi um privilégio que mudou minha vida e abriu as portas para uma jornada de conhecimento e crescimento pessoal.

Por fim, gostaria de me agradecer a mim mesma. Agradeço por nunca ter desistido, mesmo diante dos desafios e momentos de incerteza. Acreditar em meu potencial e persistir na busca pelo conhecimento foram fatores determinantes para chegar até aqui. Essa jornada me ensinou a importância da resiliência e da autoconfiança, e sou grata por ter tido a coragem de enfrentar as adversidades e não desistir.

Àqueles que mencionei especificamente, assim como a todos que de alguma forma contribuíram para a minha jornada acadêmica, meu profundo agradecimento. Sem vocês, este trabalho não teria sido possível. Espero que esta dissertação possa ser uma pequena contribuição para o campo da formação de professores de física e para a construção de um futuro melhor.

Iris Naile

O senso comum está sob o princípio do prazer: busca uma clareza imediata na intuição, na linguagem ou nas imagens. A única saída então é a ironia (zombar de si mesmo).

Astolfi, El error un medio para enseñar, 2003.

"Libertar-se dos preconceitos é abrir as portas do conhecimento, permitindo que a mente se expanda e se conecte livremente com as possibilidades do mundo."

Gaston Bachelard, A formação do espírito científico, 1996.

RESUMO

As mudanças na atualidade demandam que os sistemas educativos se posicionem criticamente e avancem. A Universidade deve permanecer na vanguarda das mudanças científicas e tecnológicas. Os programas de formação de professores têm a necessidade urgente de reformar-se para atender às demandas num mundo em constante transformação, mas também para produzir novos contextos. A forma como é enfrentada essa tarefa requer uma nova forma de pensar e produzir conhecimentos. Neste cenário, esta pesquisa teve como objetivo geral caracterizar, por meio de uma investigação qualitativa, as contribuições da óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea, a partir da abordagem epistemológica de Bachelard, na formação de professores de física da Universidade Federal de Uberlândia. As ideias bachelardianas de obstáculos epistemológicos, rupturas epistemológicas, erro e recorrência histórica são analisadas, tomando como elo condutor, a evolução do conceito de Luz, na história da física e da óptica em particular, com a finalidade de compreender como é que os conteúdos da disciplina de óptica (no caso, Física IV) contribuem para favorecer a aprendizagem dos conceitos de física moderna e contemporânea. Para atender aos objetivos da pesquisa, foram arguidos professores e estudantes do curso de licenciatura de física, para desvendar como é que eles entendem esta relação. Nos resultados mais importantes da pesquisa, se podem citar que, ainda os envolvidos no processo educativo de formação de professores de física, entendam a importância das ideias da óptica para a construção da aprendizagem em física moderna, para uma compreensão mais profunda e significativa, a óptica junto com a história da física, permanecem como um apêndice no desenvolvimento dos diversos conteúdos de física. Por tanto, consideramos importante sugerir, para integrar junto aos conteúdos de física, a epistemologia bachelardiana como elemento norteador para a reflexão e construção ativa de conhecimentos.

Palavras-chave: Educação em Ciências, Epistemologia Bachelardiana, Ensino-Aprendizagem de Óptica, Física Moderna e Contemporânea.

ABSTRACT

Current changes require educational systems to take a critical position and move forward. Universities must remain at the forefront of scientific and technological changes. Teacher education programs urgently need to reform themselves to meet the demands of a constantly changing world, but also to produce new contexts. The way this task is faced requires a new way of thinking and producing knowledge. In this scenario, the general objective of this research was to characterize, through qualitative investigation, the contributions of optics to the learning of modern and contemporary physics from the epistemological approach of Bachelard, in the teacher education of physics at the Federal University of Uberlândia. Bachelardian ideas of epistemological obstacles, epistemological ruptures, error, and historical recurrence are analyzed, taking as a guiding thread the evolution of the concept of light in the history of physics, particularly in optics. The aim is to understand how the contents of the optics discipline (in this case, Physics IV) contribute to facilitating the learning of concepts in modern and contemporary physics. To achieve the research objectives, a study was conducted with teachers and students in the physics teacher education program to uncover their understanding of this relationship. Among the most important findings of the research, it is evident that those involved in the educational process of physics teacher education recognize the importance of optics ideas for constructing learning in modern physics. However, optics, along with the history of physics, remains as an appendix in the development of various physics contents. Therefore, it is considered important to empower teachers to integrate Bachelardian epistemology as a guiding element for reflection and active knowledge construction in conjunction with physics content.

Keywords: Science Education, Bachelardian Epistemology, Optics Teaching and Learning, Modern and Contemporary Physics.

LISTA DE IMAGENS

Figura 1- Perfil epistemológico, noção pessoal de massa	35
Figura 2. Perfil epistemológico, noção pessoal de energia.....	36
Figura 3. Triângulo Pedagógico.	54
Figura 4. Fases da pesquisa por análise documental.	99
Figura 5. Nuvem de Palavras- Teses	108
Figura 6- Conceitos e livros de Bachelard usados nas pesquisas de doutorado	115
Figura 7- Livros de Bachelard citados em Teses Doutoriais	117
Figura 8. Livros de Bachelard citados em Dissertações de Mestrado	123
Figura 9. Disciplinas Analisadas na Pesquisa	134
Figura 10. Rede experimentos desenvolvidos na disciplina, questionário alunos.....	144
Figura 11. Rede estratégias e atividades experimentais desenvolvidos na disciplina, professores	145
Figura 12- Importância da óptica na formação do professor de física (professores)	147
Figura 13-Importância da óptica para a formação de professores- estudantes.....	148
Figura 14. Rede Importância da matemátização na óptica- estudantes	151
Figura 15-Rede dificuldades na óptica- visão professores	153
Figura 16. Rede dificuldades na óptica- estudantes	154
Figura 17-Relação da óptica com a física moderna e contemporânea-professores.....	158
Figura 18- Relação Óptica e Física Moderna, estudantes	159
Figura 19- Rede de eventos pico professores	160
Figura 20- Rede Eventos Picos Estudantes	163
Figura 21. Percepção da história da ciência, estudantes.....	165

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.- Tipologia dos erros.....	53
Quadro 2. -Disciplinas que compõem o Núcleo 1.....	86
Quadro 3. - Disciplinas que compõem o Núcleo 2.....	87
Quadro 4. - Disciplinas optativas da Licenciatura de Física.....	88
Quadro 5. -Teses de Doutorado.....	110
Quadro 6. Dissertações de Mestrado.....	118
Quadro 7. Artigos em Periódicos Científicos.....	126
Quadro 8. Categorias de análise.....	136

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1. Artigos da plataforma SciELO, Brasil.....	106
Gráfico N° 2. Trabalhos de Mestrado e Doutorado por Universidade Federal.....	111
Gráfico N° 3. Número de trabalhos de doutorado por categoria.....	112
Gráfico N° 4. Total de Doutorado e Mestrado por Ano.....	120
Gráfico N° 5. Trabalhos Mestrado por Categoria.....	121
Gráfico N° 6. Artigos por categoria.....	125

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CAPES- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CDCHTA-ULA- Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico, Tecnológico e Artístico de la Universidad de Los Andes
- CNE/CP- Conselho Nacional De Educação/ Conselho Pleno
- CNS- Conselho Nacional de Saúde
- CRES- Conferencia Regional de Educación Superior
- CRIHES- Centro Regional de Investigaciones Humanísticas, Económicas y Sociales
- CRINCEF- Centro Regional de Investigación en Ciencias, su enseñanza y Filosofía.
- FAPEMIG- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
- ICENP -Instituto de Ciências Exatas e Naturais do Pontal
- INFIS- Instituto de Física
- Museu DICA – Diversão com Ciência e Arte
- NURR- Núcleo Universitario Rafael Rangel
- OEA- Organización de Estados Americanos
- PPG- Programa de Pós-graduação
- TCLE -Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
- UEM- Universidade Estadual de Maringá
- UESP- Universidade Estadual de São Paulo
- UFABC- Universidade Federal ABC
- UFG- Universidade Federal de Goiás
- UFMS- Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
- UFPA-Universidade Federal de Pará;
- UFRGS: Universidade Federal de Rio Grande do Sul
- UFSC- Universidade Federal de Santa Catarina
- UFU- Universidade Federal de Uberlândia
- ULA- Universidad de Los Andes- Venezuela
- UnB- Universidade de Brasília
- UNESP- Universidade Estadual de São Paulo;
- UNIFEI-Universidade Federal de Itajubá;
- USP- Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

MOTIVAÇÕES	16
1. O PROBLEMA	19
1.1. INTRODUÇÃO	19
1.2. O PONTO DE PARTIDA: as pontes conceituais e a abordagem histórica na compreensão da óptica e da física moderna.....	20
1.3. PROBLEMA E OBJETIVOS DA PESQUISA	25
1.4. ESTRUTURA DA TESE.....	26
2. MARCO REFERENCIAL DA PESQUISA	27
2.1. NAVEGANDO PELOS LABIRINTOS DA MENTE: Gaston Bachelard e sua Filosofia da Ciência	27
2.2 A EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD: filosofia e epistemologia da Ciência	28
2.3 OS PERFIS EPISTEMOLÓGICOS E AS NOÇÕES NA EPISTEMOLOGIA BACHELARDIANA.....	34
2.4 OBSTÁCULOS E EQUIVOCOS NA CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO.....	40
2.5. BREVE DESCRIÇÃO DOS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS	44
2.6. OS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS E SUA RELAÇÃO COM A ÓPTICA E A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA	48
2.7. CONEXÕES ENTRE TEORIAS DE APRENDIZAGEM E EPISTEMOLOGIA BACHELARDIANA	50
3. HISTÓRIA DA ÓPTICA E SUAS IMPLICAÇÕES DIDÁTICAS	55
3.1. A PERSPECTIVA HISTÓRICA DA ÓPTICA.....	55
3.2. PRIMEIRAS IDEIAS SOBRE A NATUREZA DA LUZ	56
3.3. OUTROS CONTEXTOS DA NATUREZA DA LUZ: Os Séculos XVII E XVIII	62
3.4. A CONQUISTA DA TEORIA ONDULATÓRIA: O Século XIX	68
3.5. A DUALIDADE ONDA- PARTÍCULA: O Século XX	73
4. FORMAÇÃO DE PROFESSORES E CURRÍCULO DE LICENCIATURA DE FÍSICA.....	76
4.1. A FORMAÇÃO DE PROFESSORES E O ENSINO DE ÓPTICA: os saberes na formação do professor de física	76

4.2. O CURSO DE LICENCIATURA DE FÍSICA DO INSTITUTO DE FÍSICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA (INFIS-UFU)	81
4.3. CONTEÚDOS DE ÓPTICA CONSIDERADOS RELEVANTES COM BASE NA EXPERIÊNCIA PARA A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA.....	90
5. PERCURSO METODOLÓGICO DA PESQUISA	93
5.1. NATUREZA E MÉTODO DE ANÁLISE	93
5.2. CRITÉRIOS DE INCLUSÃO/EXCLUSÃO	102
5.3. RISCOS E BENEFÍCIOS	102
6. RESULTADOS E ANÁLISES	104
6.1. RESULTADOS: LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	104
Teses Doutorais.....	109
Dissertações de Mestrado	118
Artigos em Revistas Científicas.....	124
6.2. ABORDAGEM DA ÓPTICA NO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA.....	134
6.3. O TRABALHO DE CAMPO: QUESTIONÁRIOS E ENTREVISTAS.....	141
6.4 SABERES DISCIPLINARES; CURRICULARES E FORMAÇÃO DE PROFESSORES	142
CONSIDERAÇÕES FINAIS	167
REFERÊNCIAS	174
APÊNDICES	186
QUESTIONÁRIO/ESTUDANTE	186
ROTEIRO PARA ENTREVISTA/ESTUDANTE	187
QUESTIONÁRIO/PROFESSOR	188
ROTEIRO PARA ENTREVISTA/PROFESSOR	189
EMENTAS DAS DISCIPLINAS	190

MOTIVAÇÕES

As transformações ocorridas no mundo exigem que os professores estejam sempre buscando aprimoramento contínuo. Os temas abordados na didática da física são sempre de natureza muito diversa e as diferentes epistemologias e filosofias da ciência nos mostram como a maioria das questões permanecem relevantes. Durante minha trajetória como professora, me apaixonei por várias questões, especialmente pelo estudo de filosofias que lidam com mudanças de paradigma, aprendizagem complexa e o próprio progresso do conhecimento científico me levou a me aprofundar no estudo das teorias newtonianas, reconhecendo sua importância histórica para o avanço da física, apesar de serem superadas atualmente, ainda que sua validade e importância continuam vigentes.

Após minha experiência como professora e a realização do mestrado em ensino de física, na Universidade Pedagógica Experimental Libertador na Venezuela, senti a necessidade de direcionar minha atenção para tópicos mais contemporâneos. O desenvolvimento de estratégias de ensino para abordar o estudo do efeito fotoelétrico e outros temas relacionados à física moderna me levou a repensar meu percurso profissional. Adicionalmente, as demandas de trabalho também me mostraram um estímulo para uma revisão de minha trajetória.

Além disso, no contexto da Universidade de Los Andes (ULA) na Venezuela, uma reforma curricular em 2012-2013 foi implementada com o propósito de alinhar os planos de estudo às evoluções no cenário educacional. Essa reforma teve como base o Modelo Educativo da ULA, que fora aprovado em 2009. Esse modelo enfatizava a formação integral dos estudantes, promovendo o desenvolvimento de competências genéricas e específicas, capacitando-os para uma atuação ética, crítica, criativa e solidária na sociedade. Paralelamente, a reforma curricular seguiu as diretrizes estabelecidas pelo Sistema de Créditos Acadêmicos da referida Universidade, que definiu critérios para a organização curricular, carga horária e avaliação dos estudantes. É importante ressaltar que a reforma curricular em 2012-2013 foi um processo democrático e participativo, e o resultado desse processo foi a atualização e

aprimoramento dos currículos das carreiras oferecidas pela ULA, refletindo o compromisso da instituição com a oferta de uma educação superior de qualidade e relevância na Venezuela.

Esse período de reforma curricular coincide com meu percurso no mestrado, o que me permitiu identificar a necessidade de reestruturar o programa da disciplina de óptica e ondas da licenciatura em educação menção física e matemáticas do Núcleo Universitário Rafael Rangel (NURR) da Universidade dos Andes. A reformulação foi abrangente, seguindo uma abordagem centrada no desenvolvimento de competências de aprendizagem. No entanto, notou-se que as estratégias delineadas priorizaram predominantemente os conceitos de óptica geométrica, com apenas uma abordagem limitada à óptica física. Este cenário provocou uma reflexão profunda e levou a discussões construtivas com colegas e amigos, gerando uma inquietação quanto à maneira como alunos e professores constroem sua compreensão do modelo da dualidade onda-partícula.

Durante todas essas reflexões existiram outros temas que nortearam as pesquisas no percurso de meu trabalho, levando a considerar as questões filosóficas e científicas de outros conceitos abordados em física, como por exemplo, *o tempo*. Daí em julho do ano 2017, surgiu o foro “A Eternidade do Tempo”, como parte de um capítulo do seminários em tópicos da Ciência, organizado pelo Centro Regional de Investigação em Ciência, seu ensino e filosofia (CRINCEF) do NURR-ULA, onde se debateu este tema desde diversos pontos de vista que englobam esta noção de tempo em vários níveis e concepções, tanto de ponto de vista físico, químico, matemático, psicológico e religioso, convergindo em um intercâmbio de ideias engenhosas e estimulantes para a reflexão educativa e construção do conhecimento.

Também no curso de minhas reflexões e a mesma dinâmica cotidiana profissional, me levaram a pesquisar sobre um tema muito importante em didática da física como é o tema referido a avaliação em matemáticas e física na educação média. A partir disso surgiu no seio do Centro de Investigação em Ciências, seu Ensino e Filosofia (CRINCEF) a elaboração de um projeto de tipo A, do Conselho de Desenvolvimento Científico, Humanístico, Tecnológico e Artístico da Universidade dos Andes (CDCHTA-ULA) para abordar este tema, que finalizou com a publicação de artigos científicos, como por exemplo na revista AGORA- Revista do Centro Regional de Pesquisas Humanísticas Econômico e Social (CRIHES) gerando aportes nesta área tão importante no processo de ensino-aprendizagem da física.

Desde então, refletindo sobre o produto proposto e nas discussões com colegas e amigos, surgiu a preocupação em conhecer o processo cognitivo pelo qual alunos e professores aprendem o modelo da dualidade onda-partícula, e como a disciplina de óptica pode contribuir para o aprendizado da física moderna e contemporânea; então embarquei em uma nova aventura, para entender como é que as pessoas constroem seu aprendizado sobre a natureza da luz, e as obras da epistemologia de Bachelard, oferece uma perspectiva interessante para abordar esse desafio e contribuir para o desenvolvimento de melhores estratégias de ensino nessa área.

1. O PROBLEMA

“A ciência não corresponde a um mundo a ser descrito.
Corresponde a um mundo a ser construído”

Bachelard (1965, p. 47)

1.1. INTRODUÇÃO

Propomos estudar as potencialidades que a epistemologia e a filosofia da ciência têm na formação de professores de física e a forma como eles constroem seus conhecimentos, partindo da hipótese de que o desenvolvimento de conteúdos de óptica em geral, favorece o aprendizado da física moderna e contemporânea e que seu tratamento histórico favorece o processo de conceituação dos alunos. A partir do contexto histórico da formulação da natureza da luz, foram identificadas as contribuições dos cientistas por meio de suas formulações e a identificação dos obstáculos epistemológicos que devem ser superados para o alcance dos objetivos, bem como as diferentes concepções sobre a formação docente são imprescindíveis para assumir esta tarefa.

Por outro lado, ao analisarmos o processo de aprendizagem, é relevante fazer referência às conclusões alcançadas sobre os obstáculos e limitações encontrados, bem como as qualidades promovidas, considerando o currículo de formação de professores e os livros didáticos utilizados para o estudo. Faz-se referência à natureza da luz como conceito norteador, uma vez que apresenta as principais características do estudo, ou seja, os obstáculos epistemológicos superados e remanescentes, os perfis epistemológicos, sua evolução histórica e a relação direta com os conteúdos conexos à física moderna e contemporânea.

A pesquisa serviu para revisar em profundidade a compreensão de professores e alunos sobre as contribuições da óptica para a aprendizagem e ensino da física moderna, esperamos encontrar indicadores de quais são os obstáculos que impedem que o conteúdo da física moderna se desenvolva melhor na formação acadêmica e, como resultado, sejam apresentados a alunos de educação média.

Os resultados da pesquisa poderiam ser vistos com interesse tanto pelos alunos de graduação quanto pelos responsáveis pela elaboração dos programas de pós-graduação em física e seus professores, pois eles seriam capazes de propor algumas estratégias que favoreçam o aprendizado desses conteúdos na Educação Básica e Média em geral, sempre que possível, superando insuficiências e incoerências na formulação dos currículos e programas das disciplinas, constituindo uma importante contribuição, adaptado à incerteza dos tempos e ao conhecimento atual dos saberes estudados, no que se refere aos avanços técnico-científicos que abrangem múltiplas áreas do conhecimento. Espera-se que os resultados da pesquisa sirvam de base para trabalhos posteriores, tomando como referencial teórico os descritos, bem como os aspectos metodológicos.

1.2. O PONTO DE PARTIDA: as pontes conceituais e a abordagem histórica na compreensão da óptica e da física moderna

De modo geral, aprender ciências é de vital importância para o desenvolvimento econômico e social dos povos. Muitas investigações na Espanha, México e regiões da América do Sul, são orientadas para elucidar as implicações, importância e dificuldades que os alunos apresentam para a aprendizagem de Ciências Naturais e Matemática. Como explicam Valdés e Valdés (1999), um dos objetivos da educação em ciências é transmitir às gerações os elementos essenciais da pesquisa científica adquiridos pela humanidade. Atualmente, estamos vivendo em uma sociedade invadida pela tecnologia, um exemplo disso é que a cada dia muitos dispositivos tecnológicos móveis chegam ao mercado (smartphones, computadores portáteis e ultra portáteis que integram tecnologias de miniaturização, sistemas de posicionamento global, tablets, entre outros), cujo funcionamento se baseia nas leis da física e permite o acesso à comunicação via tecnologias digitais.

Essa cultura científica e tecnológica é de grande relevância, mas não é a única. O homem, como aponta Morín (1990), criador da Teoria da Complexidade, é um ser biológico que possui a cultura que lhe permite diferenciar-se do primata mais básico. Sob essa concepção,

nos perguntamos por que é tão importante compreender conceitualmente os postulados e as leis da física? Nas palavras de Blanco (2004, p. 70) “a ciência é uma das maiores conquistas da nossa cultura e, portanto, todos os jovens devem ser capazes de compreendê-la e apreciá-la”, ou seja, devemos entender a ciência como produto da cultura da humanidade.

Nesse sentido, entender a cultura como uma produção da mente do homem, constitui um fator que contribui no desenvolvimento das sociedades, sendo assim, é importante reconhecer que a cultura abrange muito mais que a ciência e a tecnologia, engloba todas as formas de expressão do conhecimento humano e nesse contexto a compreensão das leis e postulados da física se torna relevante ao auxiliar na compreensão do mundo natural, pois adquirimos uma apreciação da complexidade e beleza do universo que nos rodeia, mas que vai além do simples conhecimento técnico, pois como mencionado por Blanco, sendo a ciência um dos mais notáveis feitos de nossa cultura e ao entendê-la com uma produção da mente humana, percebemos que o conhecimento científico é apenas uma peça do vasto conhecimento da humanidade, e sua compreensão nos permite participar ativamente da herança cultural que enriquece nossas vidas e influencia nosso futuro e, nessa relação recíproca o conhecimento científico impacta o desenvolvimento da cultura para enriquecê-la e impulsioná-la, favorecendo o constante avanço que estimula o progresso humano.

Por sua parte, o relatório da III Conferência de Educação Superior, CRES 2018, enfatizou a importância da produção de conhecimento científico e o papel crucial desempenhado pelas universidades latino-americanas nesse processo. Na década anterior à publicação desse relatório, testemunhamos um notável crescimento nas estatísticas relacionadas à formação e pesquisa, o que fortaleceu a conexão entre ciência, produção de conhecimento e sociedade. Esse progresso estava diretamente relacionado ao investimento contínuo no setor educacional, permitindo que a região mantivesse uma vantagem competitiva em relação a outros países industrializados e desenvolvidos.

No entanto, desde então, a América Latina enfrentou desafios significativos, incluindo crises econômicas e dificuldades financeiras que tiveram um impacto considerável sobre os investimentos em educação superior. Os dados mais recentes refletem uma tendência na redução desses investimentos, comprometendo a capacidade das universidades latino-americanas de continuar avançando na produção de conhecimento e na promoção da ciência. Essa redução nos recursos financeiros não apenas mina a pesquisa acadêmica, mas também

coloca em risco a competitividade da região em um mundo globalizado, onde o conhecimento desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social. Essa realidade coloca uma pressão ainda maior sobre as partes interessadas, como universidades, empresas e a sociedade em geral, para unirem esforços na busca de soluções criativas que possam compensar a falta de financiamento.

Adicionalmente, torna-se ainda mais crucial focar em programas de formação que atendam às necessidades específicas de cada região impulsionando assim, o crescimento e o desenvolvimento socioeconômico. Enfrentar os desafios ambientais e sociais também requer um esforço concertado, destacando a educação superior como uma ferramenta efetiva para superar os obstáculos e impulsionar o progresso.

Soma-se a isso o dilema dos saberes pertinentes e contextualizados que fazem sentido em uma concepção global do conhecimento, cujos responsáveis pela educação se encontram diante da incerteza dos tempos, Polanco, (2006). Por sua vez, a formação universitária aproxima os cidadãos de conhecimentos especializados, que estão diretamente relacionados ao campo de trabalho onde irão se desenvolver, além disso, a formação universitária “deve dotar o homem moderno de elementos para compreender o funcionamento e as estruturas da sociedade atual”. Riveros; Giménez; Riveros, (2004, p. 57).

O ensino de física enfrenta um percurso desafiador, uma vez que os alunos são confrontados com um vasto volume de informações, ao mesmo tempo que lidam com as dificuldades inerentes ao processo de ensino aprendizagem e, conforme evidenciado pelas pesquisas, há um número significativo de alunos que não alcançam êxito em demonstrar as capacidades intelectuais esperadas ou o desenvolvimento de uma atitude crítica através da análise de situações específicas. Assim, como explicam Moreira e Greca (2004, p. 2):

[...] a tendência natural do aluno, estimulada pela abordagem histórica dos manuais introdutórios à Mecânica Quântica, é fazer uma ponte com os conceitos clássicos. Do ponto de vista cognitivo pode ser natural, mas do ponto de vista da Física parece não ser o caminho mais adequado, uma vez que os alunos não conseguem captar os significados cientificamente aceitos de tais conceitos.

No processo de construção do conhecimento, especificamente do comportamento ou natureza onda-partícula da luz, natureza ondulatória da matéria, ou das contribuições da óptica para os fundamentos da física moderna, surgem desafios nas concepções filosófica,

epistemológica e histórica para explicar esses conceitos. A história da física revela que os cientistas que estudaram esses problemas, se depararam com diversas questões que desafiaram seu senso comum e que não podiam ser explicadas sob os postulados da física clássica. Graças às brilhantes contribuições de físicos como Planck, por exemplo, e depois com as obras Compton e De Broglie, progrediu-se para retificar as respostas dadas a questões tão importantes que desafiaram as mentes dos cientistas ao redor do mundo. Isso ressalta a importância de considerar a ciência em constante criação e construção, no qual as noções tidas como absolutas devem ser repensadas, reestruturadas.

Os professores que trabalham com fenômenos ópticos no ensino meio e superior, muitas vezes encontram dificuldades de contar com aparelhos ou dispositivos que lhes permitam recriar as experiências laboratoriais necessárias para compreendê-los e, se os possuem, encontram-se obsoletos ou danificados, às vezes limitando-se a um desenvolvimento teórico dos conteúdos. Nesse contexto, se o ensino da óptica não for abordado de forma adequada, pode-se criar problemas em nível metodológico e, portanto, um ensino que privilegia uma didática intuitiva, que se refletirá em ideias errôneas sobre as leis dos fenômenos ópticos e da mecânica quântica, pois como sabemos, a física moderna e contemporânea descreve o comportamento da matéria e da energia em escalas microscópicas, cujas leis diferem significativamente da física clássica e cujos fenômenos não têm relação direta com o mundo macroscópico observado.

Sendo assim, é necessário adotar abordagens pedagógicas adequadas que ajudem aos alunos a desenvolver uma compreensão sólida e conceitualmente correta dos princípios da mecânica quântica e da óptica, usando diversas estratégias de ensino que incluam tanto experiências demonstrativas e de laboratórios quanto simulações e atividades conceituais que favoreçam essas situações de aprendizagem.

Pesquisas na área de didática e formação de professores (PORLÁN, 2010; MARÍN, 1997; GIL, 1997) sugerem que, para ensinar ciências, os professores, além de possuírem amplo conhecimento sobre os conteúdos a serem ministrados, devem estar atentos às suas concepções e conhecer as várias correntes de ensino que lhes permitem estabelecer nítidos vínculos entre conhecimentos conceituais e procedimentais, destacando a importância da cultura dos povos, a educação planetária, a formação de cidadãos com ética e responsabilidade, capazes de enfrentar o vertiginoso mundo da informação, com uma visão holística, capaz de superar obstáculos que

comprometem a compreensão das retificações associadas à construção de uma ciência em constante desenvolvimento.

No campo da pesquisa em ensino de física, em especial, é observado um desafio significativo relacionado aos conteúdos conceituais que se baseiam nas percepções dos alunos. Isso gera um conflito no processo de aprendizagem, uma vez que, como destacado por Pozo e Gómez (2000), os estudantes possuem diversas concepções prévias que competem com o que lhes é ensinado, devido às aparentes contradições entre as idealizações apresentadas em sala de aula e a realidade observada pelo aluno no mundo “real”. Essas questões podem aguçar e aprofundar o problema do conhecimento dos conceitos físicos, bem como os procedimentos para esse conhecimento, se os fenômenos estudados não forem tão próximos ou evidentes com o ambiente do aluno, o que nas palavras de Bachelard seria um primeiro obstáculo que o levaria a se apegar a teorias realistas e absolutas, fechando os olhos para o desenvolvimento do pensamento científico.

Desse modo, é necessário repensar o processo de construção do conhecimento em relação ao conteúdo da óptica e da física moderna no sentido da contribuição da primeira para cimentar os postulados da segunda, do ponto de vista epistemológico buscando encontrar as relações que permitem que a formação de professores de física seja o mais próximo possível de uma teoria epistemológica que responda à evolução do conhecimento científico.

Da mesma forma, é importante revisar as características dos desenhos curriculares dos cursos de física no que diz respeito à abordagem dos tópicos de óptica, isso nos permite destacar o processo de construção do conhecimento científico, considerando a noção de recorrência histórica e a distinção entre o saber científico e o saber acadêmico. Conforme afirmado por Tardif, Lessard; Lahaye, “[...] o valor social, cultural e epistemológico dos saberes reside então em sua capacidade de renovação constante e a renovação dos saberes estabelecidos não vale senão como preparação às tarefas cognitivas reconhecidas como essenciais, assumidas pela comunidade científica em atividade” (1991, p. 217). Além disso, essa revisão também nos permite analisar experiências que tiveram um impacto significativo na evolução da ciência, marcando momentos cruciais em sua história e abordando essa concepção de maneira dialética.

Nesse sentido, nos perguntamos que questões limitariam a apresentação desses conteúdos dos fenômenos ópticos em sala de aula? Como poderíamos aprimorar nossa prática docente nessas disciplinas? Qual método de ensino e pesquisa oferece os melhores resultados

na aprendizagem de fenômenos ópticos? A assimilação de mudanças de paradigma na comunidade científica tem alguma semelhança com as dificuldades que os alunos apresentam no aprendizado de conteúdos científicos? Existem elementos na história da óptica onde as recorrências históricas podem ser evidenciadas? Que características possuem os livros de texto e o currículo dos licenciados em física, que evidenciem a superação de obstáculos? Na formulação da história da óptica há elementos chave que identifiquem filosofias de negação?

1.3. PROBLEMA E OBJETIVOS DA PESQUISA

Diante dessas questões se constitui nosso problema de pesquisa:

- Como os conteúdos de óptica presentes no currículo dos graduados em física da Universidade Federal de Uberlândia, podem contribuir para a aprendizagem da física moderna e contemporânea na perspectiva epistemológica de Gaston Bachelard?

O objetivo geral desta pesquisa é:

Caracterizar as contribuições da óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea, a partir da abordagem epistemológica de Bachelard, na formação de professores de Física da Universidade Federal de Uberlândia.

A pesquisa tem os seguintes objetivos específicos:

1. Considerar a perspectiva histórica da óptica na formação de professores de física da Universidade Federal de Uberlândia, sob a epistemologia de Bachelard.
2. Inquirir sobre as contribuições da óptica para o avanço e construção da física moderna e contemporânea.
3. Identificar as características da abordagem dos conteúdos de óptica no currículo de física na formação de professores da Universidade Federal de Uberlândia.
4. Avaliar a compreensão que professores de física e alunos de graduação (futuros licenciados) em física da UFU, têm sobre as contribuições da óptica para o desenvolvimento da física moderna e contemporânea.

1.4. ESTRUTURA DA TESE

A seguir apresenta-se a estrutura desta tese por seções, abordando de forma sucinta os temas que serão discutidos, detalhados e investigados ao longo desta pesquisa.

Na seção 1, apresentamos a introdução e motivações que levaram ao avanço da pesquisa, definindo o plano de trabalho, as perguntas de pesquisa, a formulação do problema e os objetivos considerados para o desenvolvimento da mesma.

A seção 2 abrange a fundamentação teórica, onde são expostos os aspectos gerais da epistemologia bachelardiana, definindo os perfis epistemológicos e caracterizando os obstáculos epistemológicos e a importância do erro. Ao final deste capítulo, é explicado como esses obstáculos se manifestam no processo educativo da óptica e física moderna e contemporânea. A seção 3 é enfatizada a perspectiva histórica da óptica, considerando a natureza da luz como elemento central no desenvolvimento da física e da óptica em particular, mostrando os momentos de rupturas nos diversos períodos de evolução desta ciência de longa data.

Na seção 4, faz-se uma descrição da formação de professores de Ciências, em particular de Física. São considerados elementos da didática, ou seja, as formas pelas quais os professores constroem seus saberes. A seção continua com a descrição do programa de licenciatura em física, onde se destacam os elementos principais associados a esta pesquisa, como os conteúdos de óptica e física moderna e contemporânea. Por fim, são apresentadas algumas ideias sobre a relação entre esses conteúdos.

Na seção 5, são detalhados os aspectos metodológicos e as etapas da pesquisa, descrevendo o percurso metodológico, a definição dos sujeitos de estudo e os métodos e técnicas para a coleta e análise dos dados. Na seção 6, apresentamos os resultados e análises da pesquisa, inicia-se com a revisão teórica que permitiu contextualizar a pesquisa em óptica e na epistemologia bachelardiana, em seguida é apresentado o trabalho de campo que corresponde às entrevistas e os questionários com os participantes da pesquisa. Por fim, são apresentadas as considerações finais enfatizando a importância desse debate para o desenvolvimento de estratégias pedagógicas que fortaleçam a formação de professores de física capacitando-os para enfrentar as demandas de um mundo em constante transformação.

2. MARCO REFERENCIAL DA PESQUISA

Digam-nos o que pensam, não apenas ao sair do laboratório, mas durante as horas em que deixam a vida cotidiana para entrar no mundo científico. Não pedimos que nos comuniquem seu empirismo vespertino, mas sim seu vigoroso racionalismo matutino, *o a priori* de seus devaneios matemáticos, o ardor de seus projetos, suas intuições inconfessadas.

Bachelard (2003, p. 14)

2.1. NAVEGANDO PELOS LABIRINTOS DA MENTE: Gaston Bachelard e sua Filosofia da Ciência

Diversas fontes descrevem Gaston Bachelard como o ‘filósofo da desilusão’, devido à abordagem única que ele apresenta em seus trabalhos em relação ao conhecimento científico e à filosofia da ciência. Ele é frequentemente retratado com facetas diurnas e noturnas, (BULCÃO,1981; LOPES,1996; CANGUILEM, s.d., entre outros), destacando diferentes aspectos de sua personalidade e suas contribuições para o estudo e avanço da ciência, bem como para a poesia.

Gaston Bachelard iniciou sua jornada acadêmica com origens modestas, mas essas raízes tiveram um impacto profundo em seu pensamento, ele começou sendo professor de matemática no ensino médio, uma experiência que o levou a apreciar a precisão e clareza do pensamento, qualidades que mais tarde aplicou a sua abordagem filosófica, onde não só questionava a ciência, mas também como a mente humana estava envolvida na construção do conhecimento científico.

Bachelard é famoso por desenvolver conceitos significativos no estudo das ciências, como os ‘perfis epistemológicos’, analisando como os cientistas constroem o conhecimento de acordo com as diversas fases da carreira sendo talvez, sua contribuição mais significativa para

o campo educacional, o conceito de *obstáculos epistemológicos*, que podem dificultar a compreensão científica. Exploraremos, o que esses obstáculos são, como afetam o progresso científico e como o reconhecimento dos erros pode se tornar um recurso valioso no processo de formação do conhecimento e na educação, ao mesmo tempo exploraremos ideias que continuam a influenciar a filosofia da ciência e o ensino das ciências, particularmente da física, como a ‘recorrência histórica’, a ‘fenomenotécnica’ e a ‘dialética do conhecimento científico’.

2.2 A EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD: filosofia e epistemologia da Ciência

Pesquisas voltadas à formação de conceitos e ao percurso histórico da ciência, buscam oferecer à comunidade acadêmica novas formas de apresentar o conhecimento científico. No entanto, de acordo com o objetivo desta pesquisa, é importante dar atenção especial a pesquisas que explorem, sob a óptica das epistemologias e filosofias da ciência, temas referidos à óptica e física moderna e contemporânea, pois esses estudos tratam aspectos que contribuem para o aprimoramento do ensino e da aprendizagem.

Para Bachelard (2003, p. 10) “a filosofia das ciências físicas é talvez a única filosofia que se aplica, determinando uma superação de seus próprios princípios”, isso significa que essa filosofia deve ser aberta, capaz de proporcionar uma visão de mundo que acompanhe as transformações dos princípios do conhecimento; a ciência, por sua vez, deve adotar uma filosofia bipolar, ou seja, um desenvolvimento dialético, pois as noções podem ser esclarecidas de forma complementar com diferentes pontos de vista filosóficos, onde ciência e filosofia dialoguem para o avanço do conhecimento.

Sendo assim, Bachelard¹ afirma que

Se nos comprendería mal si se viera en eso una simple confesión de dualismo. Al contrario, la polaridad epistemológica es a nuestro parecer la prueba de que cada una de las doctrinas filosóficas que hemos esquematizado con los términos empirismo y racionalismo es el complemento efectivo de la otra. Una completa la otra. Pensar científicamente es colocarse en el campo

¹ Seríamos mal compreendidos se isto fosse visto como uma simples confissão de dualismo. Pelo contrário, a polaridade epistemológica é, na nossa opinião, a prova de que cada uma das doutrinas filosóficas que esquematizamos com os termos empirismo e racionalismo é o complemento efetivo da outra. Um completa o outro. Pensar cientificamente é colocar-se no campo epistemológico intermediário entre a teoria e a prática, entre a matemática e a experiência. Conhecer cientificamente uma lei natural é conhecê-la tanto como fenômeno quanto como númeno. [Tradução própria]

epistemológico intermediario entre teoría y práctica, entre matemáticas y experiencia. Conocer científicamente una ley natural, es conocerla a la vez como fenómeno y como noúmeno (BACHELARD, 2003, pp. 9-10).

Poderíamos afirmar que este campo intermediário ao que se refere Bachelard, encontra-se entre a teoria e a prática, onde são integrados tanto a matemática como a experiência, conhecer o fenômeno em todas suas faces reconhecendo a importância de ambos os aspectos na construção do conhecimento científico. Dessa forma, para caracterizar a filosofia da ciência, ele propõe um pluralismo filosófico que é o único capaz de informar elementos tão diversos da experiência e da teoria, apontando a filosofia da ciência “como uma filosofia dispersa, como uma filosofia distribuída” (BACHELARD, 2003, p.14), que permite observar os fenômenos estudados sob diferentes perspectivas da razão aos sentidos. Para isso, é necessário compreender a estrutura e evolução do espírito científico, questão que estabelece uma distinção entre filósofos e cientistas.

No referente à dialética, Bachelard a entende como método de investigação e uma abordagem crítica que busca superar o conhecimento prévio e estabelecido, quer dizer, um movimento de contradição e superação de ideias preestabelecidas que permitam buscar constantemente novas perspectivas e rupturas epistemológicas, valorizando a experiência científica como processo ativo de descoberta e transformação, em que a experimentação, observação e reflexão são fundamentais, envolvendo erros, fracassos, correções e avanços no entendimento.

Nesse sentido, Bachelard (2003) aponta que eles (referindo-se aos cientistas e filósofos) não potencializam todos os benefícios que a ignorância pode oferecer sobre certas questões, uma vez que a ignorância pode ser "uma teia de erros positivos, tenazes, solidários" (p.11), onde corretas experiências objetivas devem determinar as correções dos erros subjetivos e é aí que se incentiva o progresso do pensamento científico na contemporaneidade e as transformações dos princípios do conhecimento, afirmando que o espírito científico só se constitui livrando-se do espírito não científico. Alertando para o fato que os erros são indicadores dos obstáculos que se resistem, subestimando-os, pois os obstáculos são indicadores de lentidões no processo de desenvolvimento do pensamento.

El error aparece en estas condiciones como la huella de una auténtica actividad intelectual, actividad que evita la reproducción estereotipada y guiada con estrechez, como acompañante de una verdadera elaboración mental. Es el signo, al mismo tiempo que la prueba, de que en el alumno se está realizando

un aprendizaje digno de tal nombre, que pone en juego sus representaciones mentales previas y sus competencias actuales, para esforzarse en construir algo nuevo (ASTOLFI, 1999, p. 34²).

Nesse contexto, Astolfi (1999) analisa o papel do erro como um instrumento de ensino, explorando diferentes perspectivas sobre a concepção do erro dos autores envolvidos, ele observa que, muitas vezes, tanto os professores quanto os alunos tendem a atribuir a culpa pelos erros, seja aos alunos em si, como responsáveis, ou ao planejamento e ao currículo, e que sempre é visto de forma negativa, considerando-o algo indesejável. Mas é preciso enfrentar a dificuldade dos professores em identificar os erros dos estudantes, pois como explica Astolfi (1999), alunos e professores não têm o mesmo marco de referência nem a mesma lógica na definição de seus erros.

Bachelard considera o conhecimento uma evolução do espírito e para isso o cientista deve tomar consciência de como as novas experiências se relacionam com as antigas, de alguma forma, expõe que as novas experiências negam as antigas, mas de um ponto de vista que permite criar experiências, novas formas de conhecimento, em geral, enriquecem seu corpo de explicações; onde se manifestam rupturas entre os saberes sensíveis (associados aos sentidos) e os científicos. Nesse sentido, do ponto de vista da física:

[...] não significa que devemos abandonar as teorias anteriores, e talvez justamente aí resida o maior problema o maior impacto. Se Einstein houvesse estabelecido um novo sistema que negasse a Newton e se o impusesse como a nova ordem definitiva, talvez, não fôssemos tão resistentes a ele. Talvez o mais impactante seja obrigar-nos a aceitar que Newton permaneça válido dentro de certos limites de massa e velocidade dos corpos, sendo a Relatividade aplicada aos demais contextos (LOPES, 1996, pp. 266-267).

Desde o ponto de vista da óptica, a história sobre o modelo corpuscular e ondulatório e a dualidade onda-partícula mostram a pluralidade destas ideias, seu caráter dialético. Para isso, é necessário fazer uma avaliação da ciência instrumentada, pois ela oferece uma verificação para o pensamento,

[...] la microfísica postula un objeto más allá de los objetos usuales. Existe, pues, por lo menos una ruptura en la objetivación, y por eso podemos decir,

² O erro aparece nessas condições como o vestígio de uma verdadeira atividade intelectual, uma atividade que evita a reprodução estereotipada e guiada com rigidez, como companheira de uma verdadeira elaboração mental. É o sinal, ao mesmo tempo que a prova, de que no aluno está ocorrendo uma aprendizagem digna desse nome, que mobiliza suas representações mentais prévias e suas competências atuais, esforçando-se para construir algo novo.

que la experiencia en las ciencias físicas tiene un más allá, una transcendencia, y que ella no está cerrada en sí misma (BACHELARD, 2003, p. 13)³.

Sendo assim, o trabalho do cientista valorizado tanto no seu caráter subjetivo quanto objetivo, o instrumento e a experimentação, oferecem uma certificação e retificação de noções e crenças, pois ao se deparar com erros, mudanças de opinião diante determinados conhecimentos ou acontecimentos, e lidar com as contradições surge uma perspectiva filosófica e epistemológica que auxilia na construção do pensamento científico, uma vez que o conhecimento científico ordena o pensamento e fornece princípios para o estudo do progresso da razão, ou em palavras de Bachelard, “só a razão dinamiza a pesquisa, porque é a única que sugere, para além da experiência comum (imediate e sedutora), a experiência científica (indireta e fecunda)”. (BACHELARD, 1996, p. 22)

Algumas primeiras noções são apresentadas como um conhecimento valorizado pela primeira experiência, com uma apreciação quantitativa da realidade, que pode levar à concepção de ideias errôneas. Considerar esse conhecimento como já construído sobre um assunto, dispensando maiores explicações, pode transformá-lo em um ‘conceito-obstáculo’ - um contra pensamento que favorece analogias e, assim, bloqueia o conhecimento. Desta maneira, Bachelard (1933) explica em suas teses que “a mesma palavra não é o mesmo conceito. É necessário reconstruir a síntese na qual o conceito está inserido, ou seja, tanto o contexto conceitual quanto a intenção orientadora das experiências e observações” (apud. CANGUILHEM, s.d, p.7).

Além disso, Bachelard enfatiza “no que diz respeito ao conhecimento teórico do real, ou seja, um conhecimento que vai além de uma simples descrição - e deixando de lado a aritmética e a geometria - tudo o que é fácil de ensinar é impreciso” (2003, pp. 23-24). Nesse contexto, o processo de transposição didática dos conteúdos torna-se muito importante, pois frequentemente os professores de ciências, principalmente no ensino médio, ensinam conhecimentos que não produzem, mas sim conhecimentos escolares que foram adaptados para torná-los mais acessíveis para a explicação e compreensão, além de apresentar aplicações práticas imediatas.

³ [...] a microfísica postula um objeto além dos objetos usuais. Há, portanto, pelo menos uma ruptura na objetivação, e é por isso que podemos dizer que a experiência nas ciências físicas tem um além, uma transcendência, e que não é fechada em si mesma (BACHELARD, 2003, p. 13)

Ou seja, é um conhecimento que não mobiliza a consciência, o pensamento "a um conceito tão simples e positivo, a um uso tão simples e positivo de um instrumento (ainda que teoricamente complicado), corresponde a um empírico, sólido, pensamento claro, positivo, imóvel" (idem, p.25) e este é um pensamento entendido como um pensamento realista que desaloja o racionalismo e não revela o sentido dinâmico da descoberta.

Além disto, Bachelard (2003, p. 31) sublinha

[...] en la organización matemática del saber es necesario preparar el dominio de definición antes de definir, exactamente de igual manera que en la práctica de laboratorio hay que preparar el fenómeno para producirlo. El pensamiento científico contemporáneo comienza pues, por una epojé, por una puesta entre paréntesis de la realidad⁴ [...].

Gaston Bachelard atribuiu importância às matemáticas na evolução da ciência, especialmente no contexto da nova física. Sua abordagem única residiu na compreensão de que as matemáticas não eram meramente uma ferramenta conveniente para descrever fenômenos naturais, mas sim um sistema de pensamento independente e seguro, afirmando que “a matemática é um pensamento, um pensamento seguro de sua linguagem” (1965, p 30), e reconheceu que a nova física, representada principalmente pela mecânica quântica e a teoria da relatividade de Einstein, estava desafiando radicalmente as concepções tradicionais da física clássica.

Essas teorias trouxeram à tona fenômenos e conceitos estranhos, como a dualidade onda-partícula, a não localidade quântica e a relatividade do tempo e do espaço e para compreender esses novos paradigmas, Bachelard argumentou que era essencial adotar uma abordagem matemática profunda. Da mesma forma, o importante papel das matemáticas não se limita à física moderna, Andreou e Rafttopoulos (2010, p. 1022) afirmam que

As ideias em óptica evoluíram para as ideias modernas somente quando o conceito de raio deixou de ser construído como uma entidade fisicamente existente e foi transformado no raio de luz construído como uma linha matemática abstrata que indica a direção na qual a luz se propaga. [...]. A teoria de Alhazen é uma teoria física que pode descrever com sucesso o comportamento da luz e explicar dados empíricos. Ao mesmo tempo, permite

⁴ [...] na organização matemática do conhecimento é necessário preparar o domínio de definição antes de definir, exatamente da mesma forma que na prática laboratorial o fenômeno deve estar preparado para produzi-lo. O pensamento científico contemporâneo começa, portanto, com uma epoché, com uma delimitação da realidade [...].

o uso da geometria retendo assim, a vantagem das teorias matemáticas da visão⁵.(tradução própria)

Sendo assim, a transição do conceito de raio físico para um raio de luz matemático representou uma virada significativa na história da óptica e da compreensão da visão. Essa mudança de perspectiva permitiu que os cientistas explorassem de forma mais precisa e eficaz o comportamento da luz, aplicando métodos geométricos e matemáticos para desvendar os fenômenos ópticos. A teoria de Alhazen não apenas forneceu uma base sólida para a compreensão da luz, mas também estabeleceu uma ponte entre os aspectos físicos e matemáticos da óptica, destacando assim a importância da interdisciplinaridade no avanço do conhecimento científico

À medida que a óptica e a ciência em geral evoluíam com a transformação do conceito de raio de luz, Gaston Bachelard (2003) nos lembra da importância da vigilância intelectual constante diante das ideias que surgem a priori. Ele destaca a necessidade de revelar 'o que resta do saber comum no saber científico' (pp. 36-37), uma tarefa realizada por meio dos perfis epistemológicos de conceitos e noções. Esses perfis epistemológicos fornecem uma janela única para a compreensão de um conceito específico e representam uma etapa crucial no desenvolvimento cultural e científico de um indivíduo.

Por exemplo, ao imaginar-nos como exploradores de séculos antigos aventurados pelo desconhecido território da física moderna, assim como os exploradores daquela época se depararam com novas terras, nós agora nos deparamos com conceitos científicos que desafiam a compreensão convencional, sendo assim, a medida que mergulhamos mais fundo nesse território desconhecido, percebemos que os cientistas que mapearam essas 'terras' têm diferentes maneiras de compreender os fenômenos ópticos e físicos.

Essas diferentes abordagens podem ser comparadas com os 'perfis epistemológicos' dos cientistas, que são como as bússolas que guiam sua pesquisa e compreensão. Cada perfil epistemológico representa uma perspectiva única sobre como o conhecimento científico é

⁵ The ideas in optics developed towards modern ideas only when the ray concept ceased to be construed as a physically existing entity and was transformed into the ray of light construed as an abstract mathematical line that indicates the direction in which light propagates. (...). Alhazen's theory is a physical theory that can successfully describe the behaviour of light and explain empirical data. At the same time, it allows the use of geometry retaining, thus, the advantage of the mathematical theories of vision.

construído e como os cientistas lidam com os desafios do conhecimento em geral e da física em particular.

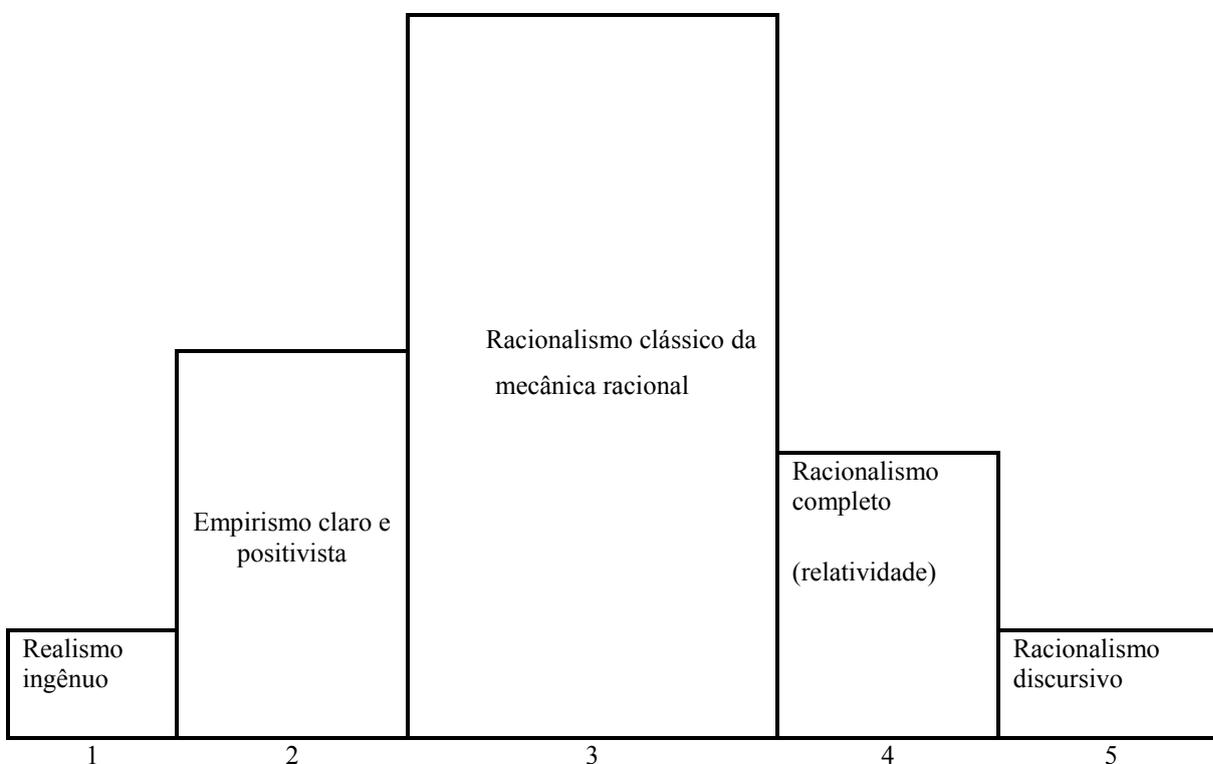
2.3 OS PERFIS EPISTEMOLÓGICOS E AS NOÇÕES NA EPISTEMOLOGIA BACHELARDIANA.

Os perfis epistemológicos, consistem em testar a compreensão de um conceito, examinando-o a partir de cinco filosofias, o que Bachelard denomina de polifilosofias, a saber: *realismo ingênuo*, *empirismo claro e positivista*, *racionalismo newtoniano ou kantiano*, *racionalismo complexo* (racionalismo einsteiniano) e *racionalismo dialético*. Desse modo, passar um conceito por cada uma dessas filosofias permitirá superar os obstáculos epistemológicos a elas associados.

Com este propósito, Bachelard (1996) destaca que o epistemólogo deve compreender os conceitos científicos por meio de sínteses psicológicas progressivas, estabelecendo escalas de conceitos para cada noção. Isso implica mostrar como um conceito se origina a partir de outro e como está interligado com outros conceitos.

A título de exemplo, no texto da filosofia do não, Bachelard apresenta um perfil epistemológico de sua percepção do conceito de massa (Figura 1), no primeiro perfil, em suas palavras, considerando o "aspecto pobre da cultura", a massa se situa com importância considerável, associada ao uso da escala, expressa nas linhas anteriores, a um conhecimento valorizado e uma apreciação quantitativa do conceito, sempre auxiliado pela capacidade de questionamento sobre determinados fatos, e o "próprio senso comum; assim, (...) em relação a um conceito tão educado quanto o de massa não somos inteiramente psicanalisados" (BACHELARD, 2003, p. 38).

Figura 1- Perfil epistemológico, noção pessoal de massa.



Fonte: Bachelard, G. (2003, p. 38).

Da mesma forma, Bachelard apresenta um perfil epistemológico para o conceito de energia (Figura 2), resultando que, em uma primeira análise, estamos tão seguros do nosso entendimento de energia, quanto do conceito de massa, assim, ao comparar os dois perfis, ele encontra que há maior importância para o conceito dialetizado.

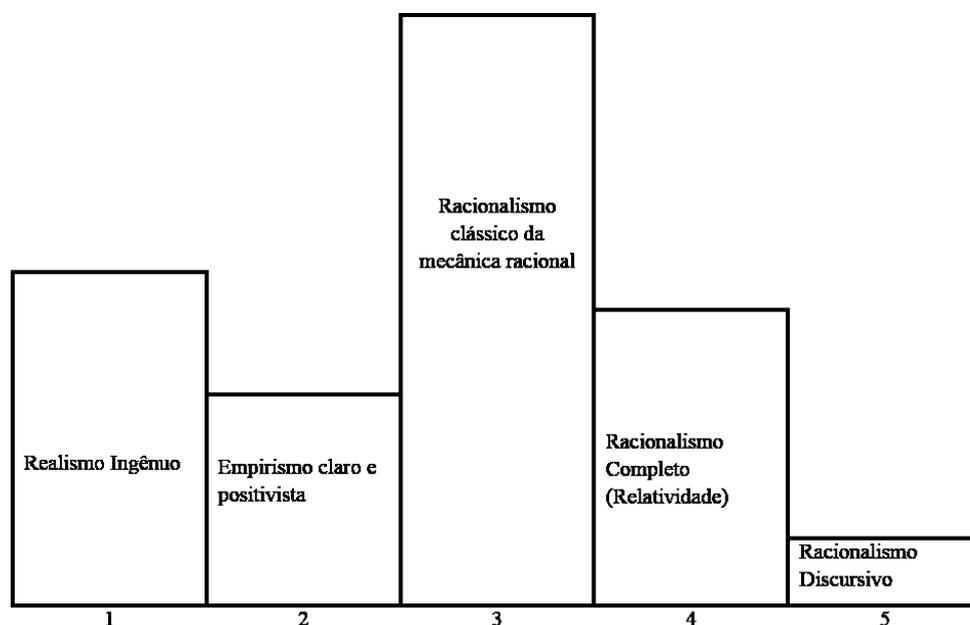
Bachelard ilustra essa ideia ao mencionar o exemplo de energia negativa teorizado por Dirac, pois este ao desconsiderar inicialmente esse resultado como uma objeção a seu sistema, se empenhou em encontrar uma explicação fenomenológica para o conceito. Posteriormente, essa explicação foi confirmada e a energia negativa não é mais vista como uma mera construção mental, assim sendo, podemos dizer que o nómeno fornece pistas para a explicação do fenômeno.

Igualmente Bachelard explica que do ponto de vista positivista, o conceito não oferece mais informações, mas que ganha força em um realismo positivo, e que doutrinas podem ser construídas a partir de uma falsa noção. Ele escreve:

A decir verdad, no es el concepto de energía negativa el que hizo buscar el electrón positivo. Prodióse, como suele ocurrir, una síntesis accidental del descubrimiento teórico y del experimental; mas el lecho en el cual el nuevo fenómeno vino a tenderse estaba preparado a su medida. Existía una predicción teórica que aguardaba el hecho. En cierto sentido se puede decir, siguiendo la construcción de Dirac, que la dialéctica de la noción de energía encontró su doble realización⁶ (BACHELARD, 2003, p. 34).

Na tradução ao português continuar a ser: “para falar a verdade, não foi o conceito de energia negativa que nos fez procurar o elétron positivo. Houve, como acontece frequentemente, uma síntese accidental de descobertas teóricas e experimentais; mas o leito sobre o qual o novo fenômeno veio a repousar estava preparado para lhe servir. Havia uma previsão teórica que aguardava o evento. Em certo sentido pode-se dizer, seguindo a construção de Dirac, que a dialéctica da noção de energia encontrou sua dupla realização”, sendo desta maneira nas palavras de Bachelard (1965, p.25) um ‘ato epistemológico’, correspondente a esses empurrões de gênio científico que trazem impulsos inesperados no curso do desenvolvimento científico.

Figura 2. Perfil epistemológico, noção pessoal de energia.



Fonte: Bachelard, G. (2003, p. 40)

⁶ Para falar a verdade, não foi o conceito de energia negativa que nos fez procurar o elétron positivo. Houve, como acontece frequentemente, uma síntese accidental de descobertas teóricas e experimentais; mas o leito sobre o qual o novo fenômeno veio a repousar estava preparado para lhe servir. Havia uma previsão teórica que aguardava o evento. Em certo sentido pode-se dizer, seguindo a construção de Dirac, que a dialéctica da noção de energia encontrou sua dupla realização

Ao considerar a dualidade onda-partícula da luz, um cientista com um perfil epistemológico empirista pode se concentrar em realizar experimentos detalhados para observar o comportamento da luz em diferentes condições, coletando dados meticulosos para desenvolver teorias. Enquanto isso, um cientista com um perfil mais teórico pode se inclinar a criar modelos matemáticos complexos que descrevem o fenômeno, priorizando a abstração e a análise teórica sobre a experimentação prática. Essas diferentes abordagens para explorar a óptica moderna ilustram como os perfis epistemológicos moldam a maneira como os cientistas buscam e constroem o conhecimento científico.

Nesse sentido, Bachelard (2003) propõe a criação de um abrangente 'álbum de perfis epistemológicos' que abarcaria todas as noções científicas. Ele reconhece que essa tarefa seria árdua e exigiria a expertise de especialistas em diversas áreas do conhecimento, descrevendo essa tarefa como 'uma análise filosófica espectral', destinada a precisamente mapear como diferentes correntes filosóficas reagem a um determinado conhecimento objetivo (p. 41).

Para demonstrar como isso pode ser aplicado, Bachelard fornece explicações detalhadas sobre a elaboração do perfil epistemológico de um conceito específico (Figuras 1 e 2). Suas diretrizes evidenciam que as coordenadas em um gráfico de perfil epistemológico não são arbitrárias, mas sim representam o desenvolvimento regular do conhecimento.

Além disso, explica o caminho percorrido para a construção do perfil epistemológico; para o conhecimento objetivo, por exemplo, propõe a ordem realismo-empirismo-racionalismo, considerando que esta ordem comprova a própria realidade da epistemologia e que o conhecimento implica vários aspectos filosóficos, "se você considerar o conhecimento de um objeto particular, você notará que as noções correspondentes às várias qualidades e funções não estão organizadas no mesmo plano; você encontrará facilmente traços de realismo no conhecimento objetivo mais evoluído" (BACHELARD, 2003, p. 42).

Tudo isso para fundamentar a razão da seleção das filosofias, a ordem e como cada uma das cinco filosofias deve ser combinada para dar um valor real e um eixo contínuo, assim

[...] a cualquier actitud filosófica general se puede oponer, como objeción, una noción particular cuyo perfil epistemológico revela un pluralismo filosófico. Una sola filosofía es, pues, insuficiente para dar cuenta de un conocimiento algo preciso. Si se quiere, por consiguiente, plantear exactamente la misma

cuestión a propósito de un mismo conocimiento a diferentes espíritus, se verá aumentar extrañamente el pluralismo filosófico de esa noción (...), cada filosofía no da más que una banda del espectro nocional y es necesario agrupar todas las filosofías para poseer el espectro nocional completo de un conocimiento particular⁷ (BACHELARD, 2003, pp. 42-43).

Um ponto importante a se considerar é que para Bachelard (2003) as noções não são substitutas de outra coisa, "uma noção é sempre um momento na evolução de um pensamento" (p. 43) e na hora de construir esses perfis epistemológicos é, portanto, preciso levar em conta as diversas mudanças tanto na experimentação quanto nos modelos matemáticos, que devem induzir ao filósofo a reformar as tabelas racionais e a aceitar novas realidades. Assim, ele explica que para a filosofia da ciência,

[...] incluso si se limita al examen de una ciencia particular, es necesariamente una filosofía dispersada, [...], tiene una cohesión que es la dialéctica de su progreso. Todo progreso de la filosofía de las ciencias se realiza en el sentido de un racionalismo creciente, eliminando respecto de todas las nociones, el realismo inicial⁸ (BACHELARD 2003, p. 43).

Por essas razões é importante descobrir as inter-relações entre as diferentes filosofias, pois elas nos permitirão descobrir quais são os obstáculos epistemológicos que uma cultura teve que superar para a construção do espírito científico, uma vez “que detectar os obstáculos epistemológicos é um passo para fundamentar os rudimentos da psicanálise da razão” (BACHELARD, 1996, p. 24).

Da mesma forma, Bachelard (1996) aborda a epistemologia e a história da ciência, pois, em sua visão, muitos dos conhecimentos presentes ao longo da história não têm o objetivo de favorecer o desenvolvimento do pensamento científico. “O epistemólogo deve, portanto, fazer uma escolha nos documentos coligidos pelo historiador. Deve julgá-los da perspectiva da razão, e até da perspectiva da razão evoluída, porque é só com as luzes atuais que podemos julgar com plenitude os erros do passado espiritual" (pp. 21-22).

⁷ A qualquer atitude filosófica geral pode-se opor, como objeção, uma noção particular cujo perfil epistemológico revela um pluralismo filosófico. Uma única filosofia é, portanto, insuficiente para dar conta de um conhecimento um tanto preciso. Se quisermos, portanto, colocar exatamente a mesma questão sobre o mesmo conhecimento a diferentes espíritos, veremos um estranho aumento no pluralismo filosófico dessa noção (...), cada filosofia apenas dá uma faixa do espectro nocional e é necessário agrupar todas as filosofias para possuir o espectro nocional completo de um determinado conhecimento

⁸ Mesmo que se limite ao exame de uma determinada ciência, é necessariamente uma filosofia dispersa, [...] tem uma coesão que é a dialética do seu progresso. Todo progresso na filosofia da ciência é feito no sentido de um racionalismo crescente, eliminando o realismo inicial de todas as noções.

Consideramos que este ponto merece especial atenção, pois para Bachelard é importante reconhecer os erros do passado pois a medida que a ciência avança nossos conhecimentos e visão do mundo e dos fenômenos naturais são aprimorados, desta forma, podemos estabelecer uma convergência nos processos educativos que utilizam a história da ciência como recurso pedagógico, no sentido que como professores podem ser capazes de avaliar de forma mais precisa as limitações e falhas presentes nas teorias científicas anteriores sem desconsiderar o contexto histórico no que foi desenvolvido esse conhecimento, promovendo uma evolução do pensamento científico.

Ao analisar as teorias antigas com uma perspectiva atualizada, podemos perceber conexões e correlações com os conhecimentos contemporâneos. Essa abordagem nos permite identificar *insights* valiosos e compreender como o pensamento científico evoluiu ao longo do tempo, construindo sobre os erros e limitações do passado. No entanto, é importante ressaltar que essa busca por vestígios dos conhecimentos atuais nas teorias antigas não implica em reinterpretar ou forçar uma leitura anacrônica dessas teorias. Trata-se de reconhecer pontos de convergência e continuidade, levando em consideração o contexto histórico e as contribuições específicas de cada período.

Por outro lado, para Bachelard existe uma relação íntima entre a epistemologia e a história da ciência e, em sua extensa produção bibliográfica, destaca elementos importantes para a construção do conhecimento científico. Seu pensamento e filosofia estão longe do positivismo dominante de sua época e abre caminhos para novas formas de pensar a ciência. “Bachelard na sua relação com a filosofia da ciência destacou-se como um inovador brilhante ao inventar um conceito ausente na história da ciência: o conceito de obstáculo epistemológico” (CANGUILHEM, sd., p. 6). É assim que vai surgindo na investigação científica, novos conceitos, novas formas de pensar a ciência.

As importantes revisões que Bachelard faz a esses conceitos são oferecidas a partir dos primeiros capítulos do livro *A Formação do Espírito Científico*; o livro apresenta uma análise sobre a construção do pensamento científico e a maneira como as ideias científicas são desenvolvidas no tempo; questionando a ideia de que o conhecimento científico é linear e cumulativo. Da mesma forma, explica o que é um obstáculo, quais obstáculos existem para se pensar a ciência e como eles podem e devem ser superados. Existem também outros textos muito importantes onde Bachelard aponta as ideias a serem superadas para a construção do

pensamento científico, o papel fundamental da experiência e da imaginação e sua visão dialética na evolução científica.

2.4 OBSTÁCULOS E EQUIVOCOS NA CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO.

No texto a formação do espírito científico Bachelard (1996), explica que os obstáculos epistemológicos são como muralhas que se erguem diante do aprendizado. Eles devem ser enfrentados e derrubados, um a um, para que possamos avançar no entendimento, pois em geral, na construção de conhecimentos as ideias prévias formam um trampolim para a mudança conceitual. Na óptica particularmente, compreender os obstáculos ao desenvolvimento das ideias e conceitos, pode auxiliar para esclarecer os problemas de aprendizagem individual, como sugerido por Andreou e Raftoupoulos (2010, p. 1012), “ [...]. Apreciar onde grandes mentes tiveram dificuldade sintoniza a um professor onde mentes menores também podem ter dificuldade”

Para Bachelard, os obstáculos epistemológicos são "causas da estagnação e até de regressão, ..., causas da inércia" Bachelard (1996, p. 17); sendo este um dos conceitos mais importantes da sua epistemologia, oferece toda uma obra para explicá-lo, evidenciando as diferenças entre o conhecimento científico e o conhecimento empírico, ao mesmo tempo que apresenta uma subdivisão entre três momentos importantes na construção do pensamento científico, a saber:

- O primeiro período, que representa o estado pré-científico, compreenderia tanto a Antiguidade clássica quanto os séculos de renascimento e de novas buscas, como os séculos XVI, XVII e até XVIII.
- O segundo período, que representa o estado científico, em preparação no fim do século XVIII, se estenderia por todo o século XIX e início do século XX.
- Em terceiro lugar, consideraríamos o ano de 1905 como o início da era do novo espírito científico, momento em que a Relatividade de Einstein deforma conceitos primordiais que eram tidos como fixados para sempre. A partir dessa data, a razão multiplica suas objeções, dissocia e religa as noções fundamentais, propõe as abstrações mais audaciosas. (BACHELARD, 1996, p. 9).

É assim que Bachelard apresenta os momentos chaves, que segundo ele marcam o desenvolvimento da ciência, enfatizando o fato de que o novo pensamento científico divide a ciência em um antes e um depois, podendo assim afirmar que essa ciência em vinte e cinco anos conseguiu evidenciar a maturidade do pensamento que vai ordenar "todas as possibilidades da experiência" (BACHELARD, 1996, p. 10).

Nesse sentido, Astolfi apresenta seis características complementárias dos obstáculos, segundo a leitura de Michel Fabre. Essas características reforçam a ideia das considerações que Bachelard atribui aos obstáculos como causas de estagnação do conhecimento e faz uma apresentação referindo-se ao caráter poético de Bachelard ao descrevê-los. No texto de Astolfi (2003) se lê:

- a) A interioridade do obstáculo: Os obstáculos são em primeiro lugar, internos: não são 'aquilo contra o qual o pensamento colide', mas residem no próprio pensamento, nas palavras na experiência cotidiana, no inconsciente. (p. 12)
- b) A facilidade do obstáculo: Antes de ser uma dificuldade enfrentada, o obstáculo é uma facilidade concedida à mente. Refere-se ao conforto intelectual, a um jogo de analogias e metáforas, a uma "certeza do íntimo". Pode-se dizer que o obstáculo é uma forma de pensar com a mente sentada em seu sofá. (p. 12)
- c) A positividade do obstáculo:(... o obstáculo é uma forma de conhecimento como qualquer outra. É até mesmo um "excesso" de conhecimentos disponíveis, que já estão lá e impedem a construção de novos conhecimentos. (...). O obstáculo um tecido de erros construídos, persistentes e solidários, resistem à refutação. (p.13)
- d) A ambiguidade do obstáculo: O obstáculo é ambíguo, pois qualquer forma de funcionamento mental apresenta a dupla dimensão de ser uma ferramenta necessária e uma fonte potencial de erros. É um modo de pensamento que não é rejeitável por si só, mas apenas pelas modalidades de uso. (...). Dessa perspectiva, o obstáculo não é uma coisa, mas sim uma "função" em uma economia de pensamento. (13)
- e) O polimorfismo do obstáculo: Não se limitam ao domínio racional, mas se ramificam no plano afetivo, emocional ou mítico... (a menos que não sejam essas dimensões que contaminem o pensamento racional). Em outras palavras, o obstáculo possui uma carga simbólica, tem algo de "realismo voraz". (p.14)
- f) A recorrência do obstáculo: A consequência de tudo isso é que os erros só podem ser reconhecidos após serem cometidos, uma vez que os obstáculos tenham sido superados (...). É isso que leva Bachelard a dissociar os "fundamentos" dos "começos". O fundamento é sempre recorrente: surge do fim, emerge do trabalho finalmente realizado, é o que permite então identificar o começo como o que era: um balbucio infantil. (p.14)

Como podemos inferir das linhas anteriores, a concepção de obstáculos apresentada por Fabre em relação à epistemologia bachelardiana é aquela que coloca o erro como o elemento central de desenvolvimento, permitindo explicar a resistência dos obstáculos e a natureza recorrente das representações dos alunos, enraizada na própria essência do obstáculo. Astolfi

(2003) chama a atenção para que não confiemos no sentido óbvio da palavra obstáculo, negando sua associação com dificuldade ou bloqueio do sistema de pensamento. "É o indicador e a testemunha das lentidões, regressões e analogias que caracterizam o pensamento"... (p. 14)

O erro, nesse contexto, não deve ser encarado como um fracasso ou uma falha, mas sim como um indicador de progresso e evolução no processo de aprendizagem. É através do erro que o aluno tem a oportunidade de questionar suas concepções prévias, de explorar novas perspectivas e de desenvolver um pensamento crítico e reflexivo. É por meio da tentativa e erro que se abre caminho para novas descobertas e para a construção de um conhecimento mais sólido e significativo. Portanto, é importante valorizar e incentivar os erros como parte integrante do processo de aprendizagem, reconhecendo que são eles (e sua superação) que impulsionam o aluno a alcançar um aprendizado mais profundo e significativo.

Frente a Piaget, que define as condições de possibilidade de uma aprendizagem, Bachelard nos mostra a lógica oculta dos erros. Ele nos lembra das liberalidades que a mente se concede quando baixa o limiar de vigilância e não funciona no máximo de seu potencial. Isso ocorre infelizmente com mais frequência do que se desejaria.... Dessa forma, a atividade do sujeito está constantemente sujeita a retificações, pois é aí que reside a "verdadeira realidade epistemológica, já que a retificação é o pensamento em ação, em seu dinamismo mais profundo". (ASTOLFI, 1999, p. 48)

Outro ponto que merece destaque nesta discussão é a natureza desafiadora e positiva dos obstáculos. Existem conhecimentos que exigem uma ruptura com intuições primitivas e com o princípio de funcionamento das coisas, bem como o uso de analogias e a identificação de regularidades nos eventos e situações. Os obstáculos são oportunidades para ir além das concepções iniciais e explorar novas perspectivas, levando a uma compreensão mais profunda e abrangente, como no caso da lâmpada elétrica que precisa de uma ruptura epistemológica com as intuições primitivas para entender seu funcionamento rompendo definitivamente com elas.

Por outro lado, como Canguilhem (s.d. p. 10) explica, "Bachelard primeiro teve consciência das rupturas epistemológicas. Depois elaborou os conceitos filosóficos adequados para explicá-las", e assim mais adiante, onde explica a importância da matematização da ciência, vai abandonando as ideias cartesianas e as leis newtonianas, o que vai favorecer a nova visão de mundo proporcionada pela física contemporânea, já que "quem se propõe a fazer uma história recorrente completa da ciência óptica deve deixar a física de Descartes em sua solidão histórica considerando as ideias de Huygens como uma aquisição definitiva para a ciência" (pp. 9-10) e sublinha que "é necessário passar a imagem primeiro por uma forma geométrica e,

depois, dar uma forma geométrica por uma forma abstrata, ou seja, para seguir o percurso psicológico normal do pensamento científico” (p.11).

Para Bachelard (1996, p. 11):

[...] em sua formação individual, o espírito científico passaria necessariamente pelos três estados seguintes:

1º *O estado concreto*, em que o espírito se entretém com as primeiras imagens do fenômeno e se apoia numa literatura filosófica que exalta a Natureza, louvando curiosamente ao mesmo tempo a unidade do mundo e sua rica diversidade.

2º *O estado concreto-abstrato*, em que o espírito acrescenta à experiência física esquemas geométricos e se apoia numa filosofia da simplicidade. O espírito ainda está numa situação paradoxal: sente-se tanto mais seguro de sua abstração, quanto mais claramente essa abstração for representada por uma intuição sensível.

3º *O estado abstrato*, em que o espírito adota informações voluntariamente subtraídas à intuição do espaço real, voluntariamente desligadas da experiência imediata e até em polémica declarada com a realidade primeira, sempre impura, sempre informe.

Após essa categorização dos estados do espírito científico, o autor destaca outro elemento importante que se apresenta nessa construção e está justamente associado ao interesse que o cientista, o estudante, enfim, o homem, deve ter, chamados estados de alma, que se definem como uma alma infantil ou mundana, uma alma professoral e uma alma com dificuldade de abstrair e chegar a quintessência (BACHELARD, pp, 12-13).

Los conocimientos científicos y el pensamiento científico entonces tendrá que superar todos los obstáculos que se van presentando en la formulación de nuevas leyes y las teorías, la física del siglo XIX ya no puede explicar la física del siglo XX, y como muestra los avances científicos, la física de inicios de siglo veinte ya no explica la física de las décadas posteriores "El físico ha sido obligado tres o cuatro veces desde hace veinte años a reconstruir su razón e intelectualmente hablando rehacerse una vida" pues ya la "física contemporánea no es considerada como la física de los fenómenos y si como la física de los efectos"⁹ (CANGUILHEM, s.d., p. 13).

⁹ O conhecimento científico e o pensamento científico terão então de superar todos os obstáculos que surgem na formulação de novas leis e teorias, a física do século XIX já não consegue explicar a física do século XX e, como mostram os avanços científicos, a física do início do século XX já não explica a física das décadas subsequentes "O físico foi forçado três ou quatro vezes nos últimos vinte anos a reconstruir a sua razão e, intelectualmente falando, a reconstruir uma vida" porque "a física contemporânea já não é considerada como a física dos fenômenos e sim como a física dos efeitos

De acordo com Andreou; Raftopoulos (2011), o desenvolvimento das concepções sobre luz, suas propriedades e visão, tanto em cientistas pioneiros quanto em estudantes, encontra limitações em crenças pré-existentes relacionadas a alguns fatores centrais que parecem inerentes aos fenômenos ópticos. Esses fatores incluem o raio de luz, a emissão de radiação por fontes luminosas, a reemissão de radiação por objetos não luminosos e o processo de percepção visual. A forma como esses fatores eram concebidos pelos primeiros cientistas, as mudanças em tais concepções e o papel que desempenhavam nas explicações científicas marcam o desenvolvimento das teorias ópticas, a história da óptica então pode oferecer pistas que auxiliem na superação de obstáculos epistemológicos que podem persistir, ainda depois do processo educativo.

E assim, como já expressado em linhas anteriores a evolução das teorias ópticas amplia seu desenvolvimento com o conceito de raio, pois “epistemologicamente a escolha do raio visual como meio de visão estava de acordo com a natureza antropocêntrica da óptica primitiva, e a óptica surgiu então, como uma disciplina para explicar a função dos sentidos” (ANDREOU; RAFTOULOPOULOS, 2011, p. 1021) e continua oferecendo múltiplos caminhos no desenvolvimento da física moderna e a própria ciência óptica.

Outro exemplo é apresentado com o experimento da dupla fenda de Tomas Young, em seu experimento realizado em 1801, onde ele evidencia que a luz é uma onda, porém, após os estudos deste físico, a natureza ondulatória e corpuscular da luz permaneceu no pensamento científico, pois cada uma destas naturezas explica diferentes fenômenos relacionados à luz e às partículas, representam visões dialéticas. Este experimento, realizado e revisado inúmeras vezes, constitui uma peça-chave para a definição da nova física.

2.5. BREVE DESCRIÇÃO DOS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS

A classificação dos obstáculos epistemológicos é um passo importante para compreender as barreiras que podem surgir no caminho da construção do conhecimento científico. Gaston Bachelard, como mencionado em suas obras pioneiras, identificou diversas categorias de obstáculos que podem obscurecer nossa compreensão dos fenômenos científicos.

À medida que exploramos essas categorias, veremos como cada uma delas representa uma barreira única, muitas vezes sutil, mas significativa, que pode dificultar nossa apreensão da realidade científica. Através dessa classificação, podemos desenvolver estratégias mais eficazes para superar tais obstáculos e promover uma compreensão mais profunda e precisa da ciência e da física em particular, pois “detectar os obstáculos epistemológicos é um passo para fundamentar os rudimentos da psicanálise da razão” (Bachelard, 1996, p.25).

Segundo Bachelard, a **primeira experiência**, a observação primeira é sempre um obstáculo inicial para a cultura científica, pois se apresenta como cúmulo de imagens, naturais, concretas, fáceis, fazendo com que "há ruptura e não continuidade, entre a observação e a experimentação" (Bachelard, 1996, p. 25), esta experiência muitas vezes é aceita a modo acrítico, e o homem em seu ímpeto pela descoberta e o conhecimento, muitas vezes aceita opiniões o "verdades" sem fazer a crítica que se precisa para a formação do espírito científico.

Também assinala que, a opinião sobre fatos desconhecidos se apresenta como obstáculos epistemológicos pois em determinadas ocasiões não se formulam questões de forma devida, para isso, deve-se encontrar novas formas de experiências, sendo o empirismo só o primeiro passo no desenvolvimento do conhecimento.

O espírito científico deve formar-se *contra* a Natureza, contra o que é, em nós e fora de nós, o impulso e a informação da Natureza, contra o arrebatamento natural, contra o fato colorido e corriqueiro. O espírito científico deve formar-se enquanto se reforma. Só pode aprender com a Natureza se purificar as substâncias naturais e puser em ordem os fenômenos baralhados. A própria psicologia tornar-se-ia científica se fosse discursiva como a física, se percebesse que, dentro — como fora — de nós, compreendemos a Natureza quando lhe oferecemos resistência (BACHELARD, 1996, p. 29)

Desta forma “é preciso que o pensamento abandone o empirismo imediato” (BACHELARD, 1996, p. 25), pois o pensamento empírico vai criando um sistema que pode ser falso, mas que permite o desprendimento do conhecimento sensível, mobilizando-o. No entanto, existe o perigo de retornar a ideias mais primitivas, assim como afirmou: “da observação ao sistema passa-se de olhos deslumbrados a olhos fechados” (idem, p. 26). Essa situação favorece o surgimento de obstáculos opostos, que convergem na bipolaridade dos erros. Quando uma dificuldade se apresenta e busca-se compreendê-la, encontra-se um obstáculo oposto. Essa ação só pode surgir de um pensamento que se confronta no mundo da ciência.

O segundo obstáculo é definido como as generalizações, Bachelard argumenta que este obstáculo é o que traz mais decréscimo no conhecimento, assim fala que mostrará como a ciência do geral sempre “é uma suspensão da experiência, um fracasso do empirismo inventivo” (BACHELARD, 1996, p. 68) e que é preciso examinar as seduções da facilidade, pois a busca apressada destas, leva muitas vezes a generalidades sem ligações com as funções essenciais do fenômeno. Desta maneira, assegura que as etapas pedagógicas não são homologas as estágios históricos e que as leis gerais obstruem ao pensamento, contestam sem que haja pergunta, definem palavras e não coisas, “a lei geral da refração do raio luminoso define tanto a palavra reta quanto a palavra raio, com tal ambiguidade do a priori com o a posteriori, [...]” e como o valor dado às palavras que podem representar tantas coisas ao mesmo tempo nos mesmos contextos, tem potencial para dar explicações a perguntas não feitas.

Assim Bachelard (1996, p. 71), faz um chamado especial para prestar atenção como a pedagogia pode contribuir à inércia do pensamento, pois com a satisfação do pensamento mediante as leis gerais a experiência perde o estímulo. Desta forma, ao aceitar a generalidade dos conceitos podemos cair no erro de paralisar a necessária mobilização do espírito científico que não permitirá a flexibilidade do conceito, deformá-lo, criar estruturas de aplicação que permitam a união de experiências e razão.

Este obstáculo está intimamente ligado ao obstáculo verbal, isto é, “a falsa explicação obtida com a ajuda de uma palavra explicativa, nessa estranha inversão que pretende desenvolver o pensamento ao analisar um conceito, em vez de inserir um conceito particular numa síntese racional.” (BACHELARD, 1996, p. 27). Em muitas ocasiões, uma única palavra é usada para designar uma imagem generalizada de uma série de fenômenos, o que promoveria a paralisia do pensamento.

Também é importante destacar que além de imagens e palavras, metáforas ou o apelo à imaginação podem tornar-se em esquemas gerais que seduzem a razão a imobilizá-la, podendo dar a impressão do amadurecimento de um conceito, de sua compreensão, oferecendo diversas propriedades e adaptando-se ao contexto de aplicação, desta maneira “uma porta ou está aberta ou está fechada. Mas o poro está, ao mesmo tempo, aberto para uns e fechado para outros. Há poros específicos para matérias específicas. A imagem está pronta para funcionar nos dois sentidos, como a imagem da esponja, para absorver ou para filtrar” (idem, p. 99).

Este obstáculo é considerado para Bachelard um obstáculo muito poderoso que corresponde à filosofia realista com implicações metafísicas profundamente enraizadas que colocam em jogo qualidades substanciais, com uma experiência mais subjetiva onde reside a inércia espiritual.

Terceiro obstáculo descrito por Bachelard é o obstáculo do conhecimento unitário e pragmático. Nesse obstáculo, é considerada a perfeição dos conceitos, que às vezes podem contrariar as intuições ao se tornar uma característica ou qualidade fundamental dos fenômenos. Por outro lado, a unidade será considerada como um princípio, como um desejo que se realiza com pouco esforço, as dualidades geram suspeitas e erros. Menciona-se também que esse conhecimento unitário que reúne entidades de diferentes naturezas e leva a definir uma supra determinação, sendo típico de um pensamento não científico.

Outro obstáculo que iremos considerar é o obstáculo substancialista, segundo Bachelard é polimorfo e é composto por intuições variadas sendo possível falar de ao menos três tipos de substancialismo, isto é, do oculto, do íntimo, e de uma qualidade evidente, mas fazer esta distinção escapa da crítica "pelo mergulho na intimidade". Porém, que explicada por meio das qualidades ocultas e sob os artifícios da linguagem, "é uma explicação que ameaça a cultura" (BACHELARD, 1996, p. 121)

Para o filósofo o que "é oculto é fechado" caracterizando o mito profundo do íntimo, assim, "o realismo é essencialmente referência a uma intimidade é referência a uma realidade" e mais adiante fala "a ideia substancialista quase sempre é ilustrada por uma simples contingência" (BACHELARD, 1996 p. 123)

Fazendo análise sob os defensores do substancialismo assegura que "as qualidades são substanciais pensadas como qualidades íntimas, [...]. Mas entre os processos fundamentais do pensamento inconsciente o mito do interior é um dos mais difíceis de ser exorcizado" (idem, p, 126) Mas para o espírito científico os fenômenos são momentos para o pensamento teórico, é mais produzido que induzido, pois não se conforma com ligar elementos descritivos da substância, precisa uma determinação das relações com outros objetos, quer dizer, "não se limita a descrever com uma palavra; quer explicar por meio de um pensamento. Pensa-se como se vê o que se vê" (idem, p. 128) porém ao trocar de experiência as convicções sob as substâncias se tornam inadequadas.

Para explicar esse obstáculo, Bachelard usa uma experiência física realizada por Galvani, para testar o efeito da eletricidade sobre as substâncias, portanto, após uma descrição dos diferentes sabores que o experimentador pode saborear em certas substâncias, ele só pode chegar à conclusão destas possibilidades devido às sugestões substancialistas, dando falsas qualidades à ingênua intuição da corrente elétrica.

O fluido elétrico foi considerado como um verdadeiro espírito material, uma emanção, um gás. Se essa matéria sutil atravessasse um tubo contendo urina, ou leite, ou vinagre, iria ficar diretamente impregnada do gosto dessas substâncias; ao encostar dois eletrodos na ponta da língua, a pessoa sentiria o sabor dessa corrente elétrica material modificada pela passagem através de diferentes matérias; seria, portanto, muito ácida como a urina, ou doce como o leite, ou picante como o vinagre (BACHELARD, 1996, p. 131).

Como na questão da eletricidade, são muitos os casos em que o obstáculo substancialista está presente para as explicações das teorias físicas, muitas vezes representando causas de estagnação no progresso das ciências físicas e do conhecimento científico em geral, visto que essa noção esgota o científico. Questões que decidem sobre tudo o que ele explica e pode se tornar essencial. Assim, o progresso no pensamento pode ser evidenciado quando o número de adjetivos adequados a um substantivo pode ser reduzido. Um exemplo disso são as diversas e estranhas qualidades que devem ter sido atribuídas ao éter para poder explicar os resultados obtidos ao fazer experimentos com a luz, tanto com a abordagem corpuscular quanto com a abordagem ondulatória, até que a Relatividade dispensou dela.

2.6. OS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS E SUA RELAÇÃO COM A ÓPTICA E A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Na obra **A Formação do Espírito Científico**, Gaston Bachelard identifica os obstáculos epistemológicos como entraves ao progresso científico, sendo barreiras mentais que dificultam a compreensão e aceitação de novas teorias e em alguns casos como erros a ser superados e é possível identificar alguns obstáculos epistemológicos relacionados à física moderna e contemporânea, incluindo a óptica.

1. Obstáculo da coerência sensorial ou experiência básica: Bachelard argumenta que a experiência sensorial não deve ser considerada como a única fonte válida de

conhecimento científico. Ele enfatiza a importância de superar as limitações da percepção direta e explorar fenômenos que não podem ser facilmente explicados pela experiência sensorial comum. Esse obstáculo pode ser entendido como uma resistência em aceitar que a realidade pode ser mais complexa e contraditória do que aquilo que os sentidos nos apresentam.

O Obstáculo da experiência básica é especialmente relevante na óptica, pois se baseia na crença de que a realidade é diretamente acessível aos sentidos. Na física moderna, especialmente na óptica quântica, os fenômenos nem sempre seguem a lógica da experiência sensorial direta. Por exemplo, o experimento da dupla fenda, no qual um único fóton ou elétron pode se comportar como uma partícula e uma onda ao mesmo tempo, desafia a intuição sensorial, levando à resistência em aceitar a natureza contraditória e complexa dos fenômenos ópticos quânticos. Outro exemplo que explica Bachelard (1965) é o fenômeno da refração dupla, de fato escapa à interpretação do senso comum: “O fato de um raio incidente se dividir em dois raios refratados perturbaria ainda mais os psicólogos que já argumentam sobre o falso problema dos erros dos sentidos ao observarem o bastão quebrado!” (p. 37).

2. Obstáculo substancialista: Ele se refere a uma tendência de pensamento que busca compreender os fenômenos naturais de forma estática, atribuindo-lhes uma essência ou substância fixa e imutável. Na óptica, um exemplo de obstáculo substancialista seria considerar a luz como uma entidade material e concreta, constituída por partículas ou corpúsculos. Essa visão substancialista da luz foi predominante até o século XVIII, quando a teoria ondulatória da luz ganhou força. Com base nessa teoria, a luz é compreendida como uma onda eletromagnética, não como uma substância material.

3. Obstáculo da inércia mental: Esse obstáculo diz respeito à resistência em abandonar teorias e concepções antigas, mesmo diante de novas evidências. Na física moderna, a óptica passou por grandes avanços com o desenvolvimento da óptica quântica e não-linear, desafiando concepções clássicas. O obstáculo da inércia mental pode levar à resistência em abandonar conceitos estabelecidos, como a ideia de que a luz se propaga apenas em linha reta ou que o tempo é absoluto. Superar esse obstáculo requer uma abertura para a revisão de conceitos antigos e a incorporação de novas teorias e paradigmas.

É importante ressaltar que a aplicação das teorias bachelardianas à física moderna e contemporânea, incluindo a óptica, é uma interpretação e extensão dessas teorias. Os obstáculos epistemológicos podem variar de acordo com o contexto específico e a área de

estudo dentro da física. O trabalho de identificar e superar esses obstáculos é fundamental para o avanço científico e a compreensão mais profunda dos fenômenos ópticos na física moderna.

2.7. CONEXÕES ENTRE TEORIAS DE APRENDIZAGEM E EPISTEMOLOGIA BACHELARDIANA

Existem diversas abordagens teóricas, tais como o construtivismo, o behaviorismo e o cognitivismo, que oferecem diferentes perspectivas sobre como as pessoas aprendem e como os professores podem facilitar esse processo. Compreender essas teorias é essencial para criar um ambiente de aprendizagem dinâmico e aplicado.

O construtivismo, por exemplo, enfatiza a construção ativa do conhecimento pelo aluno, por meio de interações com o ambiente e de reflexões sobre suas próprias experiências, já o cognitivismo concentra-se nos processos mentais, como a memória e a resolução de problemas, e na forma como eles influenciam a aprendizagem. Em linhas anteriores expressamos a afinidade das teorias bachelardianas com as cognitivas, com o ponto convergente dos obstáculos epistemológicos e os esquemas cognitivos defendidos por Piaget, onde ambos valorizam o erro e a retificação dos erros como fontes para a aprendizagem dos alunos.

No contexto do ensino de óptica e física moderna e contemporânea, é possível explorar outras teorias de ensino-aprendizagem que dialoguem com a epistemologia bachelardiana, proporcionando uma abordagem mais eficaz e significativa para os estudantes. Ela mesma enfatiza a importância da ruptura com o senso comum e das mudanças de concepções prévias para o progresso do conhecimento científico. Ela se concentra na superação de obstáculos epistemológicos e na construção de novos saberes através de um processo de transformação das ideias.

Assim a Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel, conversa com a epistemologia de Bachelard pois a mesma enfatiza a importância de relacionar o novo conhecimento com conceitos relevantes e significativos já existentes na estrutura cognitiva do estudante. Para promover a aprendizagem significativa, o professor deve ativar os conhecimentos prévios dos alunos, criar situações que estimulem a reflexão e a ressignificação de conceitos, e fornecer informações claras e organizadas.

Ausubel (1983) postula que a aprendizagem implica uma reestruturação ativa das percepções, ideias, conceitos e esquemas que o aprendiz possui em sua estrutura cognitiva. Essa aprendizagem é sistemática e organizada, pois é um fenômeno complexo que não se reduz a simples associações memorísticas. Dentro desse contexto, considera-se a importância da aprendizagem significativa por descoberta. No entanto, Ausubel afirma que nem toda aprendizagem que ocorre na sala de aula é desse tipo, mas sim defende a aprendizagem verbal significativa, que permite o domínio dos conteúdos curriculares ensinados nas escolas, principalmente no nível médio e superior.

Durante a aprendizagem significativa, o aluno relaciona de forma não arbitrária e substancial as novas informações com os conhecimentos e experiências prévias e familiares que já possui em sua estrutura de conhecimento ou cognitiva. A aprendizagem memorística tende a prejudicar a aquisição de novas aprendizagens, enquanto a aprendizagem significativa facilita o conhecimento de conceitos relacionados. Os materiais aprendidos de forma significativa podem ser retidos por um período de tempo relativamente longo, ao contrário da retenção do conhecimento após uma aprendizagem memorística por repetição mecânica, que é por um intervalo de tempo relativamente curto.

Enquanto Ausubel (1983) enfatiza a importância do aprendizado verbal significativo, que envolve a associação de novas informações com conhecimentos prévios, as teorias de Bachelard enfatizam a necessidade de superar os obstáculos epistemológicos e desafiar os preconceitos e concepções errôneas existentes na mente dos estudantes. Bachelard destaca a importância de desconstruir as concepções prévias para permitir a construção de um novo conhecimento científico sólido e coerente. Além disso, a aprendizagem significativa por descoberta mencionada, que envolve a relação não arbitrária e substancial entre novas informações e conhecimentos prévios, pode contrastar com a abordagem bachelardiana, que enfatiza a necessidade de uma ruptura epistemológica com os paradigmas anteriores e a construção de um novo pensamento científico.

No entanto, esses conhecimentos prévios podem desempenhar um papel importante na orientação dos professores durante o planejamento, pois ajudam a identificar possíveis obstáculos epistemológicos enfrentados pelos estudantes e pelos próprios professores ao abordar novos aprendizados, auxiliando-os para usar abordagem mais eficazes que promovam

uma aprendizagem mais elaborado desde o racionalismo, tendo visões gerais relativos tanto ao fenômeno quanto nómeno.

Por outro lado, a teoria da aprendizagem que consideramos têm mais pontos de convergência com a epistemologia de Bachelard é a teoria cognitiva de Piaget. Pois as duas compartilham elementos característicos; e como mencionado antes, os esquemas de Piaget se assemelham com os obstáculos epistemológicos de Bachelard. Astolfi, (2003, p. 15) explica que “os esquemas são a estrutura geral comum às diversas réplicas ou aplicações da mesma ação”, são como simplificações que se fazem por meio da repetição e suas interações adaptativas com o médio. Piaget explica que os esquemas não são simples condicionamentos, e em seus experimentos, aclara que é preciso substituir por um esquema de permanência a descontinuidade do observável na busca do conhecimento.

Da mesma maneira esclarece que é só um exemplo pois para Piaget, a evolução intelectual é o resultado da construção de esquemas sucessivos, distinguindo esquemas de ação, senso motores, operatórios, verbais entre outros. Assim no texto, Astolfi (2003) cita a Rabardel para dizer que os esquemas respondem a “uma organização ativa da experiência que integra o passado” a “uma estrutura que tem uma história e se transforma à medida que se adapta a diversos dados e situações” (ibid.). Porém, que se entenderia mal se são considerados como estados do conhecimento presentes na memória, eles são mobilizados, reatualizados e postos em marcha na presença de novas situações.

Assim sendo, para Piaget o progresso no conhecimento não ocorre simplesmente retornando a um equilíbrio anterior, mais sim através do desequilíbrio que nos impulsiona a buscar um novo equilíbrio, sendo um processo dinâmico de desequilíbrio e reequilíbrio que incentiva o avanço do conhecimento e do progresso humano, levando as pessoas a desenvolver progressivamente seu conjunto de esquemas do pensamento. Desta maneira, o aprendiz consegue desenvolver-se para um estado mais elaborado capaz “de se libertar da experiência concreta e da ação real dos objetos” (ibid.), adentrando-se num mundo simbólico e confrontando suas observações empíricas, conciliando com a epistemologia bachelardiana ao reconhecer a importância do processo de ruptura e reconstrução do conhecimento, explorando relações entre experiência concreta e as abstrações científicas.

Nesse contexto, ambas perspectivas –piagetiana e bachelardiana- convergem ao reconhecer a relevância dos erros como oportunidades de reflexão e desenvolvimento cognitivo,

e Bachelard defende a necessidade de retificar o pensamento reconhecendo os obstáculos como as causas de inercia que afetam a razão, pois os esquemas podem gerar obstáculos mais estes são “verdadeiros conhecimentos funcionais para o sujeito” (ASTOLFI, 2003, p. 17)

Ainda do texto de Astolfi, podemos ver as tipologias de erros que os alunos podem cometer, incluindo os erros relacionados à compreensão das instruções de trabalho, erros decorrentes de costumes escolares ou má interpretação das expectativas, assim como erros que refletem concepções alternativas e os relacionados as operações intelectuais, erros nos procedimentos utilizados, erros devido à sobrecarga cognitiva e erros causados pela complexidade do conteúdo. Na tabela a seguir mostramos essa classificação.

Quadro 1.- Tipologia dos erros

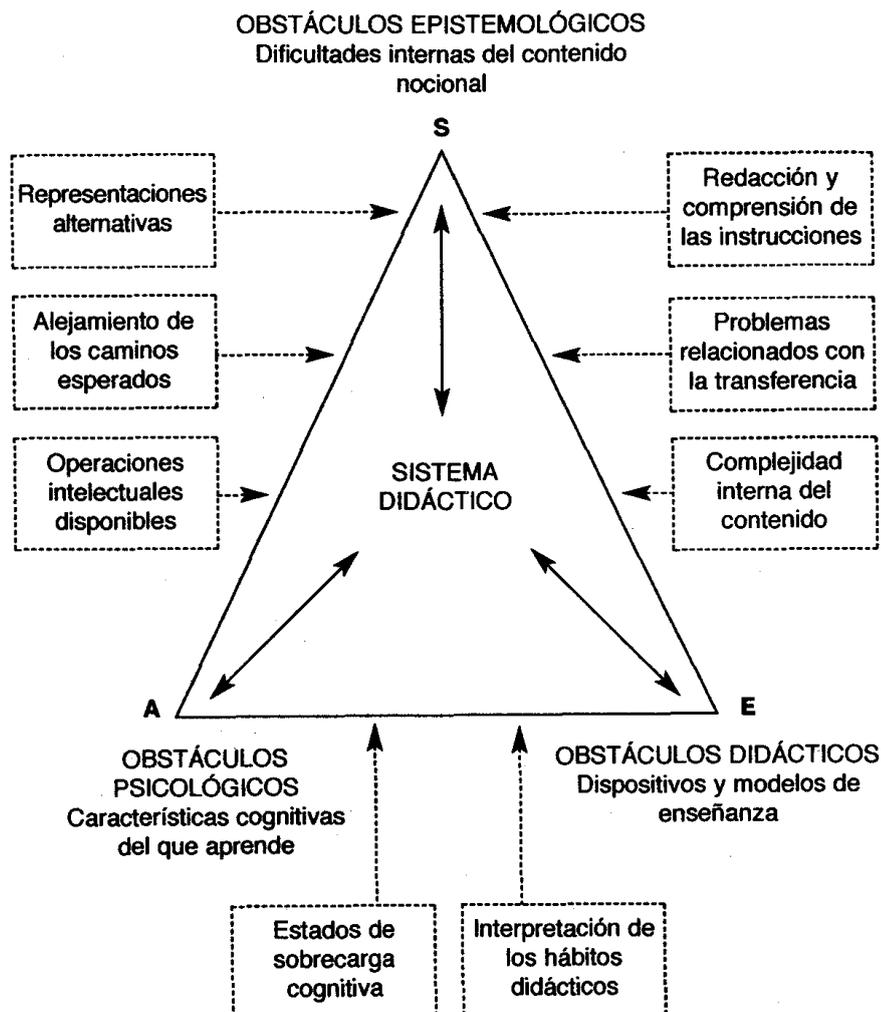
Tipologia dos erros	
NATUREZA DO DIAGNÓSTICO	MEDIAÇÕES E REMEDIO
1. Erros devidos à redação e compreensão das instruções	-Análise da legibilidade dos textos escolares. -Trabalho sobre a compreensão, a seleção e a formulação das instruções.
2. Erros resultantes de hábitos escolares ou má interpretação de expectativas	-Análise do modelo e hábitos docentes atuais. -Trabalho crítico sobre expectativas
3. Erros como resultado de concepções alternativas dos alunos	-Análise das representações e obstáculos subjacentes ao conceito estudado. -Trabalho de escuta, conscientização dos alunos e debate científico em sala de aula
4. Erros ligados às operações intelectuais envolvidas	-Análise das diferenças entre exercícios que parecem próximos, mas que implementam capacidades lógico-matemáticas diferentes. -Seleção mais rigorosa de atividades e análise de erros dentro desse quadro.
5. Erros nos processos adotados	-Análise da diversidade de processos “espontâneos”, distanciados da estratégia “modelo” esperada. -Trabalhar nas diferentes estratégias propostas para promover a evolução individual.
6. Erros por sobrecarga cognitiva na atividade	-Análise da carga mental da atividade. -Decomposição em subtarefas com dimensões cognitivas que podem ser gerenciadas
7. Erros que têm origem em outra disciplina	-Análise das características estruturais comuns e das diferentes características superficiais nas duas disciplinas. -Trabalho de investigação sobre os elementos invariáveis das situações.

8. Erros causados pela complexidade do conteúdo	-Análise didática dos nós de dificuldade intrínsecos aos conceitos insuficientemente analisados.
---	--

Fonte: Astolfi, 1999, p. 82.

Neste quadro são apresentados os tipos de erros e como se pode fazer uma mediação nos diversos contextos da sala de aula, para remedia-los. Para Astolfi, (1999) esta visão geral dos erros, que talvez não seja exaustiva, busca romper com as categorias tradicionais adotadas para discuti-los. Ela oferece uma espécie de lista de verificação na qual podemos nos questionar sempre que um erro do aluno nos surpreender. Propõe um quadro de reflexão e análise para equipes pedagógicas interessadas em aprofundar o assunto, já que dominar esse tema é uma tarefa difícil de ser realizada sozinho ampliando com o denominado triângulo pedagógico.

Figura 3. Triângulo Pedagógico.



Fonte: Astolfi, (1999, p. 83)

3. HISTÓRIA DA ÓPTICA E SUAS IMPLICAÇÕES DIDÁTICAS

“Foi dito, por exemplo¹⁰, que o físico acreditava que a luz era um movimento da onda na segunda, quarta e sexta-feira, enquanto era uma chuva de partículas na terça, quinta e sábado. No domingo, o físico descansaria de acreditar. Essa gênese de uma semana, mesmo que resuma a história de três séculos, ignora o surgimento progressivo de valores epistemológicos”

Bachelard, (1965, p. 49)

3.1. A PERSPECTIVA HISTÓRICA DA ÓPTICA

Desde os primórdios da civilização humana, o homem tem procurado explicar o mundo ao seu redor, a invenção do fogo foi um grande passo em sua evolução que lhe permitiu sobreviver, pois além de cozinhar seus alimentos, poderiam ter noites mais quentes e iluminadas, assim, a relação desse elemento com a luz é inevitável; para os gregos platônicos, por exemplo, a luz era considerada "um fogo divino", portanto, ao estudar o fogo, os antigos filósofos também estudaram a natureza da luz.

A óptica como um ramo da física que estuda a luz, suas propriedades e modos de propagação, torna-se um ramo da física com características de valor inestimável para o desenvolvimento de suas ideias. Na verdade, Rossi, B. (1966) no prefácio do texto fundamentos da óptica aponta que a óptica "oferece uma oportunidade quase única de ilustrar o valor e as limitações dos modelos físicos que desempenham um papel tão importante no desenvolvimento do pensamento científico "(p. 4).

¹⁰ Neste contexto, Bachelard faz referência a Cir Eldrige em sua obra 'The Physical Basics of Things', publicada em Londres em 1934, pág. 348, para ilustrar a importância dos valores epistemológicos subjacentes na história da física.

Deste modo, a história da óptica é amplamente reconhecida como uma ciência milenar que está intimamente ligada à Luz e à visão. Sendo uma das ciências mais antigas, juntamente com a astronomia, a óptica tem acumulado um vasto conhecimento ao longo dos séculos, com inúmeros estudiosos que contribuíram para seu desenvolvimento, citar todos os expoentes dessa área em detalhes seria uma tarefa impossível. Será feita referência aos atores mais importantes ou cujas obras tenham gerado um avanço significativo para o desenvolvimento desta ciência ou onde seja possível evidenciar, a superação de obstáculos epistemológicos que permitiram a modificação de ideias, superação de erros e novas formas de pensar e experimentar.

A óptica, considerada um ramo da física ou nas palavras de Halliday e Resnick (2009, p. 2) “ramo do eletromagnetismo”, que estuda a radiação luminosa, também está associada aos fenômenos da visão. Se a radiação luminosa for aceita como luz, seria o estudo de suas características, leis, propagação e a forma como é emitida pelos corpos luminosos. A história deste campo da física mostra que o conceito de luz não é um conceito aceito como definitivo, mas que evoluiu ao longo do tempo e graças aos avanços e aprimoramentos de experimentos e dispositivos para estudá-lo, conseguiu-se criar definições que explicam mais ou menos adequadamente os fenômenos a ela associados, ao passo que surgiram modelos para explicar sua composição, permitindo o avanço de ideias, modelos e noções que foram retificados ao longo do tempo.

Do ponto de vista estrito da física, a luz é definida como uma onda eletromagnética, com todas as propriedades que essa onda apresenta. Porém, a mesma física define a luz como corpúsculo, aceitando desde aproximadamente o ano de 1930, os aspectos ondulatórios e corpusculares com o desenvolvimento da eletrodinâmica quântica, teoria que engloba as duas propriedades da luz.

3.2. PRIMEIRAS IDEIAS SOBRE A NATUREZA DA LUZ

Durante a antiguidade, diversos pensadores e filósofos se dedicaram ao estudo da óptica, contribuindo para o desenvolvimento das teorias e conceitos fundamentais nessa área. Para os antigos Egípcios a luz era considerada como a filha do Deus Sol, já para os Hebreus a luz foi criada por Deus como descrito nos livros do Gênesis e Êxodo. Nessa época, era preciso

responder à pergunta se a luz vinha dos objetos ou saía dos olhos. Entre os expoentes mais importantes da época, destacam-se Homero, Empédocles, Demócrito, Archytas de Tarento, Epicuro de Samos e Platão Atenas.

Homero, poeta grego que viveu entre os séculos IX ou VIII a. C., acreditava que a luz provinha dos olhos, considerando-a como partículas visuais, assim se pode descrever como o precursor da Teoria Corpuscular da luz (BASSALO, 1996, 1986), pois viveu em uma época anterior a Empédocles. Por sua parte, Empédocles filósofo grego do século V a. C, mais conhecido na literatura como precursor da teoria corpuscular, defendia que a velocidade da Luz era finita, com velocidade de propagação determinada, embora não tenha sido capaz de medi-la de forma precisa. Seus estudos contribuíram para a compreensão da propagação da luz no espaço. Para ele, a luz era composta por partículas minúsculas emitidas pelos objetos visíveis e essas partículas seriam captadas pelos olhos, permitindo a percepção visual. Suas ideias influenciaram o pensamento posterior sobre a óptica e abriram caminho para o desenvolvimento de teorias mais complexas, constituindo passos importantes para entender a natureza da luz e sua interação com o mundo visual.

Demócrito, filósofo grego do século V a.C., também apoiava a teoria corpuscular da luz. Suas contribuições abordavam questões relacionadas à formação da visão e ao comportamento dos raios de luz. Archytas de Tarento, matemático, filósofo e cientista grego do século IV a.C., discutia a natureza da luz e seus efeitos. Ele explorou temas como a reflexão e a refração, fornecendo uma base sólida para o estudo posterior desses fenômenos ópticos.

Epicuro de Samos, filósofo grego do século III a.C., também tinha interesse pela óptica e contribuiu para a compreensão da formação das imagens visuais, investigando a relação entre a luz e a visão. Platão de Atenas, filósofo grego do século IV a.C., desenvolveu uma teoria própria para explicar o fenômeno da visão. Ele acreditava que a luz era emitida pelos olhos e que, ao interagir com os objetos, formava imagens visuais. Sua visão sobre a óptica teve uma influência significativa na compreensão desse campo ao longo dos séculos. Esses pensadores e filósofos da antiguidade deixaram um legado importante para o estudo da óptica, lançando as bases para as teorias e conceitos que seriam desenvolvidos posteriormente. Seus trabalhos pioneiros demonstram o interesse ancestral em compreender a natureza da luz e a forma como ela interage com o mundo ao nosso redor

Platão de Atenas (c.427- c. 347), considerava que:

[...] a visão de um objeto era devida a três jatos de partículas: um partindo dos olhos, um segundo proveniente do objeto percebido e um terceiro vindo das fontes iluminadoras, [...], assim, um feixe de raios luminosos parte dos olhos até o objeto observado, lá se combina com os raios emitidos pela fonte iluminadora, retornando então aos olhos dando-lhe a sensação de visão (BASSALO, 1996, p. 12).

A partir das informações anteriores, pode-se observar como o "modelo simplificado" da propagação da luz e o conceito de raio estão presentes nas ideias de Platão derivadas do modelo corpuscular da luz. Da mesma forma, os trabalhos do matemático Euclides de Alexandria (f. C 300 a. C) baseados na teoria corpuscular da luz, permitiram escrever grandes obras que ainda hoje são fundamentais para o estudo dos fenômenos ópticos. "No tratado *Catóptrica*, Euclides descreveu o comportamento de raios luminosos refletidos por espelhos planos, côncavos e convexos, e demonstra a lei da reflexão da luz, asseverando ainda que era válida para espelhos planos, quer para espelhos esféricos". (BASSALO, 1996, p. 13)

Aproximadamente no ano 70 a. C., o grego Gêminio de Rodes, apresenta à divisão clássica da óptica, assim, a "óptica será o estudo da teoria geométrica da percepção visual do espaço e dos objetos nele situados; *Catóptrica*, estudo da teoria dos espelhos e alguns fenômenos relacionados à refração, e a *Cenografias das regras da Perspectiva*" (BASSALO, *ibid.*, pp. 12-13).

A esta altura pode-se dizer que já existiam quatro leis fundamentais da óptica, fruto da experimentação e das ideias dos filósofos e matemáticos da antiguidade e do início da nossa era. A lei da propagação retilínea da luz encontra-se nos tratados de Heron de Alexandria (10 d. C e 70 d. C), que estabeleceu o princípio "esse é o caminho mínimo descrito por um raio de luz". Segundo Landsberg, (1976) esta lei também foi escrita por Euclides e considera que tem "um significado muito profundo porque o próprio conceito de linha reta surgiu como consequência de observações ópticas" (p. 10).

Da mesma forma, a lei da reflexão e refração da luz foram estabelecidas por Euclides e conhecidas por Aristóteles, que defendeu uma teoria ondulatória para a luz, em oposição aos pitagóricos e platônicos. E, por fim, a lei da independência dos feixes de luz que assume importantes conotações ao estudar a sobreposição de ondas e ao detalhar as teorias de Huygens. Juntas, as três primeiras leis aparecem formuladas muito antes da era atual e constituem uma base muito importante para a evolução das teorias físicas contemporâneas.

Para os historiadores, o percussor da teoria ondulatória da luz foi Aristóteles de Estagira (384-322), ao contrário de Empédocles que defendia a tese que a velocidade da luz tinha natureza infinita. Além disso, é importante destacar que foi pioneiro ao oferecer uma explicação para o fenômeno do arco-íris, sua contribuição nesse estudo das noções da óptica é frequentemente mencionada, pois o arco-íris é um fenômeno natural intimamente associado à visão, assim, novamente Bassalo (1996) escreve: "[...]. Além de explicar corretamente a forma circular do arco-íris, Aristóteles percebeu que a sua localização no espaço dependia do ângulo entre a direção dos raios solares incidentes e à dos raios refletidos pelas nuvens até os olhos do observador" (p. 13).

Outros elementos amplamente estudados nos tempos antigos foram espelhos e lentes, a arqueologia encontrou espelhos que remontam a mais de 3.500 anos, e seus registros são mencionados tanto na Bíblia cristã quanto nas obras de Arquimedes de Siracusa (c. 287-212), um matemático grego muito importante da pré - Era cristã. Há indícios de que Arquimedes pode ter utilizado espelhos como armas de guerra. De acordo com Bassalo (BASSALO, 1996, p. 9) explica que, Arquimedes no seu livro *Catóptrica*, "estudou os espelhos que apresentavam a propriedade de concentrar, em determinados pontos, raios luminosos paralelos incidentes, como ocorre com os espelhos esféricos e os paraboloides de revolução, espelhos esses denominados de **incandescentes** ou **ustórios**". Essas descobertas e estudos apontam o interesse antigo na óptica e na compreensão dos princípios ópticos.

Também os espelhos foram estudados por Apolônio de Perga, da mesma forma, as propriedades ópticas do vidro e das esferas de vidro, bem como as propriedades reflexivas dos espelhos planos e curvos, receberam atenção. Diferentes filósofos da época foram partidários da teoria ondulatória da luz, foi Alexandre de Aphrodisias, que viveu, provavelmente, nos últimos dois séculos antes de nossa era, quem explicou a formação dos arco-íris duplos, e descreveu a região escura entre eles, conhecida como a região escura de Alexandre. Da mesma forma, Herón, a favor do fato de a luz ser um conjunto de corpúsculos, fez várias escritas em espelhos côncavos e convexos, estabelecendo as ideias básicas do caleidoscópio e do teodolito.

Nessa linha de ideias, Bassalo 1996, explica que Lucius Annaeus Sêneca (4 a.C-65 d. C), parece ser o primeiro a explicar a dispersão da luz nas bordas do vidro e, no texto de Hecht (1998), é mencionado que Sêneca observou "que um globo de vidro cheio de água podia ser utilizado como instrumento de ampliação" (p.17); por sua parte, o astrônomo Claudio

Ptolomeu (85-165) descreveu a refração da luz solar e das estrelas ao apresentar analiticamente esse fenômeno, fazendo anotações sobre as relações entre os ângulos de incidência e refração, relações importantes que foram a base do trabalho da óptica no Idade Média, com as obras de Al-Hazen e Witelo por exemplo.

Os textos de Bassalo, (1976, 1986), Hecht (2002), Landsberg, (1976), Calvo, (2002) entre outros textos, ressaltam que os estudos de óptica sofreram uma espécie de lentidão, ou seja, cerca de seiscentos anos não houve avanços significativos neste campo, e que foi só no ano 1000 d. C, que foram retomadas as ideias de óptica com o Al-Hazen, que aperfeiçoou a lei da reflexão, estabelecendo que as direções dos ângulos de incidência e reflexão se localizam no mesmo plano, além de fazer a descrição detalhada do olho humano, e defender a hipótese da finitude da velocidade da luz; todos estes trabalhos tiveram grande influência no renascimento da óptica e divulgados por Roger Bacon (1215-1294), sofrendo uma nova estagnação após a morte deste.

Bacon ainda sugere "...a utilização das lentes para compensar os defeitos visuais e lançou a ideia da combinação de lentes para construir um telescópio. Discorreu também sobre o modo como os raios luminosos atravessam uma lente". (HECHT, 2002, p. 18). Tornando a Bacon como o precursor do Telescópio. Leonardo da Vinci (1452-1519) descreveu a câmara obscura, talvez estudada no século V antes da nossa era, e suas invenções foram mostradas pelo trabalho de Giovanni Battista Della Porta (1535-1615), quem também trabalho com espelhos múltiplos e combinações de lentes positivas e negativas. Por sua parte, "Bacon achava que o arco-íris era devido a pequenas imagens do Sol desvanecidas em inúmeras gotas d'água, e suas cores como sendo um fenômeno subjetivo produzido pelo olho" (BASSALO,1986, p.140)

Este ponto parece importante destacar aqui porque apresenta concepções que esses filósofos e cientistas da época tinham sobre os fenômenos estudados, as leis enunciadas e as teorias sobre a luz, e destacam as noções que tiveram que ser superadas para o avanço de sua ciência, ou seja, revelam importantes avanços na compreensão dos fenômenos ao longo da história.

Outra ideia a destacar do físico matemático Al-Hazen (Abu -'Ali Al-Hasan Ibn al-Haytham, (c. 965- 1038), no seu livro Tesouro da Óptica afirmou que "a fonte dos raios luminosos está no Sol ou em qualquer outro objeto luminoso, e mais ainda, que a visão se deve tão somente à reflexão desses raios para os olhos que estão contemplando determinado objeto"

(BASSALO, 1996, p. 36). Estas afirmações se contrapõem às feitas séculos antes pelos filósofos, como Platão e Aristóteles, pois enquanto Platão defendia a teoria da extramissão, acreditando que os olhos emitem raios de luz para perceber o mundo exterior, Aristóteles propunha a teoria da intromissão, argumentando que os objetos emitiam formas visíveis que eram capturadas pelos olhos, de esta forma, Al-Hazen desafiou as concepções tradicionais contribuindo para uma compreensão mais precisa e científica da visão, e embora não alcançou formular uma lei correta para a refração, se conseguiu aperfeiçoar as tabelas de refração de Ptolomeu.

Analisando o olho humano, Al-Hazen mostrou que a curvatura da lente era o que dava o poder de ampliação, e não a uma propriedade intrínseca à sua composição, permitindo a construção de lentes compostas, determinou os focos de diferentes espelhos, fato que o ajudou na descoberta do problema da aberração esférica, observando que não acontece com os espelhos parabólicos e escreveu sobre o aparente aumento no tamanho da Lua, a obtenção de imagens em câmaras escuras e a lei do trajeto mínimo da luz, descoberto anteriormente por Heron de Alexandria. Nenhuma de suas teorias apresentam sua concepção sobre a natureza da luz e talvez o fato de não apresentar este detalhe em seus escritos, levou a interpretações errôneas, fazendo com que por exemplo, Robert Grosseteste (c. 1175-1253) retomara a concepção platônica "segundo a qual a luz é uma criação divina, e a tomou como a substância primordial do Universo" (BASSALO 1996, p. 37).

Nos anos seguintes os estudos sobre óptica parecem estar focados no estudo do arco-íris seguramente pela sua beleza y também talvez por sua relação com o divino, ou seja, com Deus, refletida nas crenças judaico-cristãs que prevaleciam na época, contudo, Al-Hazen desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento da óptica, deixando um legado duradouro para a ciência. Suas pesquisas e experimentos inovadores revolucionaram nossa compreensão da visão e da luz. Suas descobertas sobre a propagação da luz, a formação de imagens e a refração lançaram as bases para a óptica moderna. Além disso, sua explicação correta sobre a formação do arco-íris demonstrou sua profunda compreensão dos fenômenos ópticos. Seu trabalho influenciou gerações de cientistas posteriores, que avançaram ainda mais nesse campo de estudo. A importância de Al-Hazen para o desenvolvimento da óptica é inegável, consolidando seu lugar como um dos grandes pioneiros nessa área do conhecimento.

3.3. OUTROS CONTEXTOS DA NATUREZA DA LUZ: Os Séculos XVII E XVIII

Após um modesto avanço na óptica por estudiosos antigos e aquele período de estagnação de ideias experimentado por vários fatores políticos e sociais, os séculos XVII e XVIII aparecem com um turbilhão de estudiosos com capacidades antes impensáveis de propor ou reformular leis existentes, que vieram a mudar o curso na forma de fazer ciência. Certamente, é importante notar como, neste período, a apreensão dos preconceitos e também do poder de autoridade de muitos cientistas que surgiram no tempo, nos permitem avaliar com clareza as limitações e / ou a ousadia dos modelos propostos.

Pode-se dizer que o século começa com a invenção dos telescópios; até Galileu Galilei (1564-1642) usá-los para olhar para o céu, eles eram usados para fins militares. Alguns historiadores apontam justamente esse fato como o mais relevante para mostrar o gênio de Galileu Galilei. Muitos expoentes da física e da matemática viveram nesse período, demonstrando uma grande capacidade de raciocínio que deveria prevalecer na época, uma vez que não é mais apenas o mundo das ideias e do divino, é necessário gerar conhecimento por meio de argumentos lógicos e racionais.

Com relação ao microscópio, Galileu foi o primeiro a fazer com ele uma observação científica. Conforme nos fala Cortes Pla em seu livro Galileu Galilei por volta de 1612, utilizou um telescópio às avessas para descrever o olho complexo de um inseto, bem como para descrever a textura das folhas. Maravilhado com o que acabara de ver, chegou a oferecer um microscópio a seu amigo, o Príncipe Cesi, para que este visse milhares de coisas curiosas e, também, verificasse como a pulga é horrível. Não obstante o gênio de Galileu, escaparam-lhe, contudo, as duas grandes descobertas da visão microscópica ocorridas no século XVII: a célula (1665) e a bactéria (1683) (BASSALO, 1996, p. 149).

A patente de um telescópio de dioptria foi registrada em 1608 por um fabricante holandês, do qual Galileu ouviu falar e passou a construir seu próprio telescópio, polindo as lentes e obtendo maior poder de resolução.

Do mesmo modo, o microscópio composto, que abriu novos caminhos de investigação no nível microscópico foi inventado pelo holandês Zacharias Janssen (1588-1632),

posteriormente, este sofreu uma modificação na mão de Francisco Fontana e por sua parte, no telescópio, Johannes Kepler (1571-1630) fez as mudanças apresentando mais tarde, dois telescópios um com ocular positivo, conhecido como kepleriano e outro ocular negativo, o galileano. Além destes aparelhos, Kepler fez aproximações sobre os ângulos da lei de refração da luz achando proporcionalidade entre os ângulos incidentes e transmitidos ao tempo que descobriu a reflexão interna total, tudo isso apresentado no seu livro *Dióptrica*, que é um tratado comparado em importância, aos *Elementos de Geometria de Euclides* e explica a nova ciência da refração das lentes, defende a tese aristotélica do caráter infinito da velocidade da luz, edificando também uma teoria sobre a visão:

(...) a visão decorre do estímulo da retina que é tingida com os raios coloridos do mundo visível, e depois transmitida ao cérebro por uma corrente mental. Mais tarde, através de seu estudo teórico das lentes, Kepler completaria sua teoria pioneira da visão afirmando que os raios luminosos provenientes de objetos visíveis, após refratarem-se nas lentes dos olhos, projetam-se em forma invertida na retina (BASSALO, 1986, p. 150).

Os trabalhos de Willerbrord Snell (1591-1626) "abriram uma porta para a óptica aplicada contemporânea" (HECHT, 2002, p. 19) pois conseguiu empiricamente explicar a lei da refração, "Ao compreender exatamente como é que os raios de luz são deflectidos ao atravessar a fronteira entre dos meios, isto é, um dioptro", sendo o Universo um continuo. René Descartes, assumiu que a luz "é uma pressão transmitida por um meio elástico" (idem, p. 19) assim, em *La Dioptrique* (1637) escreveu:

...recorde-se a natureza que atribuí à luz, quando afirmei que esta não é mais do que certo movimento ou ação, no seio de uma matéria muito subtil que preenche os poros de todos os corpos" (HECHT, 2002, p.19)

René Descartes (1596-1650) foi creditado por formular a lei da refração em termos de senos, sua óptica foi influenciada pela obra de Galileu, e ele concebeu que a luz era o resultado de uma força vibratória de corpúsculos atingindo velocidades infinitas, o que permite sua propagação instantânea. Como pode ser visto, quase tudo o que foi estudado até agora permanece no campo da óptica geométrica onde a propagação retilínea da luz é uma constante e o modelo matemático do raio é considerado com uma aproximação adequada.

Pierre de Fermat (1601-1665) deduziu também, partindo do princípio do tempo mínimo, "a lei da Refração" (HECHT, 2002 p. 19). Erasmus Bartholin (1625-1698) descobriu a dupla refração, ao fazer girar o cristal de feldspato-da-islândia (calcita), em torno de um feixe

incidente de luz, observou que um dos raios refratados permanecia fixo, enquanto o outro girava com o cristal, razão pela qual, no primeiro caso, a imagem permanecia fixa, e no segundo, se deslocava. Esta descoberta auxiliou mais tarde a Huygens em seus trabalhos fazendo com que ele explicara o fenômeno de polarização da luz.

Francesco Maria Grimaldi, (1618-1663) foi quem observou e registrou pela primeira vez o fenômeno da difração, "isto é, o desvio relativamente à direção da propagação retilínea que ocorre quando a luz se propaga para além de um obstáculo. [...] ele observou faixas de luz no interior da zona de sombra de uma vara exposta a uma pequena fonte luminosa..." (HECHT, p. 19); questões estas que foram publicadas depois da sua morte; na sua descrição, ele explica que a luz além de se propagar por reflexão, refração e difusão também o faz por difração; pois para ele "a noção de raio luminoso, base da Óptica geométrica, não era suficiente", (ROSA, 2012, p. 162),

A ideia de retificação do modelo já pode ser observada, devido à sua insuficiência para explicar as novas descobertas, em adição, Grimaldi também é o criador das redes de difração, que mais tarde permitirá explicar a teoria ondulatória da luz com os experimentos de Young. Nessa ordem de ideias, Bassalo (1987) escreve, que ele apresentou muito convencido sua descoberta:

[...] se um feixe de luz branca passar através de dois estreitos orifícios, situados um atrás do outro, e em seguida atingir um anteparo branco, haverá neste uma região iluminada além da que deveria existir se a luz se propagasse em linha reta. É como se a luz se "encurvasse" ao passar pelos orifícios. Observou ainda que nas bordas dessa região iluminada havia uma ligeira coloração avermelhada e azulada [...]. (p. 141).

Todos esses experimentos estavam lançando as bases para as descobertas subsequentes de Young duzentos anos depois, enquanto permitiam o avanço de novas teorias ou formulações sobre a natureza da luz, para Grimaldi, "A luz seria, assim, um corpo diferente da matéria, por sua natureza e geração. Comparável ao som, era a luz produzida pela vibração rítmica de uma substância" (ROSA, 2012), e um fluido que se move extremamente rápido defendendo a teoria do éter, como Descartes, Melebranche, Hooke, entre outros.

Naquele mesmo ano de 1665, surgiu o livro do físico inglês Robert Hooke (1635-1703) intitulado *Micrographia*, no qual descreve experiências que mostram a presença de luz na sombra geométrica de um objeto iluminado e, também, de cores produzidas por uma lâmina

transparente e fina, de faces paralelas, e iluminada com luz branca. Fala sobre o aparecimento de anéis coloridos quando uma das faces da lâmina é uma superfície esférica. Hooke, propôs que "qualquer impulso ou vibração de um corpo luminoso gera uma esfera", sendo a primeira "pedra" da teoria ondulatória. (HECHT, 2002, p. 19), ao tempo que estudou a dupla refração, sendo que a mesma se devia à falta de simetria no movimento vibratório da luz, tornando-se o precursor de Huygens, e crítico as obras de Newton sobre óptica. Moura e Silva (2008) escrevem:

Hooke suponha que a luz seria uma sucessão de pulsos propagados pelo éter. Segundo ele, os anéis seriam ocasionados pela mistura de dois pulsos, um refletido na primeira superfície do filme e outro refletido na segunda. Apesar da semelhança aparente com a concepção atual de interferência luminosa, vale ressaltar que Hooke não utilizou qualquer terminologia parecida com a adotada atualmente (p. 220).

Os trabalhos de Hooke em óptica representaram uma ruptura epistemológica pois até então, a óptica estava predominantemente baseada nas teorias corpusculares de Newton, que considerava a luz como movimento de partículas, no entanto, Hooke por meio de suas experiências e observações propôs uma abordagem diferente: a teoria ondulatória da luz ao descrever a presença de luz na sombra geométrica de um objeto entre outras consequências de seus experimentos, consegue lançar as bases para a compreensão desta natureza da luz. Justamente, sua explicação de que qualquer impulso ou vibração de um corpo luminoso gera uma esfera, foi um passo significativo em direção da teoria ondulatória, trazendo uma nova perspectiva epistemológica para óptica, colocando a luz como entidade vibratória com comportamento semelhante às ondas, desafiando as ideias conhecidas e apresentando uma abordagem mais abrangente para o fenômeno da luz.

O trabalho de Hooke é valorizado na história da ciência, e ainda quando Hooke, não tenha feito referência explícita à interferência luminosa, suas investigações estabeleceram os fundamentos para a compreensão desse fenômeno, que se destacamos como um elemento importante, apareceria como uma limitação linguística (obstáculo verbal), mais considerando que devemos reconhecer o contexto histórico no qual está imerso um descobrimento científico, não diminuem a importância de suas contribuições e valorizar mais ainda seu trabalho.

Contemporâneo de Hooke, Isaac Newton (1642-1727) surge como uma figura proeminente das teorias ópticas, da mesma forma que Galileu, Newton trabalhou em vários campos da física, sabe-se que desenvolveu as leis da mecânica clássica e com isso, elaborou

independentemente de Leibniz, o cálculo infinitesimal, além de outros trabalhos que lhe deu grande autoridade no campo acadêmico. No campo da óptica, Newton fez importantes descobertas, como a dispersão da luz por prismas, os anéis que hoje levam seu nome, o telescópio refletor, entre outros. Talvez sua autoridade e reputação na comunidade acadêmica o tenham feito abster-se de aceitar quão válidas são a teoria ondulatória da luz ou a teoria corpuscular.

Para a época, não era concebível que as duas teorias, 'opostas', pudessem se complementar, como demonstrado pelo trabalho dos físicos no início do século 20, no alvorecer da mecânica quântica; e a principal razão para não aceitar a tese ondulatória foi devido à sua incapacidade de explicar, em termos ondulatórios, a propagação retilínea da luz, também em outros aspectos como a aberração cromática, não ofereceu respostas satisfatórias, e às vezes erradas. Nesse sentido, Moura e Silva (2008) registram: “ele descreveu diversas ocasiões em que o fenômeno ocorria e procurou- sem grande sucesso- calcular a espessura da película de ar responsável pela formação dos anéis” (p. 220). No entanto, as teorias de Newton permearam o pensamento científico do século XVIII.

No ano 1642 escreve que a sua teoria da luz e da cor, era a mais importante descoberta até então, "consegui um prisma triangular de vidro para, com ele, aceder aos célebres fenômenos cromáticos" (HECHT, 2002, p.19) e defende a tese corpuscular, segundo a qual a luz seria parcialmente refletida e parcialmente refratada por um engenhoso sistema de “ajustes de fácil reflexão e refração”. Tais ajustes eram causados pela vibração dos corpúsculos ao serem ejetados pelos corpos luminosos, ou, em outras palavras, a reflexão e a refração seriam devidas às forças exercidas pelas partículas dos corpos refletores ou transparentes sobre os corpúsculos. (ROSA, 2012, p. 164).

Todas essas afirmações o levaram a estabelecer hipóteses sobre a propagação da luz em diferentes meios, e sublinhando que a velocidade da luz seria maior em um meio denso, ele também aceita a existência de éter que lhe permite explicar ações à distância devido à gravidade, porque até então não havia conceito de campo.

Christiaan Huygens (1629-1695) foi um grande divulgador da teoria ondulatória da luz, concluindo corretamente que a velocidade da luz diminui ao penetrar em meios mais densos. Com base na teoria ondulatória consegue explicar as leis fundamentais da óptica e a dupla refração na calcita ilustrando o fenômeno da polarização, como mencionado em linhas

anteriores. "Uma vez que há duas refrações distintas parece-me que devem também existir duas emanações distintas de ondas de luz..." Para ele a luz era um feixe de partículas ou uma ondulação rápida da matéria etérea" (HECHT, 2002, p. 20).

Estas duas emanações distintas poderiam ser o que conhecemos hoje como ondas eletromagnéticas. Huygens também defendia que a luz se propagava instantaneamente, mas não falava de velocidade infinita, se não sempre muito elevada... "muitos acreditavam que a luz se propagava instantaneamente, noção esta que retrocedia, no mínimo, até Aristóteles" (HECHT, 2002, p. 20), por isso, não há evidência que ele achava que a luz tinha velocidade infinita. Além disso, sustentava a tese do éter que transportava a luz, assim sendo:

[...] a luz consistiria de um movimento da matéria que se encontra intercalada entre nós e o corpo luminoso. A propagação se daria por um meio que chamou de éter, constituído de partículas ínfimas, rijas e elásticas, que não é o ar, porquanto este existe em quantidade limitada no nosso Mundo e inexistente no espaço interplanetário. O meio propagador não seria, assim, a atmosfera, já que a luz, ao contrário do som, percorre o vácuo (ROSA, 2012, p. 165).

Novamente o éter forma parte constituinte das teorias físicas, vai a ganhar propriedades inesperadas no intuito de explicar a variedade de fenômenos presentes aos que ainda não se conhecia sua origem. Mais tarde Huygens escreve, "A luz se propagaria, em geral, por ondas esféricas de choques, que se empurra por meio do éter a uma velocidade finita e variável, de acordo com o meio (quanto mais denso o meio, mais vagarosa a velocidade da luz" (ROSA, 2012), em adição vai expondo que a luz, ao igual que o som, se estende pelas superfícies e por ondas esféricas não regulares entre si, mesmo assim considerou as ondas de luz como ondas longitudinais e não transversais como foram teorizadas por Hooke e confirmadas por Fresnel.

Para o ano de 1676 Ole Christensen Römer (1644-1710) mediu a velocidade da luz mostrando que era finita, fazendo estudos cuidadosos dos eclipses da Lua de Júpiter e neste mesmo ano conseguiu provar suas predições. Seu método ainda permitiu que ele fosse capaz de determinar o tempo que a luz demora para atravessar o diâmetro da órbita da Terra, estabelecendo o valor em 22 minutos para percorrer uma distância aproximada de 299 milhões de quilômetros.

Leonard Euler (1707-1783) era partidário da teoria ondulatória e sugeriu a construção de lentes acromáticas, suas afirmações levaram à demonstração do erro de Newton

e Samuel Klingenstjerna (1698-1765) em conjunto com John Dollond (1706-1761) achando os mesmos resultados, construiu uma lente acromática (livre de irisação), combinando dois elementos: um de vidro Crow e outro de cristal de rocha, “estes trabalhos significariam mais um golpe na teoria da emissão (de Newton), a qual continuaria, no entanto, a ser adotada pela comunidade científica” (ROSA, 2012, p. 307)

Todo o exposto nos leva a concluir que durante o longo período da história da óptica, o caminho percorrido pelos cientistas demorou a apresentar concepções adequadas que levassem à criação de teorias mais gerais, em alguns casos a autoridade de Newton, como Hecht (2002) ressalta (p. 20) "O grande peso da opinião de Newton sobre a teoria ondulatória durante o segundo século, silenciando todos, exceto os defensores mais ferrenhos" e em outros o fracasso em superar obstáculos pode contribuir para a estagnação ou avanço lento de este campo do saber da ciência. Os cientistas dos séculos seguintes, 'ousaram' abandonar o pensamento newtoniano e cartesiano, ou seja, superar alguns obstáculos dos paradigmas da época e conseguiram mostrar grandes avanços em todas as direções, como se estabelecerá a seguir.

3.4. A CONQUISTA DA TEORIA ONDULATÓRIA: O Século XIX

Thomas Young (1773-1829) a inícios dos anos 1800 apresentou seus trabalhos defendendo a teoria ondulatória da luz e seu princípio de interferência, como Huygens faz importantes contribuições à óptica ao explicar as franjas coloridas das películas delgadas e a determinação dos comprimentos de onda das cores usando os dados de Newton, e foi designado como uma das grandes figuras do século; mais em algum momento, suas obras foram desqualificadas ou consideradas sem mérito, pois criticava os trabalhos de Newton. Seu princípio expõe:

Quando duas ondulações, com origens diferentes, se propagam exata o muito aproximadamente ao longo da mesma direção, o seu efeito conjunto é uma combinação dos movimentos de cada uma (HECHT, 2002. p. 21).

Com respeito à luz ele assegurava que "a luz era um fenômeno periódico, uma vibração do éter: compondo-se num mesmo ponto, dois feixes luminosos podem, interferindo-se, reforçar-se ou enfraquecer-se"; assim outra forma de expressar seu princípio seria "dois raios

de luz se combinam e se superpõem, e a energia de um raio de luz aumenta e diminui constantemente, enquanto se propaga como o movimento de uma onda" (ROSA, 2012, p. 307), Neste caso pode observar-se como é apresentado em dois textos diferentes o mesmo princípio, para Hecht, um texto específico de óptica, o princípio é mostrado com a teoria ondulatória enquanto no texto de Rosa, de História da Ciência o princípio é mostrado com o modelo de raios, ainda que assinala que o movimento é de uma onda. Este fenômeno permitiu a Young oferecer uma demonstração da teoria ondulatória da luz, dessa forma:

No ano de 1804, "Young concebeu um dispositivo que comprovaria a interferência de dois feixes luminosos que divergiam de dois orifícios abertos numa placa e eram iluminados por uma mesma fonte pontual monocromática; as interferências produzidas entre estes dois feixes pareciam uma tela numa série de franjas alternativamente sombrias e brilhantes, enquanto a luz saída de cada orifício era a única a dar uma iluminação uniforme. Tal constatação confirmava, no entendimento de Young, a teoria ondulatória; no caso das partículas, jamais se observam "interferências": dois fluxos de partículas sempre se reforçam, nunca se anulam". (ROSA, 2012, p. 307)

O triunfo das teorias de Young representou na altura, para além de um avanço no campo da óptica, ao demonstrar os elementos que asseguram o comportamento ondulatório da luz, uma grande afronta aos postulados de Newton, cujas teorias foram consideradas indiscutíveis na Inglaterra. Paralelamente aos trabalhos de Young, Augustin Fresnel (1788-1827) iniciou seus estudos sobre a representação ondulatória de Huygens, unificando suas proposições ondulatórias com o princípio de interferência, por isso propôs seu princípio, hoje conhecido como princípio de Fresnel.

As vibrações de uma onda luminosa, em qualquer ponto, podem ser consideradas como somas dos movimentos elementares que lhe são transmitidos no mesmo instante, em virtude da ação independente de todas as partes da onda não obstruída, em qualquer uma das suas posições anteriores. (HECHT, 2002. p. 22)

Com a formulação do seu princípio e as explicações subsequentes das suas teorias, Fresnel conseguiu dissipar as objeções de Newton à teoria das ondas, mas o seu trabalho também levou a outras conclusões importantes, por exemplo, considerou as ondas de luz como ondas longitudinais, calculou padrões de difração devido a obstáculos e apresentou uma explicação satisfatória da propagação retilínea da luz em meios homogêneos e isotrópicos:

[...] do ponto de vista matemático, a teoria de Fresnel explicava uma série de fenômenos, tais como os padrões de difração produzidos por vários tipos de obstáculos e a propagação retilínea em meios isotrópicos, que era a principal objeção que Newton fazia à teoria ondulatória na época. Pouco tempo depois, Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) mostrou que o princípio de Huygens-Fresnel era consequência direta da equação de ondas e estabeleceu uma formulação rigorosa para o fenômeno de difração [...] (ZILIO, 2009, p. 06).

O trabalho de Fresnel renderá frutos importantes e, ao aprender sobre o trabalho de Young, eles se tornarão aliados; mais tarde Fresnel com Dominique François Arago (1786-1853) realizou uma série de experimentos com os efeitos da polarização na interferência da luz e chegou à conclusão de que as ondas longitudinais não ofereciam um modelo razoável para explicar os resultados. O trabalho matemático começa a dar frutos e as formulações não são mais meramente geométricas ou empíricas.

Este foi, de fato, um período crítico. Durante vários anos Young, Arago e Fresnel defrontaram-se com o problema, até que Young sugeriu que a vibração do éter podia ser transversa, como uma onda numa corda. [...] A dupla lateralidade da luz seria então simplesmente uma manifestação das duas vibrações ortogonais do éter, perpendiculares à direção de propagação do raio luminoso (HECHT, 2002, p. 22).

Pensando nas possibilidades que tinham para explicar suas descobertas, Fresnel usou a descrição mecanicista que culminara em suas equações para a amplitude da luz refletida e transmitida, fazendo com que os defensores da teoria da emissão diminuíssem. Um fato importante da época, foi a medida da velocidade da luz sobre a Terra. Armand Hippolyte Louis Fizeau (1819-1896) levou a cabo a façanha obtendo um valor de 315300 km/s. Para isso, ele desenvolveu um aparato onde fazia passar um feixe luminoso através de uma abertura de uma roda da qual conhecia a velocidade de rotação, o impulso refletido podia passar através de uma das aberturas e ser detectado ou obstruído. Da mesma maneira, Jean Bernard Léon Foucault (1819-1868) e Charles Wheatstone (1802-187) também fizeram medições da velocidade da luz construindo seus próprios aparelhos, usados por Arago quem propôs medir a velocidade da luz em meios densos, trabalho realizado finalmente por Foucault em sua tese de Doutorado. De novo estes resultados entram em conflito com a teoria corpuscular, afastando mais devotos.

Michael Faraday (1791-1867) conhecido por seus trabalhos em eletricidade, relacionou o eletromagnetismo com a luz ao demonstrar que "a direção de polarização de um feixe podia ser alterada por um campo magnético intenso" (HECHT, 2002, p. 22) o que permitiu mais tarde a James Clerk Maxwell (1831-1879) conciliar com indubitável audácia todos os conhecimentos sobre os fenômenos eletromagnéticos através de suas equações, mostrando

teoricamente que o campo eletromagnético se podia propagar como uma onda transversal no éter; e sua equação:

$$(c = 1/\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}) \qquad \text{Equação 1. Velocidade da Luz}$$

(onde, c é a velocidade da luz e $\varepsilon_0\mu_0$ representam a permissividade elétrica e permeabilidade magnética respectivamente), permitiu, utilizando valores conhecidos determinados empiricamente, chegar ao resultado apontado experimentalmente, sendo este fato considerado grande façanha intelectual. De novo, as matemáticas auxiliam na construção das ideias físicas permitindo novas formas de abordar o conhecimento, assim o resultado era evidente: "a luz é uma perturbação eletromagnética que, sob a forma de ondas se propaga através do éter" (Idem, p. 23)

Para o ano 1888, Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) depois de muita experimentação, confirmou a existência das ondas eletromagnéticas, produzindo-as e detectando-as. Neste período, a existência onipresente do éter era exigida, para os científicos, era obvio que as ondas só se podiam propagar num meio, desta maneira os estudos para achar as propriedades desse éter foram multiplicando esforços mesmo que revele propriedades muito estranhas, as exigências desta substância eram múltiplas, assim,

Tinha que ser tão tênue que não perturbasse o movimento dos corpos celestes; devia suportar oscilações luminosas de alta frequência ($\sim 10^{15}$ Hz) propagando-se a 299274 Km/s. Deviam existir forças de restabelecimento notavelmente fortes no seio dessa substância [...] (HECHT, 2002, p 23).

Outra característica que deve ser atribuída ao éter é que suas propriedades devem ser diferentes nas várias substâncias, complicando ainda mais os requisitos para substâncias não isotrópicas. Muitas vezes essa substancia etérea, contradizia seus mesmos princípios de conformação, pois sua própria natureza obstaculizava os avanços na óptica dos corpos em movimento, razão pela qual produziu a seguinte revolução no pensamento. Essa estranha substância que exhibe tais comportamentos contraditórios e leva a falsas interpretações não pode mais ser explicada.

Em 1725, James Bradley (1693-1762) descobriu o efeito de aberração estelar ao procurar medir a distância a uma estrela, descobrindo que as estrelas fixas revelam um movimento sistemático aparente, função da direção do movimento da Terra e não dependente, da posição da Terra no espaço, assim o modelo corpuscular da luz podia com facilidade explicar a aberração estelar. "A teoria ondulatória oferece também uma explicação satisfatória, desde que se aceite que o éter se mantém totalmente imperturbado à medida que a Terra o atravessa". Hecht (2002, p. 23), todas essas objeções levaram a Arago a examinar o problema de um ponto de vista experimental, descobrindo que a luz sempre comportava-se como se a Terra estivesse em repouso ao éter, com relação a este fato, muitos experimentos foram realizados mais a hipótese de que, quando a luz se propaga num meio transparente em movimento, é arrastada por ele, devida a Fresnel, ficou a mais aceita, foi a partir daí que Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) construiu uma teoria eletrônica em 1896, assim,

La idea acerca de los electrones, que entran en la estructura del átomo y que son capaces de oscilar en ellos con un determinado período, permitió explicar los fenómenos de emisión y absorción de la luz por las sustancias, al igual que las particularidades de la propagación de la luz en las sustancias. En particular, se comprendieron también los fenómenos de la dispersión de la luz, debido a que la permeabilidad dieléctrica resultaba dentro de los marcos de la teoría electrónica, dependiente de la frecuencia del campo electromagnético, o sea de la longitud de onda¹¹. (LANDSBERG, 1976, p. 19).

Albert Abraham Michelson (1852-1931) era um instrutor naval que tinha uma reputação apreciável pelas medidas extremadamente precisas da velocidade da luz, e iniciou uma experiência para determinar os efeitos do movimento da Terra através do éter, já Maxwell tinha sugerido algumas ideias para medir velocidade do sistema solar relativo ao éter. O resultado de Michelson não foi decisivo, pois Lorentz encontrou um erro nos cálculos, mas sua conclusão foi que o éter estava em repouso. Juntando-se a Edward Williams Morley (1838-1923), realizaram novamente a experiência, obtendo de uma vez mais resultados negativos.

Deduz-se de tudo o que precede que é razoavelmente certo que, se a Terra se deslocar relativamente ao éter, então este movimento tem de ser muito reduzido; suficientemente pequeno, aliás, para refutar a explicação de Fresnel para a aberração estelar (HECHT, 2002, p. 24).

¹¹ A ideia dos elétrons, que entram na estrutura do átomo e são capazes de oscilar neles com um determinado período, permitiu explicar os fenômenos de emissão e absorção da luz pelas substâncias, bem como as particularidades da propagação da luz em substâncias. Em particular, também foram compreendidos os fenômenos de dispersão da luz, porque a permeabilidade dielétrica era, no quadro da teoria eletrônica, dependente da frequência do campo eletromagnético, ou seja, do comprimento de onda.

Como será possível apreciar mais tarde, esses resultados negativos dos experimentos de Michelson e Morley acabaram sendo uma pedra angular para rejeitar a exigência do éter nas construções das teorias físicas, e as consequências e implicações derivadas desse fato "negativo". Eles constituirão uma nova maneira de pensar sobre a física nos séculos seguintes e uma evolução do pensamento.

3.5. A DUALIDADE ONDA- PARTÍCULA: O Século XX

As descobertas e avanços do século XX foram sem dúvida uma Revolução nas ideias da Física e da Ciência em Geral. Muitos fatos célebres se devem a este século em que as maiores teorias contemporâneas foram-se cimentando, o pensamento científico tem mudado e suas implicações trará o melhor do conhecimento humano. Jules Henri Poincaré (1854-1912) compreendeu na sua época, as verdadeiras implicações da inexistência de quaisquer efeitos experimentais do movimento da Terra relativo ao éter. No ano de 1900, ele se pergunta se o éter realmente existe e questiona se observações mais precisas possam trazer resultados novos.

A eletrodinâmica relativística proposta por Albert Einstein (1879-1955) negava completamente a existência do éter como agente material dos processos eletromagnéticos, portanto "a introdução de um éter será supérflua, uma vez que o ponto de vista aqui desenvolvido não requer sequer um espaço em repouso absoluto" (HECHT, 2002, p. 24). Ainda explicou, que a luz que se propaga no vácuo com uma velocidade definida c , não depende do estado de movimento do emissor. Todas estas afirmações levaram a explicações simples das experiências de Fizeau, Airy, Michelson e Morley, neste ponto é preciso assinalar que a luz será considerada como onda autossustentável, daí começaria a ganhar terreno o conceito de campo.

A finais do ano 1900, Max Karl Ernst Planck (1858-1947) introduziu os princípios da Mecânica Quântica, trabalho que supunha a decisiva revolução no pensamento científico. Graças a esses trabalhos Einstein propõe uma nova teoria corpuscular, segundo a qual a "luz seria constituída por glóbulos ou partículas de energia", a energia destas partículas (fótons) era proporcional à sua frequência, isto é:

$$E = h\nu \dots \text{Equação 2-Energia}$$

Onde, E é a energia do fóton, h a constante de Planck e ν a frequência. Devido aos esforços de muitos cientistas da época, entre eles, Bohr, Born, Pauli, Dirac, De Broglie, Heisenberg, Schrödinger, a mecânica quântica tornou-se numa teoria bem fundamentada e ficou evidente que os conceitos de onda e partícula que no mundo macroscópico parecem excluir-se mutuamente, são agora ligados no domínio microscópico, pois descobriu-se que as partículas exibiam padrões de interferência e difração ao igual que a luz, "fótons, prótons, elétrons e nêutrons e todas as demais partículas manifestam-se, pois, quer como partículas quer como ondas" (HECHT, 2002, p. 25)

A relatividade além de mostrar a relação entre massa e energia, ajudou para se livrar da dependência do éter, desta forma, não é possível usar imagens clássicas para as partículas submicroscópicas de matéria, claramente as partículas estavam exibindo parâmetros ondulatórios associados com seu momentum, e partículas assumidas por razões teóricas foram descobertas 20 anos depois (neutrino), assim, a dicotomia onda-partícula converteu-se numa dualidade.

A Mecânica Quântica estuda também os fenômenos de absorção e emissão dos átomos, levando à abrir outros campos da óptica como a espectroscopia, que trata da análise espectral e suas primeiras observações foram levadas a cabo em 1802 por William Hyde Wollaston (1766-1828), também Joseph Fraunhofer (1787-1826) contribuiu para o desenvolvimento desta rama da óptica, ele fez as primeiras medidas de comprimento de onda utilizando redes de difração, e em conjunto com outros físicos como Kirchhoff, Bunsen, e Bohr, estabeleceram que cada átomo tem uma assinatura própria e seu respectivo conjunto característico de linhas espectrais. Bohr acrescentou uma teoria quântica para o átomo de hidrogênio.

Na atualidade se conhece que a luz que emite um átomo se deve a seus elétrons mais exteriores, exibindo a beleza das teorias quânticas pela sua precisão e detalhe. Todos estes acontecimentos oferecem um renascimento da óptica aplicada, e as técnicas matemáticas são agora mais utilizadas, em adição Hecht, (p. 26) acrescenta "[...] o conceito de frequência espacial oferece um novo modo de descrição de todos os fenômenos ópticos. Ligados entre si pelo formalismo matemático da análise de Fourier, os resultados a que esta abordagem contemporânea deu origem têm um alcance muito vasto" onde o principal interesse fica na formação de imagens e sua qualidade, as funções de transferência e a filtragem espacial.

Esses avanços vão desde a construção de novos materiais, aprimoramento dos já existentes, até materiais que se tornaram obsoletos para usos específicos, como revestimentos de filmes finos, até técnicas de polimento por bombardeio iônico se tornaram cada vez mais precisas para a preparação. De elementos ópticos, estudos de a extremidade infravermelha do espectro estimulou o desenvolvimento de materiais infravermelhos, capazes de enxergar no escuro, bem como para o uso de dispositivos de segurança e orientação de projéteis. Da mesma forma, são desenvolvidas novas classes de vidros cerâmicos, com baixos coeficientes de dilatação térmica, espelhos, entre tantos outros utilizados na construção de observatórios astronômicos, tanto terrestres quanto extraterrestres.

A construção do laser em 1960, permitiu a descoberta de novos efeitos ópticos, como a geração de harmônicos, mixagem de frequências entre outros, seus usos hoje vão desde leituras ópticas em supermercados, discos de áudio e vídeo, na medicina, as calculadoras, ou seja, em grande quantidade de aparelhos de uso diário. As técnicas holográficas encontraram inúmeras aplicações no armazenamento de dados e evidências indestrutíveis, entre outras. Em suma, não há dúvida da relação entre os conceitos ópticos e a nova mecânica quântica, os avanços permitiram fazer pequenos avanços sobre eles, porém, a pergunta sobre o que é a luz ainda não encontrou a resposta.

4. FORMAÇÃO DE PROFESSORES E CURRÍCULO DE LICENCIATURA DE FÍSICA

O Relativista provoca-nos: como é que se servem de vossa ideia simples? Como provam a simultaneidade? Como a conhecem? Como se propõem fazê-la conhecer a nós que não pertencemos ao vosso sistema de referência? Em resumo, como fazem funcionar o vosso conceito? Em que juízos experimentais a implicam, já que, não será verdade que a implicação dos conceitos no juízo constitui o próprio sentido da experiência?

Bachelard (1988, pp. 36-37)

4.1. A FORMAÇÃO DE PROFESSORES E O ENSINO DE ÓPTICA: os saberes na formação do professor de física

No Brasil, os cursos de formação de professores são regidos por documentos legais expedidos pelo Ministério da Educação e se baseiam em princípios que evidenciam uma formação integral do cidadão, com elementos de ética, profissionalismo e formação humanística de acordo com as demandas dos tempos atuais. A Resolução CNE/CP Nº2, de 20 de dezembro de 2019, estipula competências gerais, específicas e habilidades necessárias ao futuro docente, discriminando a carga horária a ser cumprida em três grupos de componentes curriculares: Grupo I, que abrange os conteúdos científicos, educacionais e pedagógicos; Grupo II, que elenca os conteúdos específicos da área de formação; e o Grupo III relativo às práticas pedagógicas (BRASIL, 2019).

Em artigo apresentado Pacca e Villani (2018) ressaltam que desde 1950 os currículos de formação de professores de Ciências em geral, e de Física em particular, vêm sofrendo transformações para atender às demandas da Educação Básica, onde o estudante de ensino médio receberia uma formação científica de qualidade e em consonância com os avanços

tecnológicos da época, evidenciando a importância da revisão destes currículos de formação de acordo com as investigações da Didática das Ciências. Na época, considerava-se, segundo a tradição norte-americana, que o treinamento experimental ajudaria na preparação acadêmica dos adolescentes.

Com vistas ao aprimoramento do ensino de física no âmbito das escolas de Educação Básica, torna-se importante que o professor em exercício desenvolva um conhecimento profissional que contemple uma postura crítica e reflexiva tanto sobre elementos que se apresentem na sua prática docente cotidiana quanto advindos de suas vivências sociais e especialmente de sua formação inicial. Nesse espírito, buscamos encontrar as relações que permitem aproximar a formação de professores de física a uma perspectiva epistemológica que responda ao desenvolvimento do conhecimento científico sobre óptica e física moderna e a relação entre essas duas disciplinas do programa de formação de professores.

Algumas pesquisas sugerem que os professores em formação constroem seus conhecimentos a partir de diferentes fontes de saberes que, na educação formal, advêm principalmente dos livros didáticos, da forma de organização do currículo e das atividades e experiências a que são expostos ao longo de sua formação, bem como o conteúdo que eles devem preparar para seu ensino posterior.

Os estudos de Gil (1991), Astolfi (1994), Nunes (2001), Solís, Porlán & Rivero (2003), Almeida & Biajone (2007), Tardif (2012), Ferrarini e Beco (2019), entre tantos outros, explicam a importância dos saberes docentes e como estão categorizados e articulados, afirmando que para ensinar ciências, os professores, além de possuírem um conhecimento amplo do conteúdo a ser ensinado, devem tomar consciência de suas ideias, conhecer as diversas correntes teóricas de ensino e aprendizagem que lhes permitam atuar frente ao desafio das situações apresentadas em sala de aula, evidenciando uma clara inter-relação entre sua formação teórica e sua prática profissional. Pois, trata-se de compreender que:

[...] o fato de conhecer profundamente a matéria a ser ensinada, sua estrutura, sua construção histórica bem como os métodos, técnicas, analogias ou metáforas que melhor se aplicam ao seu ensino é o que diferencia o professor de qualquer outro leigo que entende e se interessa pelo assunto objeto do seu ensino (GAUTHIER, 2006 apud CARDOSO *et al.*, 2012, p. 8).

Assim, percebe-se que a formação docente e os materiais a que ele terá acesso na sua formação profissional desempenham um papel fundamental, ao mesmo tempo em que são mobilizados e se relacionam de acordo com as demandas de sua atividade profissional.

Os pesquisadores Tardif e Gauthier concordam, embora com algumas diferenças, que os saberes docentes são categorizados em saberes disciplinares, curriculares e experienciais. Gauthier agrega os saberes relacionados à tradição pedagógica e às ciências da educação e Tardif sugere outro conjunto de saberes relacionados à formação profissional, que inclui os saberes pedagógicos e das ciências da educação (CARDOSO *et al.*, 2012). Para Tardif (2012, p. 38), os saberes disciplinares "são saberes que correspondem aos diversos campos do conhecimento, aos saberes de que dispõe nossa sociedade, tais como se encontram hoje integrados nas universidades" e são administrados pela comunidade científica e o acesso a eles deve ser possibilitado por meio das instituições educacionais.

Por sua parte, Gauthier destaca os saberes da ação pedagógica como resultado da combinação entre outros saberes que ajudam ao professor a tomar decisões em situações específicas na sala de aula (CARDOSO *et al.*, 2012). Neste sentido, o autor também refere que os saberes curriculares são conhecimentos relacionados à forma como as instituições educacionais fazem a gestão dos conhecimentos socialmente produzidos e que devem ser transmitidos aos estudantes (saberes disciplinares). Apresentam-se, concretamente, sob a forma de programas escolares (objetivos, conteúdos, métodos) que os professores devem aprender e aplicar.

Saberes experienciais são os saberes que resultam do próprio exercício da atividade profissional dos professores. Esses saberes são produzidos pelos docentes por meio da vivência de situações específicas relacionadas ao espaço da escola e às relações estabelecidas com alunos e colegas de profissão. Nesse sentido, "incorporam-se à experiência individual e coletiva sob a forma de *habitus* e de habilidades, de saber-fazer e de saber ser" (TARDIF, 2004 apud CARDOSO *et al.*, 2012, p. 3; TARDIF; LESSARD; LAHAYE, 1991, p. 220).

Saberes da formação profissional são o conjunto de saberes que, baseados nas ciências e na erudição, são transmitidos aos professores durante o processo de formação inicial e/ou continuada. Também se constituem o conjunto dos saberes da formação profissional os conhecimentos pedagógicos relacionados às técnicas e métodos de ensino (saber-fazer),

legitimados cientificamente e igualmente transmitidos aos professores ao longo do seu processo de formação.

Quanto aos saberes da tradição pedagógica, Gauthier (apud. CARDOSO *et al.*, 2012, p. 9) expressa que

“[...] referem-se às representações que cada professor possui a respeito da escola, do professor, dos alunos, dos processos de aprender e ensinar. Por sua parte os saberes experienciais correspondem aos conhecimentos construídos pelos professores em um processo individual de aprendizagem da profissão”.

No que diz respeito ao currículo, Solís e Porlán (2003) assinalam que “o conhecimento do currículo”, a que nos referimos, pode ser um dos componentes mais importantes da ideia de um modelo didático. Em nossa opinião, isto surge como um elemento regulador e dialético entre o que é “pensado”, ou seja, os princípios e teorias que sustentam a tomada de decisão curricular, e o que é “feito”, ou seja, o que podemos chamar de prática curricular.

Desta forma, percebe-se que o currículo é um elemento fundamental para a tomada de decisões educacionais que impactam diretamente na formação inicial do professor e que posteriormente será também uma referência para sua formação continuada e sua prática, uma vez que segue influenciando seu desenvolvimento profissional, e as influências administrativas e culturais da sua prática, bem como as interconexões entre o conhecimento científico e o conhecimento escolar.

A análise das ideias dos professores e dos obstáculos que estas podem originar ou implicar é de crucial importância na formulação de uma teoria do conhecimento profissional, que não se limita a uma visão estática do que atualmente pode ser predominante, mas que concebe o conhecimento profissional como um sistema evolutivo de ideias e, portanto, inclui a hipótese sobre a possível evolução em direção a um conhecimento profissional desejável (SOLÍS; PORLÁN; RIVERO, 2012).

Da mesma forma, a concepção epistemológica dos professores está se formando na inter-relação desses conhecimentos escolares, e algumas pesquisas indicam que existem pelo menos quatro visões epistemológicas diferentes na formação de professores. Na Espanha, por exemplo, a Rede de Pesquisa e Renovação Escolar (SOLÍS; PORLAN; RIVERO, 2012)

distingue essas visões como: uma concepção transmissiva e enciclopédica, onde o conhecimento escolar é considerado como produto acabado, mostrando uma posição racionalista e um modelo de ensino tradicional; uma concepção onde o conhecimento escolar é um produto técnico, reduzindo-o a um modelo empirista de ciência, com a aplicação de modelos e receitas para a construção do conhecimento.

Uma terceira concepção onde o conhecimento escolar é considerado um produto aberto, mas gerado por um processo espontâneo tendo como guia o princípio da indução, mostrando também de certa forma uma visão empirista da ciência; e, por fim, o conhecimento escolar como um produto aberto gerado a partir de um processo complexo, com dicotomias em diversos assuntos, que se constroem e reelaboram através da investigação e superação de obstáculos.

No caso do Brasil, pesquisas indicam que os modelos de formação de professores, ou seja, os cursos de licenciatura das instituições de ensino superior, favorecem a separação das disciplinas relacionadas à formação pedagógica e da área disciplinar de referência para os conteúdos específicos de ensino, favorecendo esta última. Entretanto, as diretrizes nacionais para a formação de professores indicam que as competências de formação devem ser integradas e complementadas sem hierarquia.

Libâneo (1994) explica que os conteúdos curriculares, que integram o plano ou o programa de ensino de uma disciplina, devem consistir não apenas de conhecimentos, mas também de habilidades, capacidades, atitudes e convicções, organizando-se em torno de uma ideia central, inter-relacionada. Conforme resumido por Almeida e Biajone, “o domínio da estrutura da disciplina não se resume tão somente à grosseira apreensão de fatos e conceitos de conteúdo, mas também à compreensão dos processos de sua produção, representação e validação epistemológica” (2007, p. 287).

Tendo em conta as ideias levantadas nas linhas anteriores, entendemos que a formulação dos projetos de formação da licenciatura em física deve considerar um conjunto de requisitos que permitam a articulação dos diferentes elementos de forma a criar um currículo que facilite a superação de obstáculos epistemológicos para ultrapassar as barreiras dos "estados de alma" caracterizados por Bachelard (1996), ao mesmo tempo em que não exiba a física como um conjunto de fatos e fenômenos que podem explicar o cotidiano do indivíduo, mas entendendo que a física é um produto da cultura e da história da ciência, deve estar em constante

revisão, com base em modelos matemáticos que deem conta da construção do pensamento científico, levando em consideração a dialética entre a física clássica e a física moderna e contemporânea, sem excluí-las.

4.2. O CURSO DE LICENCIATURA DE FÍSICA DO INSTITUTO DE FÍSICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA (INFIS-UFU)

O curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Uberlândia foi criado no ano 1994. Na trajetória de quase três décadas, como é de supor, foi sendo estruturado, modificado e ampliado para atender as demandas educacionais e políticas públicas, assim como políticas universitárias relacionadas com a formação de professores. No percurso de sua história tem sido um curso oferecido no período noturno e tem vindo modificando-se para atender as necessidades ditas. Desde o início até o ano 2014, podemos citar algumas mudanças significativas do curso, a partir da criação de novos cursos, Física de Materiais no ano 2005 e Física Médica no ano 2009, permitindo a ampliação de vagas em cada curso, sendo o maior número de vagas para a Licenciatura em todos os casos, passando de 25 vagas anuais para 60 vagas.

Dentro desse contexto, foram realizadas adaptações no Projeto Pedagógico do Curso para atender às diretrizes estabelecidas pelo Conselho Nacional de Educação. Essas mudanças incluíram ajustes na carga horária e a incorporação da disciplina obrigatória de Língua Brasileira de Sinais, em conformidade com o Decreto 5.626. Além disso, no ano de 2014, o Colegiado do curso implementou alterações em alguns componentes curriculares.

Atualmente o curso, tem uma carga horária total de 2985h, e compartilha vários espaços na Universidade Federal de Uberlândia, campus Santa Mônica com os programas de Física Médica e de Materiais, os Programas de Pós-graduação em Física e o Programa de Pós-Graduação em Ciências e Matemática, um consórcio entre a Faculdade de Matemática, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Ciências Exatas e Naturais do Pontal (ICENP) (Ituiutaba), também conta com diversidade de grupos de pesquisa centrados na Física de

Materiais entre outros, com diversas linhas de pesquisas que incluem Óptica e Fenômenos Quânticos, e o Museu DICA, como espaço de divulgação científica.

Conforme destacado na página 10 do Projeto Pedagógico do Curso, historicamente, este curso tem enfrentado uma baixa demanda, frequentemente sendo a segunda opção dos potenciais estudantes. Isso resultou no preenchimento de vagas com alunos que apresentam baixo rendimento escolar, contribuindo para altas taxas de evasão e desistência. Diante dessa situação, foram adotadas diversas iniciativas com o objetivo de tornar o programa mais atrativo para os estudantes ingressantes e, assim, aumentar a taxa de conclusão da licenciatura. Entre as medidas tomadas, destacam-se:

[...] estruturar as disciplinas do primeiro semestre de maneira a motivar este estudante, apresentando a física de forma instigadora e investigativa, e proporcionando o ferramental teórico para que ele possa prosseguir no curso. As disciplinas foram reformuladas para que haja uma coesão entre teoria e prática, entre física e matemática, e entre ensino e pesquisa. A matemática básica, indispensável para o acompanhamento das disciplinas específica de física, foi contextualizada em problemas físicos fundamentais e associados ao cotidiano. Nesse contexto, fez-se apropriado alocar cálculo 1 no segundo semestre, quando os estudantes estarão adaptados ao ritmo universitário e com uma base física e matemática mais sólida (UFU, 2018, p. 11).

A pesquisa e o desenvolvimento do curso ao longo dos anos levaram os professores a buscar o aprimoramento do currículo, visando fomentar maior permanência dos estudantes e melhor aproveitamento das disciplinas cursadas. Dada a própria natureza do curso, a reestruturação e melhoria se tornaram necessárias, com ênfase em propostas metodológicas que promovam a troca e interação entre os estudantes, além de estratégias de ensino-aprendizagem colaborativas. Essas mudanças também ampliaram a definição do perfil de egresso do curso, que agora engloba tanto o ensino quanto a pesquisa. Nesse sentido:

O perfil dos nossos egressos tem sido diversificado. Temos tanto alunos que se encaminham para trabalhar na educação básica, quantos aqueles que vão para a pós-graduação em Física ou em ensino de Física. Isso acarreta a necessidade de um currículo mais flexível, porquanto aumentamos o número de disciplinas optativas que poderão ser ofertadas. (UFU, 2018, p. 12)

Buscando aprimorar o curso e sua flexibilidade, no processo de reformulação do programa de estudos, em conformidade com as diretrizes e normativas legais, como a Resolução CNE/CP 02/2015, que estabelece uma carga horária mínima de 3200 horas para cursos de Licenciatura, as disciplinas foram distribuídas da seguinte maneira:

As disciplinas Álgebra Linear e Evolução das Ideias da Física serão ofertadas como optativas. Em contrapartida, houve um aumento de disciplinas optativas, de duas para cinco, tornado o currículo mais flexível.

As disciplinas PIPE I, II, III, IV, V e VI foram excluídas e atividades que eram desenvolvidas nessas disciplinas permeiam várias do currículo novo, tais como: Física Moderna e seu Ensino, Física e Mídias, PROINTER I, SEILIC, Mecânica e seu Ensino, Eletromagnetismo, Óptica e seu Ensino.

A disciplina Metodologia de Ensino de Física I foi excluída e os conteúdos serão, em sua maioria, trabalhados na disciplina PROINTER IV.

A disciplina Introdução à Relatividade e Física Nuclear, de carga horária de 60 horas, foi desmembrada em duas disciplinas, Introdução à Relatividade, de 30 horas, e Física Nuclear, de 30 horas. Essa mudança deu-se por conta das especificidades das disciplinas e permite uma maior flexibilização na montagem dos horários das aulas.

No primeiro semestre, foram incluídas duas disciplinas: Introdução ao Ensino de Física e Optativa I (Introdução aos Métodos de Física Teórica), ambas possuem a intenção de trabalhar habilidades de leitura, escrita e alfabetização científica sobre conceitos matemáticos aliados a conceitos físicos.

A disciplina Introdução à Física foi alterada de 60 horas para 90 horas, por conta de uma maior demanda por discussões sobre conceitos básicos de física que deveriam ter sido abordados no Ensino Médio e a inclusão de tópicos de atualidades em Física.

Os Laboratórios de Física Básica IV (15 horas) e Laboratório de Física Moderna (30 horas) tiveram um acréscimo de carga horária, passando para 30 horas e 60 horas, respectivamente, em virtude da necessidade de se trabalhar mais conteúdo.

Os Estágios Supervisionados que no currículo atual estão divididos em 3 componentes curriculares (Introdução ao Estágio Supervisionado, Estágio Supervisionado I e II), foram subdivididos em quatro (Estágio Supervisionado I, II, III, IV), sem alteração significativa da carga horária total, de 400 para 405 horas. (UFU, 2018, pp. 14-15).

Num primeiro momento, na classificação das disciplinas há mudanças que desejamos comentar, a mudança relativa às disciplinas de Álgebra Linear e Evolução das Ideias da Física; nesta nova proposta elas aparecem como eletivas.

Consideramos a inclusão destas disciplinas relevantes, pois a Álgebra Linear¹² pode auxiliar no momento de apresentação de fundamentos de diversos conceitos em física, -ainda que seria interessante realizar pesquisa em educação neste campo, se conhece que esta

¹² O capítulo 10 do texto de HOWAR e RORRES. Álgebra linear com aplicações. Porto Alegre: Bookman, 2012; oferece uma coleção das aplicações desta disciplina.

disciplina cobre uma variedade de tópicos, como resolução de sistemas de equações lineares, espaços vetoriais, transformações lineares, diagonalização de matrizes, que facilitarão compreender e explicar princípios matemáticos subjacentes aos fenômenos físicos, ao tempo que a álgebra linear é um pré-requisito para muitos tópicos avançados de Eletromagnetismo e Mecânica Quântica, disciplinas que integram os Componentes obrigatórios do Núcleo de Aprofundamento e Diversificação de Estudos das Áreas de Atuação Profissional.

Uma das mais importantes aplicações da Álgebra Linear na Ciência Básica Moderna é sem dúvida na Mecânica Quântica. A Mecânica Quântica por sua vez, constitui uma das grandes áreas centrais de conhecimento da Física Contemporânea, sendo tradicionalmente considerada de difícil compreensão devido à matemática envolvida. (THIBES, 2010, p. 1)

Assim, caberá aos professores de física avaliar os resultados destas mudanças no mediano prazo, pois a inclusão da Álgebra Linear é geralmente considerada favorável para a formação de professores de Física devido à sua importância na compreensão dos fundamentos matemáticos, resolução de problemas físicos, conexões interdisciplinares e desenvolvimento de habilidades analíticas, e uma rápida revisão das tabelas de conteúdo dos livros de física moderna e óptica e seus prefácios deixam em evidência essa afirmação, pois é amplamente usada na modelagem e compreensão dos diversos fenômenos físicos.

No campo da óptica e da física moderna podemos mencionar algumas aplicações como em óptica Matriz de Transferência é usada na óptica para descrever a propagação da luz através de sistemas ópticos, como lentes e espelhos. A matriz de transferência é uma ferramenta matemática baseada na Álgebra Linear usada para calcular a transformação de raios de luz ao atravessar esses sistemas ópticos, também na interferometria, que estuda a interferência da luz, a Álgebra Linear é aplicada para analisar os padrões de interferência e obter informações sobre as propriedades dos objetos ou meios ópticos. Matrizes de fase e matriz de Jones são exemplos de conceitos que usam Álgebra Linear nesse contexto.

Como explica Thibes (2010, p. 2) ao referir-se sobre a importância da álgebra linear na formação de professor de matemática e que consideramos também ainda mais, como expressado anteriormente, para a formação do professor de física, “para o futuro professor de matemática, é essencial conhecer uma das mais belas aplicações da Matemática Moderna que é a Mecânica Quântica, com o intuito de saber por que ensinar uma matemática cada vez mais abstrata”.

Desta forma, no referente à Física Moderna, em Mecânica Quântica: A Álgebra Linear é fundamental na formulação matemática da Mecânica Quântica. Os estados quânticos de partículas são descritos por vetores em espaços de Hilbert, que são espaços vetoriais complexos com propriedades específicas. A Álgebra Linear é usada para manipular esses vetores e realizar cálculos de operadores, valores esperados e probabilidades e a teoria de matrizes muitas vezes são usadas matrizes para descrever propriedades físicas de partículas, como spin, momento angular e polarização. A Álgebra Linear é aplicada na manipulação dessas matrizes e na resolução de equações matriciais resultantes.

Nesse sentido Ramos (2003, p. 326) diz:

“ [...] Em sua evolução a Física teórica utiliza-se cada vez mais das formas abstratas; é possível que o progresso científico conduza a teorias físicas que não mais admitam as representações concretas sugeridas pela tradição clássica, e que se expressem exclusivamente por intermédio de combinações de símbolos matemáticos”

Devido à sua importância na compreensão dos fundamentos matemáticos, a inclusão da Álgebra Linear pode ser considerada útil para a formação de professores pois sua compreensão facilitaria resolução de problemas físicos, conexões interdisciplinares e desenvolvimento de habilidades analíticas, auxiliando na compreensão matemática rigorosa que exige a física moderna e contemporânea.

Para Bachelard:

[...] a matemática é um pensamento, um pensamento seguro de sua linguagem. O físico pensa no experimento com esse pensamento matemático. É difícil um físico falando dos diferentes estados de energia de um átomo sem se referir ao ‘hamiltoniano’, à expressão matemática da energia. É por isso que qualquer exposição filosófica da nova mecânica requer uma referência constante a um racionalismo matemático. Comentar os resultados experimentais sem dar os preparativos teóricos e matemáticos seria perder as maiores lições de filosofia sintética (BACHELARD, 1965, p. 29).

Assim sendo, a formação de professores deve abranger uma ampla gama de conhecimentos, não se limitando apenas à formação específica da área a ser ensinada. Além do domínio do conteúdo, é necessário que o docente possua outros saberes que são essenciais para a carreira docente, como explicados em linhas anteriores, como saberes experienciais, curriculares e disciplinares. Do mesmo modo, conforme descrito no perfil do licenciado em física, o professor deve ser um profissional capaz de lidar com diferentes problemas, tanto os

tradicionais quanto os mais contemporâneos no campo da física sendo interdisciplinar e voltado também para a pesquisa e o avanço dos estudos em nível de mestrado e doutorado, reforçando a necessidade de um amplo conhecimento na área de especialização.

Da formulação do Projeto Político Pedagógico do Programa de Licenciatura de Física da Universidade Federal de Uberlândia, podemos destacar duas categorias que centram o perfil de egresso dos discentes, a saber: conhecimento específico na área com destaque na formação específica de física com amplos conhecimentos dos problemas tradicionais e atuais da física, através da capacidade de lidar com diversas questões; saberes pedagógicos, com o desenvolvimento de habilidades para o ensino interdisciplinar, com conhecimentos sobre estratégias e métodos pedagógicos com preparação para atuar no ensino médio e competências para pesquisa e prossecução de estudos.

Em conformidade com as Diretrizes Curriculares Nacionais estruturam o currículo da Licenciatura de Física em três núcleos de formação, Núcleo de estudos de formação geral, das áreas específicas e interdisciplinares, e do campo educacional 40,87%; Núcleo de aprofundamento e diversificação de estudos das áreas de atuação profissional 43,65%; Núcleo das disciplinas optativas 9,29%, Núcleo de estudos integradores para Enriquecimento curricular 6,19%. (UFU, 2018, pp. 20-21)

Quadro 2. -Disciplinas que compõem o Núcleo 1

Componentes obrigatórios do Núcleo de Estudos de Formação Geral, das Áreas Específicas e Interdisciplinares, e do Campo Educacional	CH teórica	CH prática	CH total
Algoritmos e Programação de Computadores	30	30	60
Cálculo Diferencial e Integral I	60	0	60
Cálculo Diferencial e Integral II	60	0	60
Cálculo Diferencial e Integral III	60	0	60
Didática Geral	60	0	60
Equações Diferenciais Ordinárias	60	0	60
Física Básica I	90	0	90
Física Básica II	90	0	90
Física Básica III	90	0	90
Física Básica IV	60	0	60
Geometria Analítica	60	0	60

Introdução ao Ensino de Física	30	0	30
Introdução à Física	90	0	90
Introdução à Mecânica Quântica	60	0	60
Laboratório de Física Básica I	0	30	30
Laboratório de Física Básica II	0	30	30
Laboratório de Física Básica III	0	30	30
Laboratório de Física Básica IV	0	30	30

Fonte: UFU (2018, pp. 22-23)

Quadro 3. - Disciplinas que compõem o Núcleo 2

Componentes obrigatórios do Núcleo de Aprofundamento e Diversificação de Estudos das Áreas de Atuação Profissional	CH teórica	CH prática	CH total
Eletromagnetismo	60	0	60
Estágio Supervisionado I	30	60	90
Estágio Supervisionado II	30	60	90
Estágio Supervisionado III	30	60	90
Estágio Supervisionado IV	45	90	135
Física e Mídias	00	60	60
Física Moderna e seu Ensino	00	60	60
Física Nuclear	30	0	30
Introdução à Relatividade	30	0	30
Mecânica Clássica	60	0	60
Mecânica Quântica	60	0	60
Metodologia de Pesquisa	30	30	60
Metodologias para o Ensino de Física	60	0	60
Política e Gestão da Educação	60	0	60
PROINTER I - Docência e as Legislações	30	30	60
PROINTER II - Docência e os Espaços não Formais	30	30	60
PROINTER III - Docência e a Inclusão de Alunos Deficientes	30	30	60
PROINTER IV - Docência e o Currículo	30	30	60
Termodinâmica	60	0	60
Trabalho de Conclusão de Curso I (TCC-I)	30	30	60

Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC-II)	15	45	60
SEILIC - Seminário Institucional das Licenciaturas	15	30	45
Total:	765	645	1410

Fonte: UFU (2018, p. 24)

Quadro 4. - Disciplinas optativas da Licenciatura de Física

Componentes do Núcleo das Disciplinas Optativas da Licenciatura	CH teórica	CH prática	CH total
Astronomia Básica e seu Ensino	60	0	60
Educação Científica e CTSA	60	0	60
Eletromagnetismo, Óptica e seu Ensino	60	0	60
Evolução das Ideias da Física	60	0	60
História e Epistemologia da Ciência	60	0	60
História da Física	60	0	60
Mecânica e seu Ensino	60	0	60

Fonte: UFU (2018, p. 25)

Dos quadros apresentados, destacamos as disciplinas que estão relacionadas ao tópico desta pesquisa, ou seja, aquelas que desenvolvem conteúdos relacionados à óptica e à física moderna e contemporânea na formação de professores de Física da Universidade Federal de Uberlândia. Suas ementas serão apresentadas nos apêndices fornecendo uma visão mais detalhada dos conteúdos abordados. No Quadro N°2, podemos identificar três disciplinas associadas ao estudo da óptica: Física Básica IV e Laboratório de Física Básica IV, Introdução à Mecânica Quântica

Já no Quadro N°3, encontramos disciplinas que abordam conteúdos relacionados, como: Física Moderna e seu ensino, Introdução à Relatividade, Laboratório de Física Moderna e Didática Geral. Essas disciplinas fornecem uma base sólida para o estudo e ensino da física

moderna, abrangendo conceitos importantes e metodologias de ensino específicas para essa área.

Por fim, no Quadro N°4, destacam-se as disciplinas de Eletromagnetismo, Óptica e seu ensino, Evolução das Ideias da Física, História e Epistemologia da Ciência e História da Física. Essas disciplinas oferecem uma perspectiva histórica e epistemológica da física, abordando a evolução de ideias, conceitos e teorias ao longo do tempo. Além disso, exploram o ensino da óptica e do eletromagnetismo, fornecendo aos futuros professores uma base sólida para transmitir esses conhecimentos aos estudantes.

Dessa forma, as disciplinas destacadas nos quadros apresentam uma relevância significativa para a pesquisa, pois estão diretamente relacionadas aos temas de óptica e física moderna e contemporânea na formação de professores de física, assim, há na ementa das disciplinas elementos que podem auxiliar na compreensão de conhecimentos necessários para que os futuros docentes possam ensinar e promover o interesse pelos conteúdos abordados, contribuindo para uma formação de qualidade na área de física.

Ao examinarmos as ementas das disciplinas, com foco nas referências citadas, buscamos obter uma visão geral das abordagens utilizadas e das relações estabelecidas entre os programas e conteúdo. Não fazemos uma análise detalhada desses textos, mas sim utilizaremos as referências como uma fonte de informação para compreender as perspectivas teóricas, autores relevantes e conceitos fundamentais abordados nessas disciplinas. Essa abordagem nos permitirá ter uma noção ampla das direções teóricas adotadas, sem a necessidade de um exame minucioso de cada texto em particular.

Essas referências podem revelar se há uma ênfase na epistemologia bachelardiana, nas teorias da física moderna e contemporânea, na óptica ou em outras abordagens relevantes. Ao analisar as relações entre os programas e conteúdos, podemos identificar como as disciplinas se complementam e se interconectam, proporcionando uma formação abrangente e integrada aos futuros professores. Por exemplo, podemos observar se há uma sequência lógica e progressiva de temas, se os conceitos da óptica são introduzidos em conjunto com os da física moderna, e se há referências cruzadas entre as disciplinas que fortalecem a compreensão e a contextualização dos conteúdos.

Dessa forma, ao examinarmos cuidadosamente as referências citadas nas ementas das disciplinas, podemos obter informações valiosas sobre a abordagem adotada, as teorias exploradas e as relações estabelecidas entre os programas e conteúdo. Essa análise nos auxilia a compreender melhor como essas disciplinas contribuem para a formação dos professores de física, fornecendo uma visão mais completa e embasada sobre os conhecimentos e as habilidades que serão desenvolvidos ao longo do curso.

4.3. CONTEÚDOS DE ÓPTICA CONSIDERADOS RELEVANTES COM BASE NA EXPERIÊNCIA PARA A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Na área da óptica, diversos conteúdos se mostram interligados com a física moderna, revelando assim as rupturas epistemológicas presentes nesse campo de estudo. Nesta seção, iremos destacar alguns desses conteúdos e explorar as implicações que eles trazem para a compreensão da natureza da luz e dos fenômenos ópticos. Como já mencionados na seção da perspectiva histórica da óptica, os temas abordados em óptica onde se podem mostrar os períodos de rupturas e avanços no conhecimento são o experimento de Young, o experimento de Hertz, Experimento de Michelson-Morley, já no programa de Física moderna se estuda o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Compton.

Por sua parte, o estudo das propriedades da luz em meios materiais, como a refração e a dispersão, também apresenta implicações importantes para a física moderna. A descrição desses fenômenos ópticos requer a consideração de aspectos relacionados à natureza corpuscular e ondulatória da luz, levando em conta os avanços conceituais proporcionados pela teoria quântica e pela teoria eletromagnética.

Outro dos principais conteúdos de óptica que está diretamente relacionado com a física moderna é o estudo do efeito fotoelétrico, esse fenômeno revelou brilhantemente a natureza corpuscular da luz, desafiando as concepções da óptica clássica; por meio da análise deste é possível compreender a interação da luz com a matéria em níveis microscópicos evidenciando a necessidade de uma abordagem quântica para descrever esses fenômenos.

De acordo com Bachelard (1965), a descoberta do efeito fotoelétrico corresponde a uma ruptura absoluta na história das ciências, uma descontinuidade na cultura; pois até então só existiam teses figurativas sobre a teoria corpuscular sem poder associar algum fenômeno a este fato para legitimá-lo, questão que fazia com que tese ondulatória da luz pudesse rivalizar com essa imagem na explicação dos fenômenos, desta forma para o filósofo “o efeito fotoelétrico atribui um caráter corpuscular à própria essência da luz”(p.153), que traz como consequência uma revisão profunda do conhecimento numa área de fenômenos ópticos onde os fenômenos ondulatórios já não podiam ser contados.

Da mesma maneira o autor explica que uma vez conhecida a técnica para a descrição deste fenômeno, o mesmo se torna simples, e é “quando nos vemos obrigados a supor o caráter corpuscular da radiação excitatória” (idem, p. 154), cuja compreensão vem quando se medita sobre a expressão algébrica de sua lei (equação 3), onde resume os caracteres mecânicos, os caracteres ópticos e os caracteres atômicos do fenômeno fotoelétrico, correspondendo a um dos fenômenos mais decisivos da síntese racionalista da fenomenologia.

$$\frac{1}{2}mv^2 = hv - a \dots \textit{Equação 3-Efeito Fotoelétrico}$$

A afirmação diz que quando a energia luminosa hv é focada em um espaço semelhante ao tamanho de um átomo, ela tem o poder de ejetar um elétron com massa m e velocidade v . A letra " a " representa a quantidade de trabalho necessária para remover o elétron do metal. Segundo Bachelard, essa equação¹³ e o fenômeno que explica o efeito fotoelétrico evidenciam tanto o domínio dos fenômenos ópticos quanto dos fenômenos atômicos, mostrando que a ciência quântica do átomo é homogênea com a óptica quântica. Assim, esse fenômeno se torna um fenômeno generalizado de luz, identificado pela variável essencial da frequência, que por sua vez permite a generalização racional, pois é um conceito fundamental do racionalismo ondulatório.

Outro conteúdo importante é o fenômeno do espalhamento de Compton, que também evidencia as rupturas epistemológicas entre a óptica clássica e a física moderna. O espalhamento de Compton consiste na interação de fótons com elétrons livres, resultando no desvio da direção da luz incidente. Esse fenômeno, estudado por Arthur Compton, comprovou a natureza dual da luz, comportando-se tanto como partícula (fóton) quanto como onda. Essa

¹³ Na literatura, o termo a nessa equação é conhecida como função trabalho.

descoberta revolucionou a compreensão da óptica e contribuiu para o desenvolvimento da teoria quântica.

Segundo Bachelard:

[...] o fenômeno que caracteriza o efeito Compton é a diminuição da frequência do fóton incidente, que passa de energia $h\nu$ para $h\nu'$, sendo que ν' é essencialmente menor que ν . A colisão ocorre em conformidade com o princípio da conservação de energia e com o princípio da conservação vetorial do momento. Para transformar um fóton $h\nu$ em um fóton $h\nu'$, é necessário postular uma instância de reorganização (1965, p. 158).

Assim, Bachelard inscreve em esses efeitos na teoria quântica que nos leva a refletir sobre a importância dos princípios fundamentais da conservação de energia e do momento na compreensão dos fenômenos físicos. Através da postulação de uma instância de reorganização, é possível explicar como a interação entre o fóton e o elétron resulta na modificação da frequência do fóton incidente.

Esses exemplos ilustram como os conteúdos de óptica estão diretamente ligados à física moderna, evidenciando as rupturas epistemológicas que ocorreram nesse campo de estudo. A compreensão desses fenômenos ópticos sob a perspectiva da física moderna não apenas amplia nosso conhecimento sobre a natureza da luz, mas também nos desafia a repensar concepções tradicionais e a buscar uma concepção mais aprofundada dos fenômenos ópticos no contexto das teorias físicas contemporâneas.

5. PERCURSO METODOLÓGICO DA PESQUISA

[...] o conhecimento científico é um conhecimento de segunda aproximação; é um conhecimento que se faz numa nova abordagem do real e que, por isso deve romper com o conhecimento imediato. A fim de alcançar a objetividade, a ciência deve romper com o conhecimento imediato. (...) e tentar através de racionalizações, construir um novo conhecimento.

Bulcão, (1981, pp. 135-136)

5.1. NATUREZA E MÉTODO DE ANÁLISE

Nesta seção abordamos os aspectos metodológicos que guiaram esta pesquisa de doutorado a partir da perspectiva da epistemologia bachelardiana, com base nos propósitos da mesma, realiza-se uma pesquisa de natureza mista (qualitativa e quantitativa). Segundo Gil (2007), a pesquisa qualitativa aporta familiaridade com o problema pesquisado, e concentrado na descrição e análise das qualidades da população em estudo, onde prevalecem conhecimentos que não podem ser medidos ou analisados exclusivamente a partir do positivismo quantitativo (QUINTANA; ALBERTO; MONTGOMERY, 2006).

A abordagem de pesquisa qualitativa tem como objetivo a compreensão dos aspectos subjetivos e contextuais de fenômenos sociais, culturais e humanos. Essa abordagem se concentra na descrição, interpretação e comparação dos dados coletados por meio de ferramentas como entrevistas, observações, análise documental e grupos focais, entre outras. A pesquisa qualitativa se mostra apropriada para a investigação de tópicos que não podem ser quantificados ou reduzidos a números e estatísticas, demandando, ao invés disso, uma compreensão profunda e holística das experiências, percepções, sentimentos, valores e significados dos indivíduos envolvidos.

Nesse sentido,

A pesquisa qualitativa é uma forma de compreender e explicar a complexidade e a diversidade do mundo social, a partir da perspectiva dos sujeitos que o vivenciam. Ela busca captar os significados, as intenções, as crenças, os valores, as emoções e as relações que configuram as situações e os problemas investigados. ” (MINAYO, 2012, p. 23)

Assim sendo, de maneira sucinta o propósito deste estudo é caracterizar a óptica no contexto do ensino da física moderna e contemporânea. Para alcançar esse objetivo, buscamos analisar as características, os conteúdos, os métodos, as práticas, os desafios e as contribuições dessa área do conhecimento. Para tanto, é essencial conduzir um trabalho de campo, o qual implica na imersão no ambiente onde a disciplina é ensinada, aprendida, aplicada e pesquisada. Esse enfoque permite a coleta de dados variados e enriquecedores sobre a realidade da disciplina, a partir das perspectivas dos seus principais protagonistas, tais como professores, alunos, pesquisadores e profissionais, entre outros.

“A pesquisa qualitativa é um tipo de investigação social que se baseia na observação direta das pessoas em seu ambiente natural, na análise de documentos e na interpretação de seu significado através de processos verbais ou visuais. Ela se caracteriza por uma abordagem indutiva, holística, interpretativa e compreensiva da realidade. ” (DENZIN; LINCOLN, 2006, p. 10)

Outro aspecto importante a destacar é que na pesquisa qualitativa, o tamanho da amostra não é determinado por critérios estatísticos ou matemáticos, mas sim por considerações teóricas e metodológicas. Isso significa que o número de sujeitos ou fontes de dados incluídos na pesquisa depende dos objetivos, problemas, perguntas e métodos de pesquisa. Além disso, o tamanho da amostra na pesquisa qualitativa não é fixo ou previamente estabelecido; ele é flexível e ajustável ao longo do processo de investigação.

Um dos critérios mais comuns para determinar o tamanho da amostra na pesquisa qualitativa é a chamada 'saturação teórica'. Esse critério envolve encerrar a coleta de dados quando não são mais obtidas informações novas ou relevantes para responder à pergunta de pesquisa, como explicado por Strauss e Corbin (2008):

O tamanho da amostra na pesquisa qualitativa depende do conceito de saturação teórica, que se refere ao ponto em que os dados coletados não trazem mais informações novas ou relevantes para responder à questão de pesquisa. A saturação teórica é alcançada quando o pesquisador percebe que os dados

se tornam repetitivos e redundantes, e que as categorias e os conceitos estão bem definidos e articulados. (p. 143)

Portanto, a pesquisa qualitativa é uma abordagem que permite uma investigação profunda e contextualizada de uma disciplina, levando em consideração os aspectos subjetivos e complexos que a permeiam. O tamanho da amostra na pesquisa qualitativa deve ser adequado para alcançar os objetivos da pesquisa e responder às questões propostas, sem a necessidade de se preocupar com a representatividade numérica ou estatística dos dados. O critério da saturação teórica é uma ferramenta útil para determinar o momento apropriado de encerrar a coleta de dados, garantindo a qualidade e a validade da pesquisa.

O tamanho da amostra na pesquisa qualitativa não é determinado por critérios estatísticos de representatividade ou generalização, mas sim por critérios de adequação ao problema, ao objetivo e ao método da pesquisa. O número de sujeitos ou fontes de dados deve ser suficiente para proporcionar uma compreensão profunda e abrangente do fenômeno estudado, sem comprometer a qualidade da coleta e da análise dos dados. ” (FLICK, 2009, p. 131)

Como temos defendido, a pesquisa proposta tem como objetivo analisar as características das contribuições da óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea, a partir da abordagem epistemológica de Bachelard, na formação de professores de física da Universidade Federal de Uberlândia. Assim, para alcançar esse objetivo, adotamos a abordagem fenomenológica combinada com uma perspectiva descritiva. Essa abordagem fenomenológica nos permitiu explorar as experiências e vivências tanto dos professores quanto alunos em formação em física no contexto do uso da óptica em seu processo educacional. Segundo Merleau-Ponty (1999), a fenomenologia busca compreender a relação entre o sujeito e o objeto através da análise da experiência vivida, dando ênfase às perspectivas individuais e às significações atribuídas pelos sujeitos.

Por meio de entrevistas em profundidade, realizadas com professores e alunos, buscamos compreender como os professores vivenciaram e perceberam o uso da óptica no ensino da física. Nosso objetivo foi explorar suas experiências, desafios e perspectivas em relação a essa disciplina. A análise cuidadosa dessas experiências permitiu-nos obter uma compreensão rica e contextualizada das contribuições da óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea na formação de professores. Ao ouvir tanto os educadores quanto os estudantes, fomos capazes de reunir uma variedade de sinais valiosos que enriquecem nossa compreensão do papel da óptica no ensino de física.

As entrevistas em profundidade desempenharam um papel fundamental nesta pesquisa. Esse método de coleta de dados permitiu uma exploração detalhada das percepções, experiências e vivências dos professores e alunos em relação ao uso da óptica no ensino da física moderna e contemporânea. O termo "profundidade" refere-se à busca por *insights* mais profundos e à oportunidade de os participantes compartilharem suas visões de maneira aberta e reflexiva. Durante essas entrevistas, os participantes foram encorajados a discutir não apenas o "o quê" e o "como" de suas práticas, mas também o "porquê" por trás de suas abordagens pedagógicas. Essa abordagem proporcionou um contexto valioso para compreender não apenas os aspectos superficiais do ensino da óptica, mas também as motivações, desafios e perspectivas subjacentes que moldam a forma como essa disciplina é incorporada ao ensino de física.

Consequentemente, as entrevistas com os professores proporcionaram uma visão aprofundada de como eles abordam o ensino da óptica em suas aulas, quais estratégias pedagógicas empregam e como percebem o impacto dessas abordagens no aprendizado dos alunos. Ademais, as entrevistas com os alunos nos permitiram compreender como eles experimentam o ensino da óptica, quais são os desafios que enfrentam e quais aspectos consideram mais relevantes em seu processo de aprendizagem. Essa abordagem abrangente, envolvendo ambos os grupos, contribuiu para uma análise mais completa e enriquecedora do tema.

Ainda, adotamos uma perspectiva descritiva para identificar e descrever as características específicas dessas contribuições. Nesse sentido, foram analisados os enfoques pedagógicos utilizados, os conceitos abordados e as estratégias empregadas pelos professores no ensino da óptica. Essa abordagem descritiva forneceu uma visão sistemática das características das contribuições da óptica na formação de professores de física.

Como método de análise dos dados, emprega-se a análise de conteúdo e triangulação, o que implica um processo rigoroso de examinar e codificar os dados coletados; além disso, nas técnicas e instrumentos que nortearão o percurso metodológico, destacam-se a revisão documental, a entrevista e questionários, e a sistematização.

De acordo com Bardin (2011), a análise de conteúdo pode ser definida como o conjunto de técnicas para a análise de comunicações, assim, constituiu-se como uma técnica de investigação que visa à descrição objetiva, sistemática e quantitativa de um conteúdo presente

nessa comunicação, passando por um processo de expansão das aplicações técnicas, explorando o contexto em que se faz a análise.

A pesquisa qualitativa foi organizada em quatro etapas metodológicas propostas por Quintana (2006). A primeira etapa consiste na revisão documental, em que se estabelecem parâmetros de busca de antecedentes e referenciais conceituais. A segunda etapa concentra-se na análise de conteúdo, que permite a adequada organização das informações e o estabelecimento de categorias de investigação e exploração. A terceira etapa compreende a coleta de dados por meio de instrumentos como entrevista, e questionário. A quarta etapa implica a organização das informações e sua interpretação e análise com base nos resultados obtidos ao longo do processo.

O público-alvo era composto por estudantes que já haviam cursado disciplinas de óptica e física moderna, bem como por professores do curso de licenciatura em Física da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica. Dadas as características qualitativas da pesquisa, a amostra inicial de participantes foi planejada para três professores e seis estudantes, levando em consideração as características do currículo, com uma disciplina de física geral e outra onde os conteúdos de óptica são abordados de forma mais aprofundada. O critério de seleção foi a ordem de aceitação em participar da pesquisa, até atingir o número estipulado de participantes por segmento (alunos ou professores).

A determinação do tamanho da amostra para esta pesquisa qualitativa foi baseada no critério de saturação teórica, amplamente reconhecido como uma prática metodológica sólida em estudos qualitativos -e explicado em linhas anteriores, conforme sugerido por Strauss e Corbin (2008), Flick, 2009. Neste estudo, optamos por entrevistar três professores e seis alunos, uma amostra cuidadosamente selecionada que representava diferentes perspectivas e experiências em relação ao uso da óptica no ensino de física. A escolha específica desses seis alunos foi baseada em sua ordenação de aceitação em participar da pesquisa. Do mesmo modo, a escolha específica de três professores foi baseada em sua ordenação de aceitação em participar da pesquisa, e a decisão de entrevistar esses professores primeiramente visava garantir uma representação adequada das vozes docentes neste estudo. Durante a análise dos dados, observamos que, após a análise das entrevistas com esses participantes, não surgiram informações substancialmente novas que adicionassem à nossa compreensão da contribuição da óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea. Portanto, a seleção desses

nove participantes, incluindo os seis alunos, foi adequada para atingir nosso objetivo de pesquisa e garantir a qualidade e a validade dos resultados.

Conforme mencionado, a ordem estabelecida de etapas foi seguida. Depois de cumprir as etapas 1 e 2 (revisão documental e análise de conteúdo destes arquivos) foi realizado o questionário estruturado, onde foram apresentados os objetivos da pesquisa e questões contemplando seu foco de interesse, em seguida foi conduzida a entrevista semiestruturada para aprofundar as respostas obtidas no questionário inicial.

No contato, através de e-mail institucional com os participantes da pesquisa, foi apresentado o termo de autorização para uso de dados e confidencialidade. Informou-se que cada participante será identificado com códigos (exemplo: P1 ou Professor 01, etc.) e que apenas os pesquisadores teriam acesso às respostas fornecidas.

O link para o questionário estruturado foi enviado por e-mail aos professores e estudantes do curso de Licenciatura em Física do Campus Santa Mônica, que compunham a amostra da pesquisa. Simultaneamente, foi disponibilizado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), permitindo que os respondentes decidissem se participariam da pesquisa após ler o documento. A coleta de dados foi realizada por meio da plataforma digital Google Formulário. O questionário consistia em 10 questões de resposta aberta, elaboradas de acordo com o perfil do respondente (professor ou aluno).

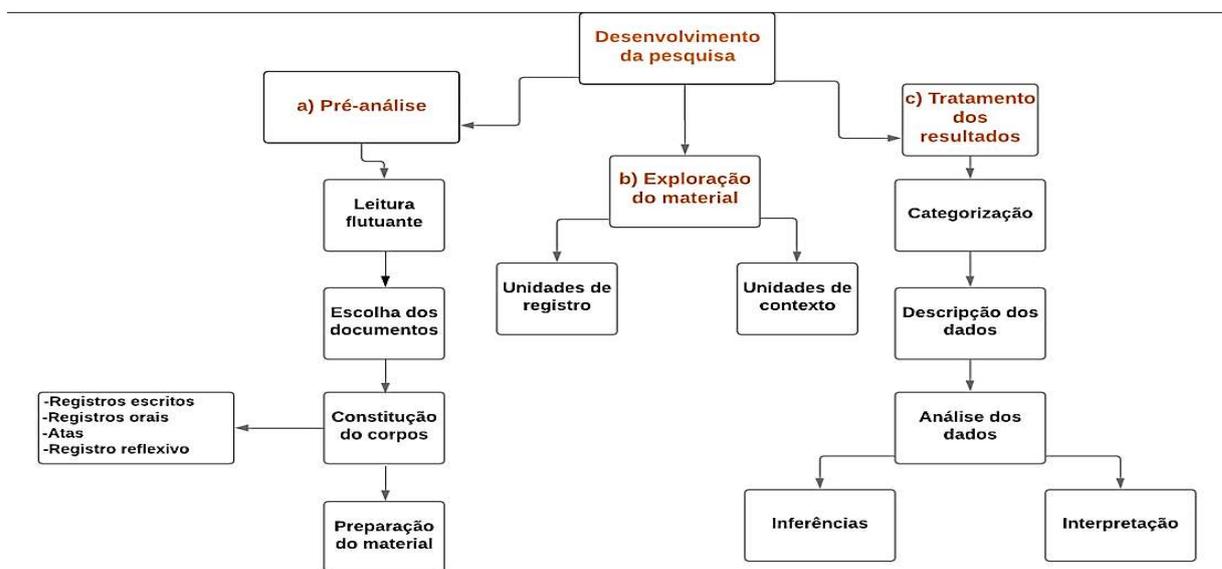
É importante ressaltar que seguimos rigorosamente o protocolo necessário para a análise dos dados coletados e apresentamos o projeto ao Comitê de Ética da Universidade Federal de Uberlândia, garantindo assim a conformidade com os padrões éticos e regulamentações necessários para a realização da pesquisa, de acordo com a Resolução CNS 466/12 e/ou 510/16 e normas complementares.

As entrevistas semiestruturadas foram realizadas com os participantes que indicaram interesse durante o preenchimento dos questionários (seis estudantes e três professores). Essas entrevistas foram realizadas na plataforma digital Google Meet, em horários previamente agendados, com duração máxima de 30 minutos. Posteriormente, as entrevistas foram transcritas e analisadas na etapa correspondente da pesquisa. Nesse tipo de entrevista, os pesquisadores tiveram maior liberdade para desenvolver as questões levantadas. Embora

tenham seguido um roteiro prévio, também tiveram a liberdade de fazer outras perguntas que surgiram durante a conversa.

Tanto as entrevistas com os alunos quanto as entrevistas com os professores contemplaram 6 questões norteadoras, adequadas ao perfil de cada respondente. Essas entrevistas estavam previstas para durar no máximo 30 minutos. Como eram entrevistas semiestruturadas, as perguntas norteadoras direcionaram o foco da investigação, sem prever a ocorrência de outras especificidades além das mencionadas. Durante as entrevistas, os desdobramentos foram feitos apenas para tornar as respostas dos participantes mais claras, mas sem alterar o foco das perguntas. Os dados coletados foram armazenados atendendo, como dito, a Resolução 510/16, Art. 28, IV, e serão mantidos em arquivo, físico ou digital, sob guarda e responsabilidade dos pesquisadores, por um período mínimo de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa.

Figura 4. Fases da pesquisa por análise documental.



Fonte: Mendes; Sguerra (2017, p. 1051)

A análise dos documentos e dados, implicava três fases que, segundo Bardin (2011), eram: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados, especificados a seguir:

A pré-análise era a fase de organização, o momento em que se esquematizava o desenvolvimento das etapas seguintes. Nesse período, ocorria a sistematização das ideias e

escolhiam-se os documentos a serem analisados, bem como formulavam-se as hipóteses, objetivos e ainda se elaboravam alguns indicadores para fundamentar a interpretação final.

No pré-análise, o pesquisador deveria realizar uma leitura flutuante para estabelecer contato com os documentos. Em seguida, deveria escolher os documentos que constituíam o corpus da pesquisa. A formulação das hipóteses e dos objetivos tratava-se de uma afirmação provisória a ser verificada a partir dos procedimentos de análise. A preparação do material deveria ser feita antes da análise.

A exploração do material consistiu em uma fase longa em que se codificava, decompunha ou enumerava as operações. Enquanto o tratamento dos resultados obtidos e a realização da interpretação consistiam na fase em que os resultados obtidos na exploração eram tratados e validados, estabelecendo quadros de resultados, diagramas, figuras e modelos que condensavam e destacavam as informações fornecidas pela análise.

Nessa fase, era necessário codificar o material, como afirma Bardin (2011):

A codificação corresponde a uma transformação – efetuada segundo regras precisas – dos dados brutos do texto, transformação esta que, por recorte, agregação e enumeração, permite atingir uma representação do conteúdo ou da sua expressão; suscetível de esclarecer o analista acerca das características do texto que podem servir de índices (BARDIN, 2011, p. 133).

A organização da codificação se baseia em três escolhas: o recorte (escolha das unidades); a enumeração (escolha das regras de contagem); a classificação e a agregação (escolha de categorias). As unidades da codificação podem ser classificadas em unidades de registro e de contexto. As unidades de registro correspondem ao segmento de conteúdo considerado unidade de base, visando à categorização e à contagem frequencial sendo representadas por palavras ou temas.

As unidades de contexto servem para codificar a unidade de registro, cujas dimensões são ótimas para que se possa compreender a significação exata da unidade de registro, sendo uma frase para a palavra e um parágrafo para o tema. Estabelecendo unidades, também é possível realizar uma categorização, não se constituindo como uma etapa obrigatória da análise de conteúdo. Na categorização é possível classificar os elementos que tenham características em comum, transformando-se em um grupo de unidades com um título em comum, devido à característica em comum que carregam.

A categorização pode ser feita a partir de temáticas, verbos ou advérbios, ou expressões da linguagem. Para classificar as unidades em categorias, Bardin (2011) afirma ser necessária a investigação do que cada uma delas tem em comum com outras. Objetivo da categorização: fornecer, por condensação, uma representação simplificada dos dados brutos.

A partir da categorização, que são resultados da análise, o pesquisador pode realizar inferências que permitem a indução para investigar as variáveis inferidas a partir dos indicadores que possuem naturezas diversas e interpretar com base nos objetivos propostos inicialmente. Nesse sentido, durante a pesquisa, foram seguidas as etapas da análise de conteúdo, que envolveram a identificação e análise de diferentes tipos de documentos, como teses de doutorado, dissertações de mestrado, artigos científicos, além da análise de entrevistas e questionários. Nessas etapas, foram estabelecidas categorias relevantes para a compreensão dos dados coletados e para a elaboração de conclusões fundamentadas.

Inicialmente, foram selecionados os documentos pertinentes, que constituíram o corpus da pesquisa. Em seguida, realizou-se a leitura flutuante desses documentos, a fim de estabelecer um contato inicial e familiarizar-se com o material. Durante essa fase, foram identificadas as principais temáticas abordadas nos documentos e formulados os objetivos que orientaram a análise. Com base nesse levantamento preliminar, foram estabelecidas as categorias de análise, que serviram como guias para a classificação e organização dos dados. Essas categorias foram criadas de forma a abarcar os diferentes aspectos relacionados ao tema de pesquisa, permitindo uma compreensão mais abrangente e aprofundada dos conteúdos analisados.

Após a etapa de categorização, os documentos foram submetidos a uma análise minuciosa, buscando identificar padrões, tendências, relações e significados relevantes. Durante esse processo, foram utilizadas técnicas específicas de análise de conteúdo, como a identificação de palavras-chave, a codificação de trechos relevantes e a criação de quadros, gráficos e modelos que sintetizaram as informações obtidas em três grupos. Além disso, as entrevistas e questionários também foram submetidos a uma análise de conteúdo, com o intuito de extrair informações significativas e relacioná-las às categorias estabelecidas. Essa análise permitiu uma complementação dos dados obtidos nos documentos, enriquecendo a compreensão do objeto de estudo.

Por meio dessas etapas da análise de conteúdo, foi possível explorar e interpretar de maneira sistemática os documentos, teses, dissertações, artigos científicos, entrevistas e questionários coletados, e compreendemos que pesquisas desta natureza permitem uma discussão/reflexão sobre os processos formativos vivenciados no curso de Licenciatura em física da UFU, relativamente às contribuições dos conteúdos de óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea. Neste contexto, as categorias estabelecidas ajudaram a compreender melhor essas contribuições. A partir da definição do tema da pesquisa, buscou-se constituir uma ampla análise de referências bibliográficas.

5.2. CRITÉRIOS DE INCLUSÃO/EXCLUSÃO

O critério de inclusão dos participantes, para a realização da pesquisa, foi estabelecido com a condição de que tivessem mais de 18 anos de idade, fossem estudantes que já tivessem cursado disciplinas de óptica e física moderna ou professores do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Uberlândia.

O critério de exclusão foi aplicado para estudantes que eram menores de 18 anos de idade, não pertenciam à licenciatura em física, não haviam cursado disciplinas de óptica e física moderna do curso ou não desejavam participar da pesquisa. Em relação aos professores, o critério de exclusão foi aplicado aos professores do curso de Licenciatura em Física que não desejavam participar da pesquisa.

5.3. RISCOS E BENEFÍCIOS

Os riscos envolvidos foram mínimos, relacionados principalmente à possível identificação dos participantes da pesquisa. Para garantir o anonimato, foram tomados todos os cuidados necessários. Durante o processo de pesquisa, os entrevistados foram identificados por códigos, e apenas os pesquisadores envolvidos tiveram acesso às respostas dos questionários e

entrevistas individuais. Mesmo durante a publicação dos resultados da pesquisa, a identidade dos participantes foi preservada.

Também foi levada em consideração a possibilidade dos participantes se sentirem desconfortáveis com as perguntas ou experimentarem algum estresse devido à duração da entrevista. Foi explicado a eles que poderiam fazer pausas ou optar por não responder determinadas questões, caso não desejassem.

Ficou evidente que as informações e os conhecimentos produzidos foram importantes para uma compreensão criteriosa das contribuições da óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea na formação de professores de física da Universidade Federal de Uberlândia

6. RESULTADOS E ANÁLISES

Precisar, retificar, diversificar são tipos de pensamento dinâmico que fogem da certeza e da unidade, e que encontram nos sistemas homogêneos mais obstáculos do que estímulo. Em resumo, o homem movido pelo espírito científico deseja saber, mas para, imediatamente, melhor questionar.

BACHELARD (1996, p 21)

6.1. RESULTADOS: LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

A pesquisa no campo de ensino da óptica tem proporcionado avanços com a finalidade de encarar as dificuldades apresentadas pelos alunos na construção de sua aprendizagem. Segundo Lucero, Concavi e Pozzo (2006), e Bravo e Pesa (2015), a formação de imagens e a transição entre a óptica geométrica e a óptica ondulatória são os conteúdos com os quais os estudantes encontram maiores dificuldades, pois, embora possam compreender operacionalmente as situações, acham difícil conceituar e distinguir entre um modelo e outro.

Diversos estudos neste ramo, também afirmam que os conteúdos de óptica geométrica são os mais abordados no ensino formal, particularmente no ensino médio, e a persistência de concepções espontâneas depois do processo de ensino-aprendizagem tendem a permanecer, (GIRCOREANO E PACCA, (2001); WINER, COTTRELL (2001), GREGG; FOURNIER e BICA, (2002), entre outros). Por outro lado, as pesquisas na área de física relacionadas às teorias bachelardianas constituíram um referencial importante para o desenvolvimento desta pesquisa, uma vez que suas ideias sobre os obstáculos epistemológicos e a importância de analisar a evolução conceitual em física inspiraram a abordagem metodológica adotada neste estudo.

No Brasil, os trabalhos ou estudos dos aportes da epistemologia bachelardiana tem como referência as obras de Marli Bulcão (1981), quem escreveu uma obra que apresenta uma análise das teorias bachelardianas e seu aporte para o ensino de física. Devido à extensa obra de Bachelard, se destacam em importância os trabalhos que mais podem ser associados e discutidos para o processo educativo de ensinar e aprender a disciplina de física.

Do mesmo modo, foi necessário utilizar alguns critérios de exclusão na pesquisa em portais oficiais, com o objetivo de filtrar os resultados de forma mais significativa para a análise e com dados mais recentes e contextualizados, considerando a atualidade do pensamento bachelardiano para o ensino de física em geral e da óptica em particular.

Nesse contexto, tornou-se relevante realizar um levantamento bibliográfico das produções no ensino dos conceitos de óptica, assim como dos aportes de Bachelard, com o objetivo de estabelecer um cenário das pesquisas desenvolvidas e suas principais implicações.

A revisão de periódicos de livre acesso, disponíveis na internet, poderia nos aproximar de uma variedade de estratégias para o ensino da Física que abordam seus diferentes ramos, da mecânica clássica à mecânica quântica e ao eletromagnetismo. Neste trabalho, realizamos uma primeira revisão sobre as pesquisas focadas no ensino de óptica a partir de artigos alocados na plataforma SciELO (gráfico N°1), utilizando palavras-chaves, a saber: óptica e ensino, óptica e ensino de física, óptica e ensino de ciências, e óptica e licenciatura, (MATERÁN, USTRA, 2019).

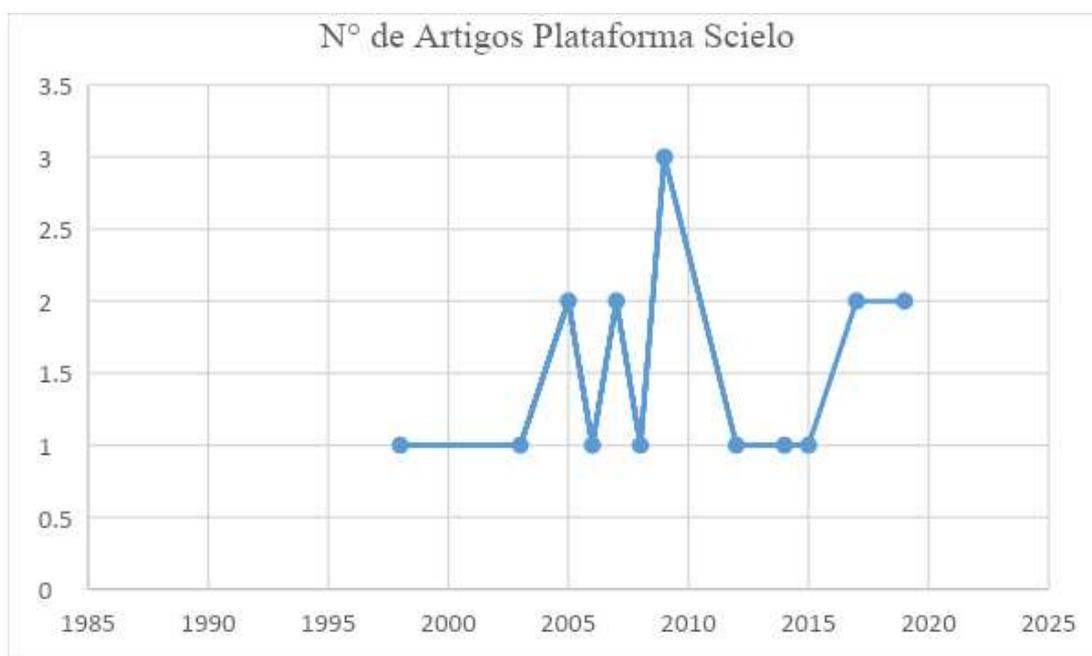
Depois desta primeira revisão, realizamos uma segunda busca, mais abrangente, que não se limitou apenas a pesquisas no ensino de óptica, mas também incluiu aquelas que abordam as teorias bachelardianas. Os detalhes específicos dos artigos científicos obtidos serão apresentados posteriormente na seção 'Artigos em Jornais e Revistas Científicas' deste texto.

Para conduzir essa busca ampliada, utilizamos a Plataforma Dimensions¹⁴ da CAPES, fazendo uso das palavras-chave: 'formação de professores', 'ensino de óptica', e 'epistemologia bachelardiana'. É importante ressaltar que no momento da busca destes artigos, o uso de termos no idioma inglês ou português não fez diferença no portal Dimensions, de fato, a busca com termos em inglês as vezes não resultava em novas descobertas.

¹⁴ <https://app.dimensions.ai/discover/publication>

Além disso, também conduzimos buscas no portal de Teses e Dissertações da CAPES¹⁵, utilizamos as palavras-chave: ‘teaching physics’, ‘bachelardian epistemology’, ‘epistemology obstacles, do mesmo modo no idioma espanhol: obstáculos epistemológicos, ensino de física e história da ciência, ou “teaching physics AND bachelardian epistemology ORD epistemology obstacles”. Adotamos estratégias de busca que combinassem esses termos, como 'teaching physics AND bachelardian epistemology' ou 'epistemology obstacles'. Essa abordagem ampla de pesquisa nos permitiu obter um conjunto diversificado de recursos acadêmicos relevantes.

Gráfico N° 1. Artigos da plataforma SciELO, Brasil



Fonte: Autoria própria

As palavras-chaves foram utilizadas em três idiomas, português, espanhol e inglês, havendo a possibilidade de que, com os critérios utilizados, algumas pesquisas que abordam o ensino e a aprendizagem da óptica tenham sido excetuadas.

Na plataforma DIMENSIONS da Capes, os resultados depois da aplicação dos filtros, resultaram 51 pesquisas, das quais 34 registros se correspondem aos critérios elegidos e apresenta mistura de artigos em jornais, dissertações de mestrado e teses doutorais. Em seguida,

¹⁵ <https://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#/>

complementamos nossa busca realizando pesquisas nos sites dos periódicos: “Caderno Brasileiro de Ensino de Física” do Brasil; “Latin American Journal of Physics Education” do México, e “Enseñanza de las Ciencias”, da Espanha. Ao todo, foram analisados 73 documentos de periódicos ou revistas (conforme ao indicado no Quadro N°7).

Por meio da plataforma CAPES de Teses e dissertações, inicialmente, obtivemos 123 resultados; no entanto, após a aplicação dos critérios definidos, apenas 20 desses resultados atenderam aos requisitos estabelecidos, tanto em relação à epistemologia bachelardiana quanto ao ensino ou aprendizagem da óptica e sua relação com a física moderna e contemporânea.

Apesar dos filtros aplicados, alguns dos trabalhos listados abordam temas de outras disciplinas, eles foram incluídos na busca devido a alguma referência à epistemologia ou obstáculos, porém desviam-se do tema principal desta pesquisa sobre óptica e sua relação com a física moderna, ao tratar assuntos de outras áreas. Desta maneira, os resultados filtrados foram complementados com os resultados obtidos na plataforma Dimensions da CAPES, resultando em um total de 12 Teses de Doutorado (conforme Quadro N°5) e 17 Dissertações de Mestrado (conforme quadro N°6).

Um fator que faz com que os primeiros resultados sejam tão numerosos, acreditamos seja pelas palavras que envolvem nossa pesquisa que fazem referências a outros contextos, como luz, óptica, reflexão, visão, entre outros, que as vezes são apresentados no sentido figurado da palavra, como conhecimento, esclarecimento ou formas de ver o mundo. Ainda que os resultados que são apresentados têm uma data limitada a 10 anos, em alguns casos serão apresentados trabalhos mais antigos, que conseguimos ter acesso, no entanto, considerados importantes na pesquisa. Outros dos resultados das pesquisas nas diferentes plataformas não foi possível ter o acesso, pois não tem registro eletrônico, portanto foram excluídos.

Da mesma maneira, um assunto importante a considerar é a aparente desconexão entre as pesquisas referidas à epistemologia bachelardiana e ensino de física, não ter elementos comuns e as palavras com mais número de aparições sejam desconexas ou carentes de sentido, (Figura 5), pois usando o Software de processamento de bases de dados se observa a pouca desconexão das pesquisas e às vezes a inexistente falta de referências ou citações entre os trabalhos achados de teses e dissertações.

Figura 5. Nuvem de Palavras- Teses



Fonte: Autoria própria

Na imagem, podemos observar palavras em diferentes tamanhos, sendo que o tamanho indica a frequência de repetição. As palavras "físico", "didático", "atividade", "análise" e "conceito" são as mais repetidas nas pesquisas. No entanto, sem contexto, essas palavras não fornecem informações específicas sobre os temas tratados. Ao examinar a imagem mais de perto, percebemos que a palavra "eletromagnetismo" tem um tamanho médio na parte superior, enquanto "física contemporânea" está na parte inferior, o que está de acordo com os resultados dos temas mais abordados nas pesquisas. Outras palavras de destaque imediato incluem "professor", "conhecimento", "aprendizagem", "pesquisa", "ciência", "formação", "histórico", "epistemológico" e "obstáculos epistemológicos". Ao analisar essas palavras,

podemos concluir que o elemento distintivo das pesquisas relacionadas às teorias de Bachelard é o conceito de "Obstáculo Epistemológico", juntamente com os elementos históricos presentes na construção de atividades de aprendizagem ou nas propostas.

Com os documentos encontrados se fez uma classificação por tipos:

- i. Teses Doutoriais
- ii. Dissertações de Mestrado
- iii. Artigos em Jornais e Revistas Científicas.

Teses Doutoriais

O quadro N°5 detalha as teses de doutorado dos diferentes programas de pós-graduação relacionados com o ensino de física e as ciências; o espectro de tópicos abordados é variado, desde a apresentação de produtos educacionais ou modelos educativos de transposição didática e também o uso de simulações computacionais para o ensino. Nas abordagens teóricas e metodológicas adotadas pelos pesquisadores surgem as teorias bachelardianas, mais também atividades experimentais e informatizadas assim como a arte na educação em ciências, mostrando diferentes estratégias que podem ser utilizadas pelos docentes no ensino de física e ciências. As datas variam desde o ano 2007 até 2020. O maior número de pesquisa (ver gráfico N°2) está associado aos programas da Universidade de São Paulo, com quatro, e da Universidade de Santa Catarina, que contém dois trabalhos na área. Neste gráfico estão detalhados os trabalhos por Universidade, pois estão expressos tanto os trabalhos de doutorado como os de mestrado, que por sua vez estão apresentados em detalhamento no quadro N°6.

Quadro 5. -Teses de Doutorado

ID	Autor	Orientador	Título	Programa	Inst.	Ano
9D-rc10	Alfredo Müllen Da Paz	Prof. José De Pinho Alves Filho, Dr.	Atividades Experimentais e Informatizadas: Contribuições para o Ensino de Eletromagnetismo	PPG em Educação Científica e Tecnológica	UFSC	2007
8D-rc9	Souza Filho, M. P.	Prof. Dr. João José Caluzi.	O erro em sala de aula: subsídios para o ensino do eletromagnetismo.	PPG em Ensino de Ciências	UNESP	2009
11D-35r	Ana Carolina Staub De Melo	Frederico Firmo De Souza Cruz	Transposição Didática do Modelo de Huygens: uma proposta para a física escolar	PPG Educação Científica e Tecnológica	UFSC	2010
4D-16r	Kapitango-A-Samba, Kilwangy Kya	Prof. Dr. Elio Carlos Ricardo	História e filosofia da ciência no ensino de ciências naturais: o consenso e as perspectivas a partir de documentos oficiais, pesquisas e visões dos formadores	Programa de Pós-Graduação em Educação	USP	2011
10D-rc12	Siqueira, Maxwell Roger Da Purificação	Prof. Dr. Maurício Pietrocola.	Professores de física em contexto de inovação curricular: saberes docentes e superação de obstáculos didáticos no ensino de física moderna e contemporânea	PPG Educação	USP	2012
6D-31r	Crochik, Leonardo.	Prof. Dr. João Zanetic	Educação e Ciência como Arte: Aventuras docentes em busca de uma experiência estética do espaço e tempo físicos.	PPG Interunidades em Ensino de Ciências	USP	2013
1D-7r	Paulo Henrique De Souza	Prof. Dr. João Zanetic	Epistemologia e cultura no ensino de física: desvelando os conceitos de tempo e espaço	PPG- Interunidades em Ensino de Ciências.	USP	2014
5D-30r	Márlon Caetano Ramos Pessanha	Prof. Dr. Mauricio Pietrocola Pinto De Oliveira	Estrutura da matéria na educação secundária: obstáculos de aprendizagem e o uso de simulações computacionais	PPG Educação	USP	2014
3D-14r	Rezende Thaianne Lopes De Souza	Sandro Rogério Vargas Ustra	Objetos educacionais virtuais em livros didáticos de física: limites e potencialidades	PPG Educação	UFU	2019
2D-rc16	Claudia Santos Do Nascimento Vilas Bôas	Dr. Moacir Pereira De Souza Filho	A epistemologia de Bachelard e a aprendizagem do conceito de ressonância em tubos sonoros	PPG em Ensino de Ciências	UFMS	2020
7D-rc1	Stenio Goncalves De Oliveira	Prof. Dr. Luiz Gonzaga Roversi Genovese	A Física Apropriada: Realismo Ingênuo e Obstáculos Epistemológicos	PPG Educação em Ciências e Matemática	UFG	2020
12D-36r	Cleise Helen Botelho Koeppe	Profª. Drª. Luciana Calabro. Co-Orientador: Prof. Dr. Marcus Eduardo Maciel Ribeiro	Formando Espíritos Científicos: Epistemologia Bachelardiana aplicada ao ensino de ciências na Educação Básica de Florianópolis – SC	PPG em Educação em Ciências	UFRGS	2020

Fonte: Autoria própria

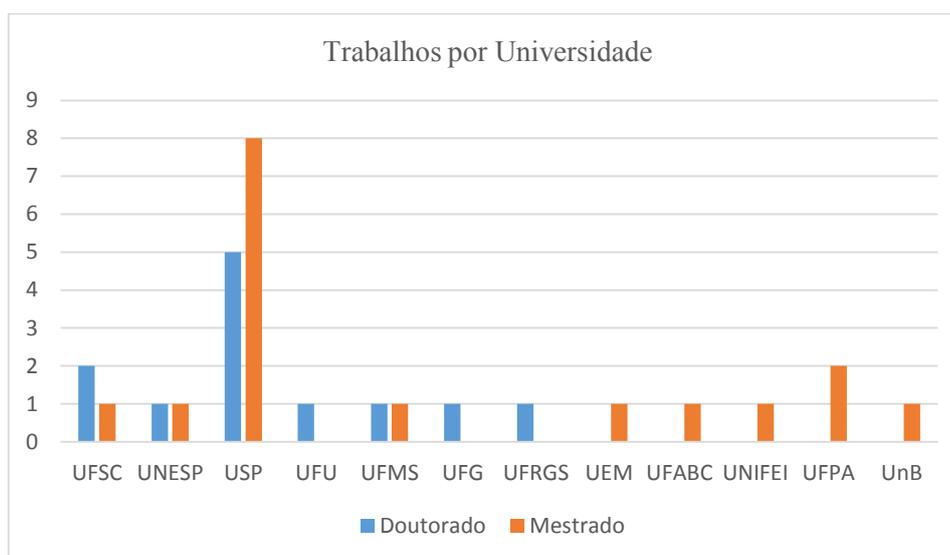
No processo de revisão detalhada identificamos as categorias: Ensino-Aprendizagem da física, com foco especial no ensino de óptica; produtos educacionais ou propostas didáticas, História, Filosofia e Epistemologia da física e/ou Bachelardiana e

Formação de Professores. Dessa forma, classificamos as Teses de Doutorado da seguinte maneira (gráfico N° 3):

- a. História, Filosofia e Epistemologia da Ciência [6D-31r];
- b. Bachelard e ensino de Ciência [1D-7r; 2D-13r; 5D-30r; 7D-rc1; 8D-rc9; 9D-rc10; 10D-rc12; 11D-35r; 12D-36r], que pode estar relacionado com temas específicos de física em geral, óptica ou física moderna e contemporânea;
- c. Produtos Educacionais, que oferecem estratégias para o processo de ensino-aprendizagem [3D-14r; 8D-rc9; 6D-31r; 9D-rc10; 10D-rc12; 11D-35r];
- d. História e Filosofia da Ciência, sem uma clara relação com a física em geral, óptica e física moderna e contemporânea [4D-16r].

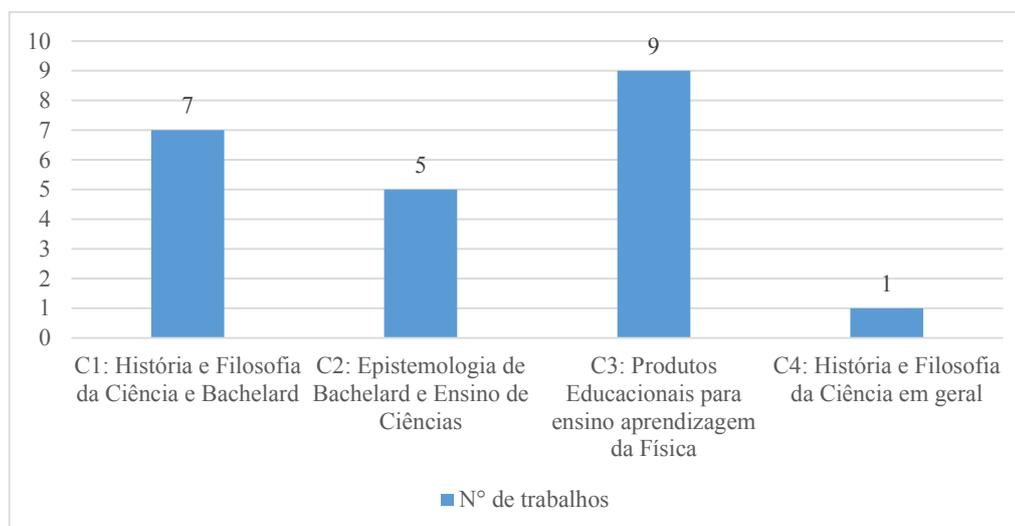
Todas essas teses se enquadram nas quatro primeiras categorias descritas.

Gráfico N° 2. Trabalhos de Mestrado e Doutorado por Universidade Federal.



Fonte: Autoria própria.

Gráfico N° 3. Número de trabalhos de doutorado por categoria



Fonte: Autoria própria

Os trabalhos identificados pertencentes à categoria “Epistemologia de Bachelard e Ensino de ciências” (1D-7r; 2D-13r; 5D-30r; 7D-rc1; 8D-rc9; 9D-rc10; 10D-rc12; 11D-35r e 12D-36r) abordam, sob diversas perspectivas, a epistemologia e os conceitos bachelardianos. Essa abordagem pode estar diretamente expressa nos títulos dos trabalhos, assim como nos resumos ou conclusões. No âmbito dessa categoria, os temas de física abordados são eletromagnetismo, física moderna e contemporânea (sem fazer referência a um tema explícito) para nível de educação média; assim como os conceitos de espaço e tempo, ressonância em tubos sonoros e o princípio de Huygens. Cada um destes temas tenta se associar às teorias bachelardianas, destacando-se o conceito do Obstáculo Epistemológico em sete dos nove trabalhos. Além disso, o perfil epistemológico é abordado em dois trabalhos.

Os conceitos erro, história da ciência, filosofia da ciência, perfil epistemológico e obstáculos epistemológicos, representam nosso referente das teorias bachelardianas, desta forma, uma olhada apresada oferece a ideia de que os trabalhos listados são relevantes para a pesquisa; é o caso da tese *O erro em sala de aula: subsídios para o ensino do eletromagnetismo*, que apresenta o conceito de erro sem fazer referência direta à epistemologia de Bachelard. Neste trabalho o autor destaca a importância do erro na formação dos estudantes, e analisa o processo dialético entre o erro e a verdade, entre a razão e a experiência, que propiciam a formação de novas zonas do perfil epistemológico e conseqüentemente contribui para a aquisição de um conhecimento mais elaborado. Neste trabalho, o conceito principal estudado é o erro, embora

não tenha sido analisado sob a perspectiva bachelardiana. No entanto, o pesquisador da obra em análise reconhece os obstáculos epistemológicos como um conceito intrínseco à teoria de Bachelard.

Também, podemos constatar que algumas das obras repetem-se em mais do que uma categoria, como o título assim o indica. No caso de produtos educacionais, onde é oferecida uma estratégia para o processo de ensino-aprendizagem, às vezes não fica evidente por não estar indicada explicitamente, como no caso da obra [10D-rc12], cujo título é: *Professores de física em contexto de inovação curricular: saberes docentes e superação de obstáculos didáticos no ensino de física moderna e contemporânea*, neste trabalho o objetivo principal foi pesquisar “quais os obstáculos didáticos que se apresentam aos professores no contexto da inovação curricular com a inserção da Física Moderna e Contemporânea”; propondo sequencias didáticas para que os professores trabalhem os temas de física moderna e contemporânea com estudantes de ensino médio; ainda na maioria dos casos, não fica evidente a quem se dirige o estudo (público alvo: estudantes de ensino médio ou superior) uma vez que não é indicado.

O trabalho *Transposição Didática do Modelo de Huygens: uma proposta para a física escolar*, da Universidade Federal de Santa Catarina (11D-35r) é o único trabalho da categoria de Teses Doutorais que aborda algum conteúdo de óptica. A autora apresenta uma proposta didática para o ensino e/ou construção do conceito de ondas a partir de trechos das teorias de Huygens e faz análise de como a história é usada no ensino médio no processo educativo. Desta forma, a tese explora o potencial de usar o contexto histórico de Huygens para o ensino de ciências. Analisa os desafios de incorporar episódios históricos no ensino de ciências e propõe uma estratégia didática para apresentar o potencial do modelo de ondas mecânicas de Huygens.

A pesquisadora observa que qualquer tentativa de sugerir uma visão sobre a concepção de luz de Huygens ou Newton que se alinhe com a compreensão atual da luz seria histórica e conceitualmente imprecisa; também destaca a falta de clareza das ideias da época e a ausência de um contexto de referência em seus modelos, o que leva à percepção de que suas ideias são autônomas e não levam em conta o contexto mecanicista da época. Da mesma maneira a autora, explora o conteúdo histórico relacionado à natureza da luz apresentado em três livros didáticos de física do ensino médio e discute a possível combinação de conteúdo

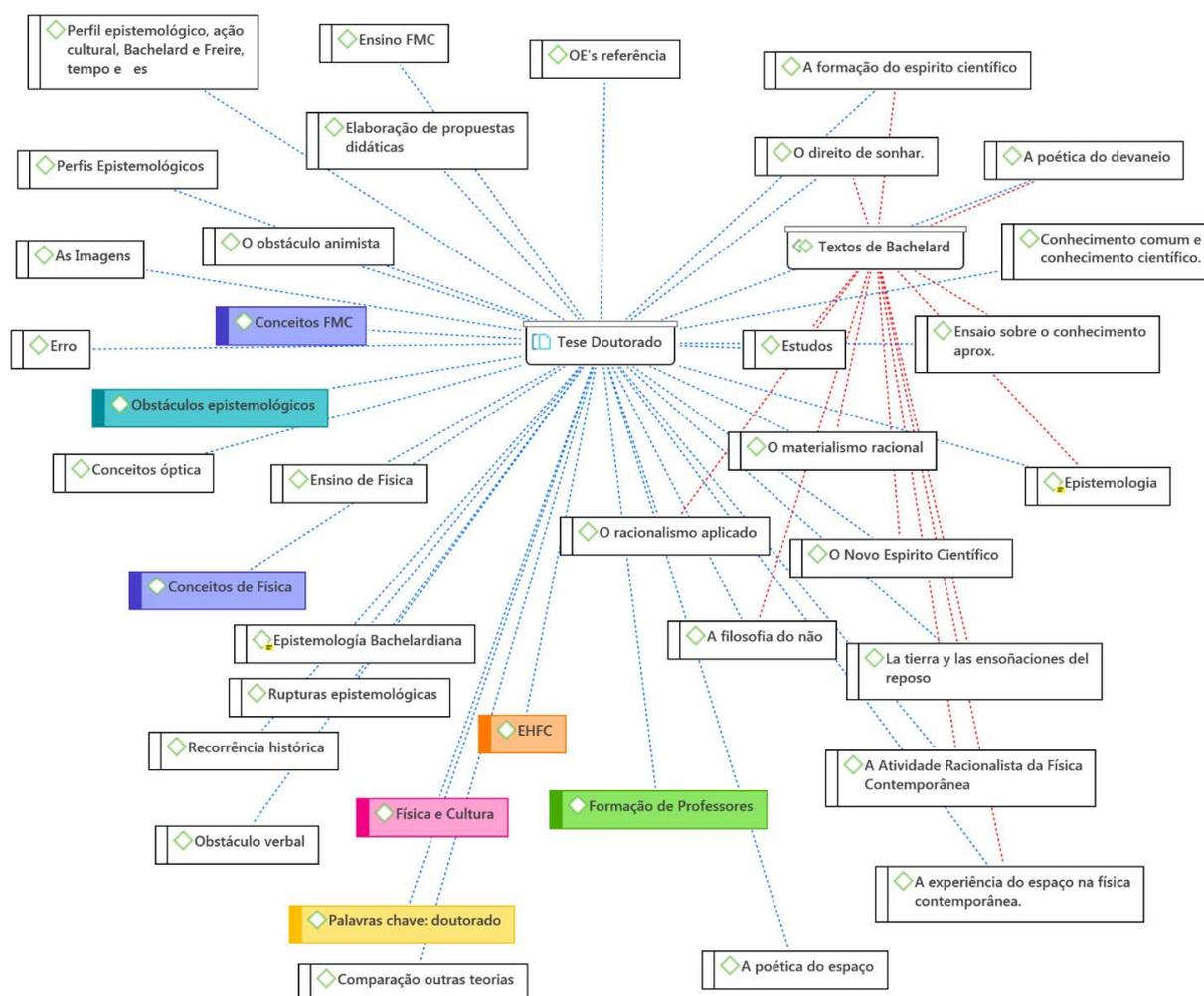
histórico e acadêmico, o papel da natureza da ciência no contexto histórico examinado e a presença ou ausência de atividades relacionados com o conteúdo histórico.

Do parágrafo anterior se pode advertir que a autora do trabalho em análise, discorda com a teoria e epistemologia bachelardiana no sentido da visão de história da ciência e a importância de Huygens na construção do modelo de ondas para o entendimento ou compreensão do modelo atual da Luz, pois como temos falado antes, para Bachelard a história da ciência é mais do que acumulação de fatos, a história das ciências é uma sucessão de ideias científicas em constante evolução e, enfatiza ainda que Huygens oferece uma contribuição definitiva à física e à óptica ao desenvolver a construção do raio refratado com base na hipótese ondulatória. (CANGUILHEM, s/d).

Das conclusões mais importantes deste trabalho destacam-se que os modelos científicos não nascem prontos, são aprimorados ao longo dos anos a partir de novas pesquisas e descobertas, ao tempo que os contextos históricos podem ser apresentados aos alunos pois favorecem a compreensão da física e o papel do professor na transposição didática dos conteúdos.

No referente as ideias de Bachelard, a Tese *Formando Espíritos Científicos: epistemologia bachelardiana aplicada ao ensino de ciências na Educação Básica de Florianópolis – SC* de 2020, oferece um panorama das ideias do filósofo Gaston Bachelard nas pesquisas no Brasil durante quatro anos, na qual desenvolve 10 artigos científicos para ampliar as análises da prática docente na visão dos pressupostos y conceitos bachelardianos. Neste trabalho a pesquisadora tenta explicar todos os conceitos de Bachelard que constituem um referencial na hora do processo educativo, através de estudos de casos entre outras estratégias de indagação.

Figura 6- Conceitos e livros de Bachelard usados nas pesquisas de doutorado



Fonte: Autoria própria

Nas conclusões mais representativas a autora descreve as ideias bachelardianas como modificadoras da prática docente ampliando possibilidades avaliativas e educacionais. Para a pesquisadora os conceitos bachelardianos de racionalismo aplicado e conhecimento aproximado pode otimizar a pesquisa em educação e complementar outras teorias educativas, assim mesmo verifica a presença de obstáculos epistemológicos que podem ser detectados através dos erros e ainda que o conceito de perfis epistemológicos pode ser usado nos processos avaliativos.

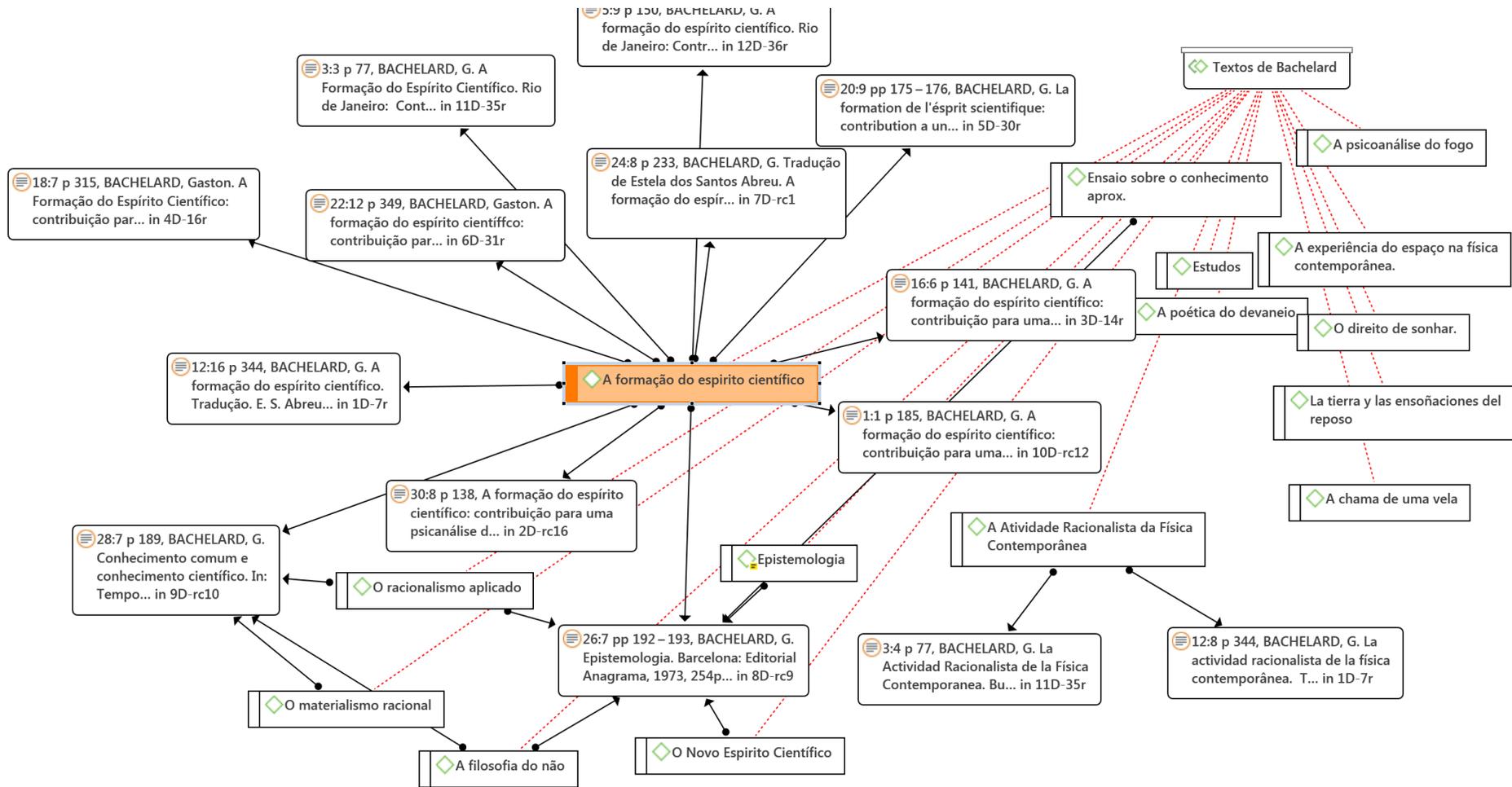
Todos esses trabalhos analisados nesta categoria, desempenham um papel importante como referencial para posicionar a pesquisa sobre as teorias de Bachelard na

formação de doutorandos no país. Embora, a pesquisa nessa área esteja em desenvolvimento, esses estudos têm contribuído significativamente para a educação em ciências de forma geral e, especificamente, para a área da física. As teorias bachelardianas oferecem diversas perspectivas e contribuições no campo educacional, como pode ser observado na figura N°6, assim mesmo, devido à natureza das pesquisas, as diferentes obras de Bachelard são usadas como referências para o desenvolvimento das investigações, em maior ou menor grau, porém algumas ganham destaque sobre outras.

Os conceitos de Bachelard já mencionados, observam-se também na figura 6, da mesma forma que os livros de texto, e os obstáculos epistemológicos em certa medida é o conceito que mais frequência têm, mas também é possível verificar a presença de outros conceitos como erro, ruptura epistemológica e recorrência histórica. Em alguns casos, os obstáculos epistemológicos (que, segundo Bachelard, podem ser divididos em pelo menos 7 tipos) são especificados, fazendo ênfase em obstáculos particulares como o animista e o verbal; que são apresentados explicitamente seja na descrição das palavras chave, no resumo ou título dos trabalhos.

A obra de Bachelard que ganha destaque é *A formação do espírito científico* (Figura N°7) em concordância com o tema mais abordado nas pesquisas- o de obstáculos epistemológicos. Da figura também podemos destacar que o texto *A poética do espaço* não é citado nos trabalhos de doutorado, porém, se está presente na classificação dos textos é porque foi citado na alguma obra analisada, neste caso, correspondente às Dissertações. Como vemos na figura 8, são poucos os trabalhos que empregam mais de um texto de Bachelard, questão que consideramos importante, pois é possível que um só texto da obra do autor não expresse todo o potencial de suas contribuições ao campo educativo.

Figura 7- Livros de Bachelard citados em Teses Doutoriais



Fonte: Autoria própria

Dissertações de Mestrado

Como mencionado anteriormente, as pesquisas de mestrado referentes a nosso tema de investigação são maiores que as teses de doutorado (gráfico N°4); apresentadas no quadro N°6, temos trabalhos que abarcam desde o ano 1998 até o ano 2020; e da mesma maneira que as Teses de Doutorado também é possível agrupá-las nas quatro categorias descritas. Segundo o gráfico N° 2, o número de trabalhos por Universidade é equitativo com uma diferença acentuada com oito de dezessete pertencentes à Universidade de São Paulo.

Quadro 6. Dissertações de Mestrado

ID	Autor	Orientador	Título	Programa	Inst.	Ano
12M-rc4	Bruno Mauricio Batista De Albuquerque	Profa. Dra. Graciella Watanabe	Um conto, um quantum: Investigação do potencial de séries de narrativas discretas para a introdução de tópicos da Teoria Quântica em sala de aula	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física	UFABC	2020
6M-15r	Gonçalves, F. C.	Prof. Dr. Sandra Giacomini Schneider	Tendências epistemológicas e elementos da cultura Científica: análise qualitativa e proposta de sequência didática para introdução a scientific culture.	PPG em Projetos Educacionais de Ciências	USP	2019
3M-6r	Milnitsky, R.	Prof. Dr. Ivã Gurgel	Epistemologia e Currículo: reflexões sobre a Ciência Contemporânea em busca de um outro olhar para a Física de Partículas Elementares	PPG Interunidades em Ensino de Ciências	USP	2018
10M-rc2	Ney Candido Da Olpere Ribeiro	Prof. Dr. Marco Aurélio Alvarenga Monteiro Co-orientador: Prof. Dr. Thiago Costa Caetano	Potencialidades E Limitações de Laboratórios Remotos: um estudo a partir de Bachelard	Educação em Ciências e Matemática	UNIFEI	2018
14M-rc7	Pereira, Jefferson Rodrigues.	Dr. Eduardo Paiva de Pontes Vieira	A física nos anos iniciais: obstáculos verbais em livros didáticos em uma perspectiva bachelardiana	Educação em Ciências e Matemáticas	UFPA	2017
11M-rc3	Jackson Kamphorst Leal Da Silva	Prof. Dr. Daniel Luiz Nedel.	Uma proposta de ensino de tópicos de mecânica quântica sob a ótica de Bachelard.	PPG em Ensino de Ciências	UFPAMPA	2015
5M-11r	Tiago Santos Almeida	Profa. Dra. Sara Albieri	Aventuras e estratégias da razão: sobre a história epistemológica das ciências	PPG em História Social	USP	2011
9M-24r	Nering, Erika Masiero	Prof. Dr. Sérgio Bairon	Ciência Em Hipermídia: tramas digitais na produção do conhecimento	PPG Em Ciências Da Comunicação	USP	2011

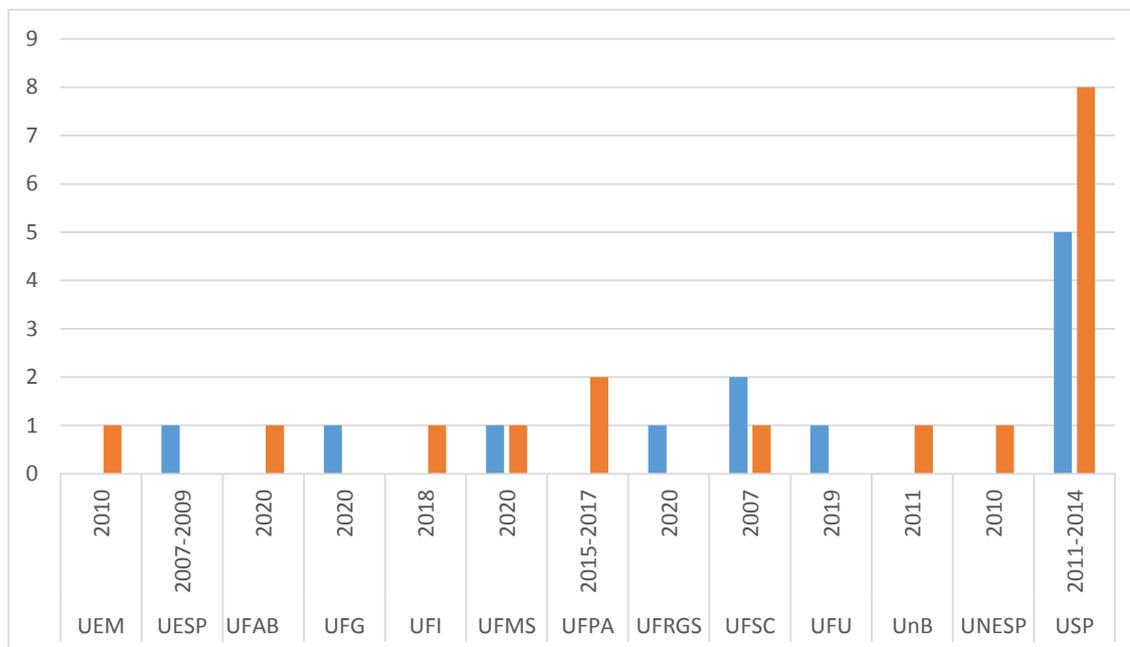
15M-rc8	Porto, Cleovam da Silva.	Prof. Dr. Cássio Costa Laranjeiras	Espectroscopia: Enfrentando Obstáculos e Promovendo Rupturas na Inserção na Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio	PPG em Ensino de Ciências	UnB	2011
2M-3r/rc5	Pedro Donizete Colombo Junior	Dra. Cibelle Celestino Silva	A percepção da gravidade em um espaço fisicamente modificado: uma análise à luz de Gaston Bachelard	PPG Interunidades em Ensino de Ciências	USP	2010
13M-rc6	José Bento Suart Júnior	Profª. Drª. Sílvia Regina Q. Aro Zuliani.	A dialética do conhecimento científico, a prática e a experimentação: uma análise do ideário de licenciandos e sua relação com a epistemologia da ciência moderna	PPG em Educação para a Ciência	UNESP	2010
16M-rc11	Lino, Alex	Prof. Dr. Polônia Altoé Fusinato	Inserção de física moderna e contemporânea no ensino médio: a ligação entre teorias clássicas e modernas sob a perspectivas da aprendizagem significativa	Educação para a Ciência e a Matemática	UEM	2010
8M-22r	Santana, Edson Rodrigues.	Prof. Dr. Agnaldo Arroio.	Relatos dos professores de Ciências sobre a natureza da Ciência e sua relação com a História e a Filosofia da Ciência.	PPG em Educação	USP	2009
7M-17r	Souza, Paulo Henrique De	Prof. Dr. João Zanetic	Tempo, Ciência, História e Educação: Um Diálogo Entre A Cultura e o Perfil Epistemológico	PPG em Educação	USP	2008
17M-rc14	Diogo, Rodrigo Claudino	Shirley Takeco Gobara Silva	A Aprendizagem de ondas sonoras sob a Ótica de desafios em um ambiente virtual potencialmente significativo	Educação	UFMS	2008
1M-1r	Ana Carolina Staub de Melo	Luiz O. Q. Peduzzi	Contribuições da Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução dos Conceitos da Óptica	PPG em Educação Científica e Tecnológica	UFSC	2005
4M-8r	André Ferrer Pinto Martins	Prof. Dr. João Zanetic	O ensino do conceito de tempo: contribuições históricas e Epistemológicas	PPG Interunidades em Ensino de Ciências	USP	1998

Fonte: Autoria própria

Igualmente, no gráfico N° 4 fica evidente que as maiores produções destes trabalhos estão agrupadas nos anos de 2011-2014 decrescendo para uma por ano até o ano 2020. O gráfico agrupa os trabalhos por Universidade, razão pela qual as datas não estão na ordem crescente. Os temas pesquisados abordam diversos tópicos de física, que incluem a apresentação de propostas didáticas e/ou atividades informatizadas ou remotas. Enquanto aos temas tratados, a epistemologia bachelardiana, com obstáculos epistemológicos, história das ciências e os perfis

epistemológicos são abordados, no contexto da física a história da óptica, e temas da física moderna, especificamente da mecânica quântica são estudados.

Gráfico N° 4. Total de Doutorado e Mestrado por Ano



Fonte: Autoria própria.

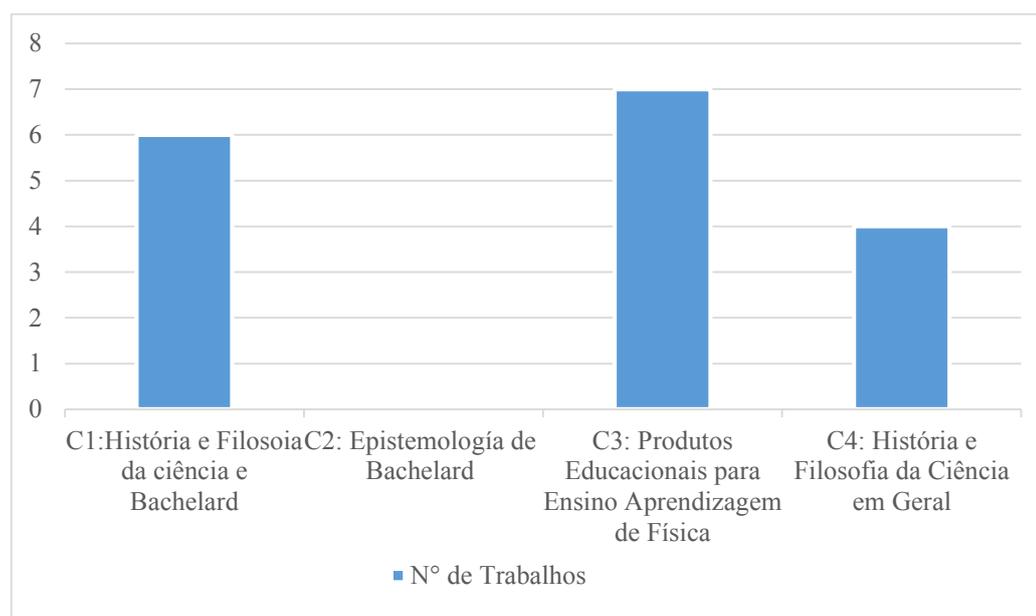
O contexto das pesquisas está focado no ensino de ciências na educação média e a formação de professores assim como o desenvolvimento de atividades ou propostas didáticas que incluem a história da ciência e da física, e a apresentação de estratégias para a inserção da física moderna e contemporânea no ensino médio. A nível geral, as pesquisas conseguem identificar alguns problemas comuns no ensino de física e a formação de professores, associados aos temas pesquisados de ensino de óptica e física moderna. Assim, a identificação de obstáculos epistemológicos na compreensão da física em geral e quântica em particular podem ser evidenciados, também falhas conceituais no ensino de física moderna e as vezes falta de consciência sobre a importância da natureza da ciência e sua conexão com a história e filosofia da ciência.

A distribuição de trabalhos por categorias está apresentada no gráfico N°5.

- a. História, Filosofia da Ciência e Bachelard [1M-1r; 2M-3r/rc5; 7M-17r; 10M-rc2; 14M-rc7; 15M-rc8]
- b. Epistemologia de Bachelard sem registros para esta categoria,

- c. Produtos Educacionais, que oferecem estratégias para o processo de ensino-aprendizagem [10M-rc2; 11M-rc3; 12M-rc4; 13M-rc6; 15M-rc8; 16M-rc11; 17M-rc14];
- d. História e Filosofia da Ciência, sem uma clara relação com a física em geral, óptica e física moderna e contemporânea [3M-6r; 4M-8r; 5M-11r; 8M-22r].

Gráfico N° 5. Trabalhos Mestrado por Categoria



Fonte: Autoria própria

No primeiro grupo desta classificação, as teorias bachelardianas ocupam lugar de destaque, todas estas pesquisas voltadas para o estudo de algum conceito físico particular onde os conceitos da óptica e da física moderna estão presentes. No trabalho de Melo, *Contribuições da Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução dos Conceitos da Óptica* de 2005, a pesquisadora ilustra o diálogo entre a história e filosofia da ciência em uma disciplina de evolução dos conceitos de física, fundamentada nas obras de Gaston Bachelard, destaca os principais conceitos da teoria bachelardianas, a saber, os conceitos de ruptura-descontinuidades, retificação do erro e a superação de obstáculos epistemológicos, também a noção de recorrência histórica e as analogias no âmbito da ciência colocando em evidência a dialética do racionalismo-empirismo da física moderna e o valor instrumental técnico no domínio quântico.

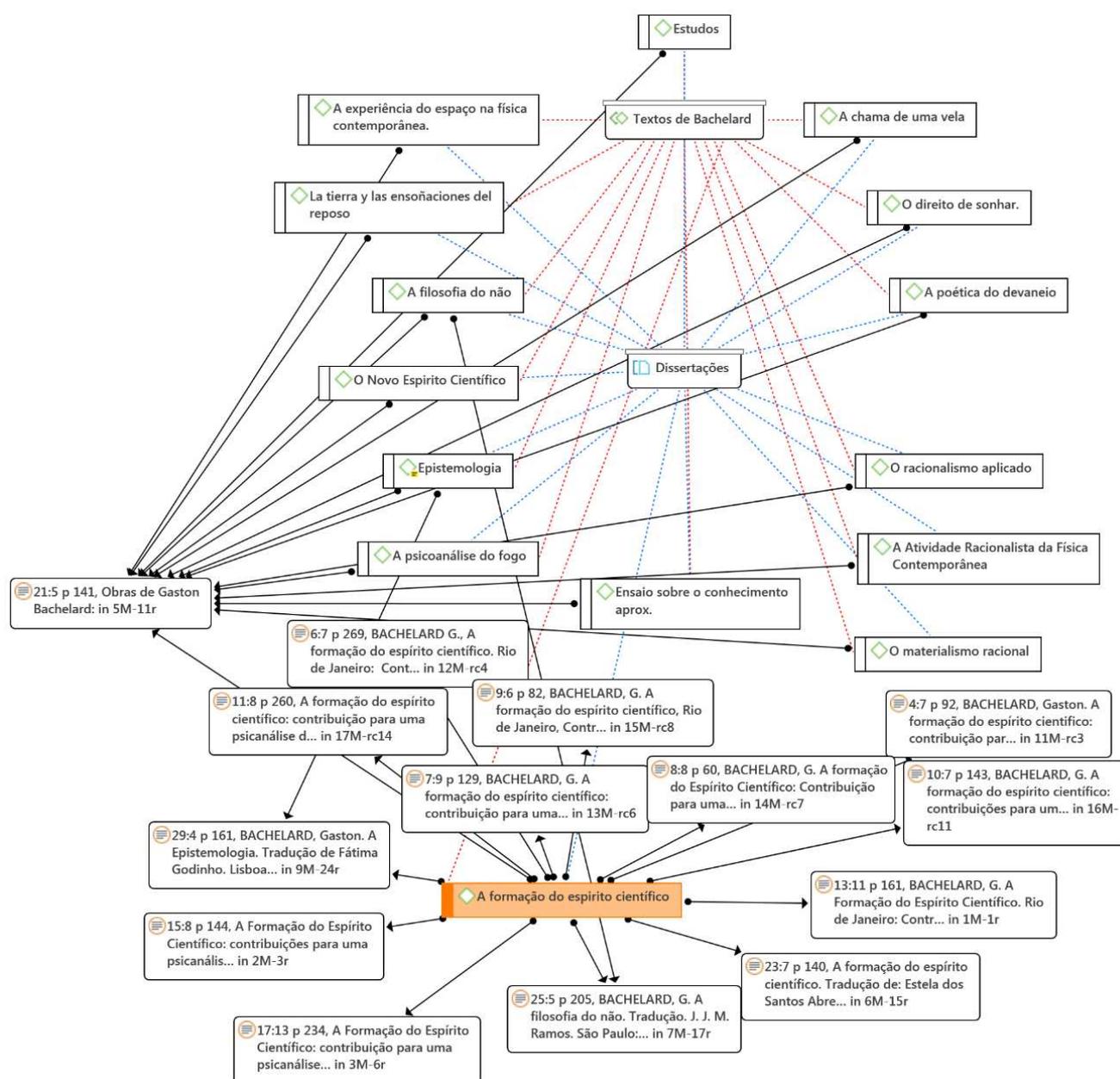
Os resultados de sua pesquisa mostram a importância da abordagem epistemológica no estudo da evolução das teorias físicas e da óptica em particular. Dentro de esta categoria também há presença de outros conceitos abordados desde as perspectivas bachelardianas, tempo e gravidade são conceitos que igualmente foram abordados nas pesquisas de doutorado analisadas.

No caso da pesquisa [14M-rc7] *A física nos anos iniciais: obstáculos verbais em livros didáticos em uma perspectiva bachelardianas* o pesquisador estuda o conceito de energia nos livros didáticos observando que a maneira como são colocadas as palavras nos livros didáticos propiciam o surgimento de obstáculos epistemológicos verbais e ressalta o conceito de energia como significativo para o estudo pelo seu caráter unificador.

Na figura N°8, podemos observar que todas as dissertações de mestrado citam o texto **A Formação do Novo Espírito Científico de Bachelard**. Apenas a dissertação [5M-11r], intitulada *Aventuras e estratégias da razão: sobre a história epistemológica das ciências*, menciona todos os textos de Bachelard. Para Almeida, autor do trabalho em análise, Bachelard atribui à história das ciências a tarefa de descrever as rupturas que marcaram os momentos em que o irracionalismo foi abandonado. Uma consideração importante deste trabalho é que o autor mostra que não apenas a epistemologia bachelardiana se inscreve na tradição filosófica nietzschiana, mas também inaugura a via de aproximação entre a história das ciências e a história social.

Na categoria de produtos educacionais, a maioria de propostas encontradas aborda os tópicos da física moderna e contemporânea, utilizando as perspectivas bachelardianas na maioria dos casos, e as vezes em combinação com outros autores como Ausubel, [17M-rc14] Novak e Gowin [16M-rc11]; Freire [15M-rc8] e Bruner [12M-rc4]. Nesses trabalhos, o conceito de obstáculos epistemológicos foi o mais considerado, juntamente com o de ruptura epistemológica, nos contextos do ensino médio e formação de professores no ensino superior.

Figura 8. Livros de Bachelard citados em Dissertações de Mestrado



Fonte: autoria própria

Na dissertação [11M-rc3] *uma proposta de ensino de tópicos de mecânica quântica sob a ótica de Bachelard* de Jackson Kamphorst Leal Da Silva, o autor explora vários conceitos físicos intimamente relacionados aos conteúdos estudados em óptica- mas abordados a partir da perspectiva quântica. O autor desenvolve uma sequência didática com uma abordagem filosófica não realista para tratar da dualidade onda-partícula, utilizando o experimento da fenda dupla para elétrons, o interferômetro Mach-Zehnder e da interação da luz com a matéria através do efeito fotoelétrico. Além disso, o autor inclui uma breve descrição sobre realismo científico

e relatos históricos. No contexto, o autor identifica os obstáculos epistemológicos que influenciaram a construção e o desenvolvimento histórico da mecânica quântica, levando em consideração esses obstáculos ao analisar os livros didáticos e demonstrando as rupturas epistemológicas ocorridas nesse campo de estudo.

Artigos em Revistas Científicas

A análise de artigos científicos desempenha um papel crucial na compreensão e no avanço do conhecimento em diversas áreas do saber. Nesse sentido, depois de uma primeira aproximação com a análise de 16 artigos da plataforma SciELO, (gráfico N°1) analisamos 73 artigos científicos, agrupados em oito categorias, que abordam uma ampla gama de temas, incluindo a epistemologia bachelardiana e os conceitos de física de forma geral, bem como tópicos específicos relacionados à óptica, física moderna e contemporânea, a formação de professores e as análises de livros de texto também entraram na classificação.

Como vimos, a epistemologia bachelardiana, desenvolvida pelo filósofo francês Gaston Bachelard, propõe uma abordagem crítica e reflexiva sobre o conhecimento científico. Ele enfatiza a importância da ruptura epistemológica, ou seja, a necessidade de superar os obstáculos epistemológicos que impedem o progresso do pensamento científico. Assim sendo, os artigos analisados exploram e discutem os fundamentos e as aplicações da epistemologia bachelardiana, destacando sua relevância na compreensão dos processos de construção e desenvolvimento do conhecimento científico voltados para a área de física.

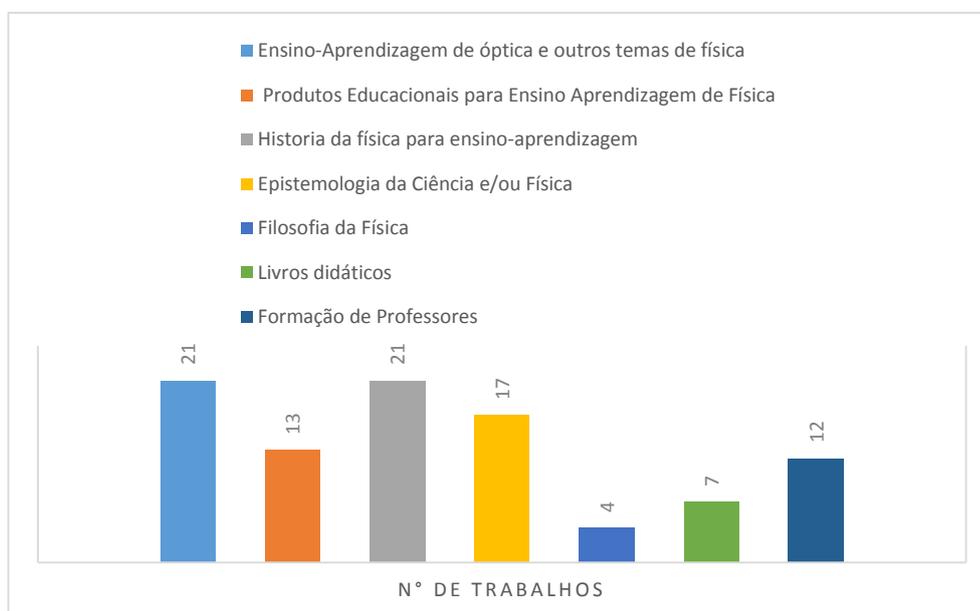
Além disso, os artigos examinados abrangem conceitos de física em geral, oferecendo ideias e perspectivas inovadoras sobre uma ampla variedade de fenômenos físicos. Entre os temas abordados, destaca-se a óptica, que trata do estudo da luz e de seus comportamentos, bem como da interação da luz com a matéria. Essa área da física tem sido objeto de várias pesquisas e avanços científicos nas últimas décadas, e os artigos analisados proporcionam uma visão aprofundada e atualizada sobre esse campo de estudo.

Por outro lado, a física moderna e contemporânea, representada por diversos artigos incluídos na análise, engloba os avanços científicos ocorridos desde o século XX, abarcando tópicos como a mecânica quântica, a teoria da relatividade e a física de partículas. Essas áreas desafiam as concepções tradicionais da física clássica, apresentando conceitos e fenômenos

surpreendentes, como a dualidade onda-partícula e a não localidade quântica. Os artigos examinados proporcionam um panorama das pesquisas recentes no campo educativo e das teorias desenvolvidas nesse campo dinâmico e em constante evolução. Esta análise permitiu uma investigação aprofundada e abrangente sobre o tema principal desta pesquisa para compreender as contribuições da pesquisa na didática da física e o avanço na área de didática das ciências, bem como identificar as principais tendências e os aspectos mais relevantes discutidos nessas publicações científicas.

Os artigos analisados foram detalhados no quadro N°7, onde foram subdivididos por categorias específicas conforme descrito no gráfico N°6. É importante ressaltar que devido ao maior conjunto de documentos analisados-diferente às teses e dissertações, a categoria *história, filosofia e epistemologia da ciência* foram separadas nesta análise para facilitar a leitura. Além disso, os livros didáticos e formação de professores que também foram considerados, podem ser inseridos nas categorias mencionadas anteriormente, porém foram separados pois acreditamos que essa separação auxilia na compreensão dos resultados obtidos. Cabe mencionar também que um artigo pode se enquadrar em mais de uma categoria.

Gráfico N° 6. Artigos por categoria



Fonte: Autoria própria

Quadro 7. Artigos em Periódicos Científicos.

Categoria	ID	Autores	Título	Periódico/Revista	Ano
Ensino-aprendizagem de óptica ou outros tópicos de física	12	Aarón Segura, Viviana Nieto y Esteban Segura	Un análisis profundo del fenómeno dualidad onda partícula para la comprensión del mundo cuántico	Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 6, No. 1, March 2012 137	2012
	77	Francisco Caruso	O Universo da Luz	Revista Brasileira de Ensino	2020
	5	Beléndez, A Pascual, I., y Rosado, L	La enseñanza de los modelos sobre la naturaleza de la luz	ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS, 1989, 7 (3), 271-275	1989
	19	Alessandra Marques Ferreira dos Márcia Helena Alvim	Estudo sobre a formação das cores na óptica: possibilidades a partir das Fontes Documentais Históricas	Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 39, n. 3, p.798-827, dez. 2022	2022
	23	Venceslau da Cruz Silva, Boniek	Discutindo Modelos de Visão Utilizando a História da Ciência	Holos, Ano 25, Vol. 3	2009
	32	Silvia Bravo e Marta Pesa	El Fenómeno de la Difracción en la Historia de la Óptica y en lo	Investigações em Ensino de Ciências – V20(2), pp. 76-102, 2015	2015
	34	C. Andreou and A. Raftopoulos	Lessons from the History of the Concept of the Ray for Teaching Geometrical Optics	Science & Education.	2011
	38	Breno Arsioli Moura, Cibelle Celestino Silva	Newton antecipou o conceito de dualidade onda-partícula da luz?	Lat. Am. J. Phy. Educ. Vol. 2, N°3, Sept 2008	2008
	39	Breno Arsioli Moura	Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz	Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 1, p. 111-141, abr. 2016	2016
	41	Breno Arsioli Moura, Sergio Luiz Bragatto Boss	Thomas Young e o resgate da teoria ondulatória da luz: Uma tradução comentada de sua Teoria Sobre Luz e Cores	Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 4, 4203 (2015)	2015
	43	Gerald A. Winer and Jane E. Cottrell	Fundamentally Misunderstanding Visual Perception Adults' Belief in Visual Emissions	American Psychologist	2001
	45	Igal Galili and Amnon Hazan	Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis	International Journal of Science Education	2000
	46	José Paulo Gircoreano e Jesuína Lopes de Almeida Pacca	O ensino da óptica na perspectiva de compreender a luz e a visão	Cad.Cat.Ens.Fis	2001
	48	John Hendry	The development of attitudes to the wave-particle duality of light and quantum theory, 1900–1920	ANNALS OF SCIENCE	1980
		57	Breno Arsioli Moura e Cibelle Celestino Silva	Abordagem multicontextual da história da ciência: uma proposta para o ensino de conteúdos	Revista Brasileira de História da Ciência,

Ensino-aprendizagem de óptica ou outros tópicos de física			históricos na formação de professores		
	61	Alejandro Mayorga	Einstein, De Broglie, Schrodinger (1923-1925) La dualidad onda partícula y el nacimiento de la mecánica ondulatoria	Tecnología en Marcha	
	62	Werner Heisenberg	A doutrina goethiana e newtoniana das cores à luz da física moderna	Scientiæ 'studia São Paulo, v. 13, n. 1, p. 207-21, 2015	2015
	64	Bettina M. Bravo; Marta A. Pesa e Adriana L. Rocha	Implicancias de la enseñanza sobre el saber de los alumnos. El aprendizaje de fenómenos ópticos. Segunda parte.	REIEC	2012
	68	Atchison, D. A., & Charman, W. N.	Thomas Young's contribution to visual optics: The Bakerian lecture "On the mechanism of the eye"	<i>Journal of Vision</i>	2010
	69	Breno Arsioli Moura; e Cibelle Celestino Silva	Voltaire e Algarotti: divulgadores da óptica de Newton na Europa do século XVIII	Scientiae Studia	2015
	74	Ruiz-Mendoza, J. C. e Ramírez-Díaz, M. H.	Vínculo de la teoría con la práctica para la comprensión de la Óptica Geométrica en el Nivel Superior en las escuelas de Ingeniería de la UANL a partir del Modelo por Competencias	<i>Caderno Brasileiro de Ensino de Física CBEF</i>	2015
Propostas didáticas ou produtos educacionais	18	André Luís Miranda de Barcellos Coelho	O projeto "Óptica com Ciência": Da concepção à derradeira avaliação	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	2022
	35	Ainoa Marzábal, Cristian Merino, e Alejandro Rocha,	El obstáculo epistemológico como objeto de reflexión para la activación del cambio didáctico en docentes de ciencias en ejercicio	REIEC	2013
	51	Boniek Venceslau da Cruz Silva André Ferrer Pinto Martins	A natureza da luz e o ensino da óptica: uma experiência didática envolvendo o uso da história e da filosofia da ciência no ensino Médio	Experiências em Ensino de Ciências	2010
	53	Felipe Prado Corrêa Pereira, Ivã Gurgel	A óptica dos corpos em movimento de Fresnel sob a visão do realismo estrutural: ensino de natureza da ciência e as demandas educacionais da contemporaneidade	Revista Brasileira de História da Ciência	2022
	55	Breno Arsioli Moura e Cibelle Celestino Silva	Abordagem multicontextual da história da ciência: uma proposta para o ensino de conteúdos	Revista Brasileira de História da Ciência	2014

Propostas didáticas ou produtos educacionais			históricos na formação de professores		
	57	Nathan Lima, Cláudio Cavalcanti ¹ , Fernanda Ostermann	Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica	Revista Brasileira de Ensino de Física	2021
	58	L.A. Souza ¹ , L. da Silva, J.A.O. Huguenin, W.F. Balthazar	Discutindo a natureza ondulatória da luz e o modelo da óptica geométrica através de uma atividade experimental de baixo custo	Revista Brasileira de Ensino de Física	2015
	59	Nathan Lima, Cláudio Cavalcanti, Fernanda Ostermann	Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica	Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 43,	2021
	63	Virginia R. Gregg, Gerald A. Winer, Jane E. Cottrell, Katherine E. Hedman, And Jody S. Fournier	The persistence of a misconception about vision after educational interventions	Psychonomic Bulletin & Review	2001
	70	Marta Pesa e Silvia Bravo	Formas de Razonamiento asociadas a los sistemas preconceptuales sobre naturaleza y propagación de la luz: resultados de una experiencia piloto	Cad. Cat. Ens. Fis	1995
	71	Marta A. Pesa e Leonor C. de Cudmani	¿Qué ideas tienen los estudiantes respecto a la visión?	Revista Educación y Pedagogía	1998
	73	João Batista Siqueira Harres	Um teste para detectar concepções alternativas sobre Tópicos introdutórios de óptica geométrica	Cad.Cat.Ens.Fis	1993
	78	Silvia Bravo e Marta Pesa	Evaluación del aprendizaje de interferencia y difracción de la luz en el Laboratorio de Física	Investigações em Ensino de Ciências	2016
História da Física para ensino-aprendizagem	1	Fabio W.O. da Silva	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
	6	Ana Carolina Staub de Melo; Luiz. O. Q. Peduzzi ²	Contribuições da epistemologia Bachelardiana no estudo da história da óptica	Ciência & Educação	2007
	9	Patrícia Ferreira de Souza; Paulo Celso Ferrari e José Rildo de Oliveira Queiroz	História Recorrente e o Caráter Provisório da Ciência no Ensino da Natureza da Luz	Acta Scientiae	2018

14	Thirza Pavan Sorpreso; Maria José Pereira Monteiro de Almeida	Discursos de licenciandos em física sobre a questão nuclear no ensino médio: Foco na abordagem histórica	Ciência & Educação, v. 16, n. 1, p. 37-60, 2010	2010
18	Milene Rodrigues; Martins Alessandra; Daniela Buffon	A História da Ciência no currículo de Física do Ensino Médio	ACTIO, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 420-437, jan./jul. 2017.	2017
19	Alessandra Marques Ferreira dos Santos; Márcia Helena Alvim	Estudo sobre a formação das cores na óptica: possibilidades a partir das Fontes Documentais Históricas	Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 39, n. 3, p.798-827, dez. 2022	2022
21	Jose Fernando Pérez Mogollón	Una Visión Histórica de la Óptica (Segunda Entrega)	Revista ciencia y tecnología para la salud visual y ocular	2006
23	Venceslau da Cruz Silva, Boniek	Discutindo Modelos de Visão Utilizando a História da Ciência	Holos, Ano 25, Vol. 3	2009
25	Francisco Caruso, Vitor Oguri	A estranha teoria quântica da luz	Ciencia e Sociedade, CBPF, v.4, n. 2, p. 12-17, 2016	2016
29	Abigail Vital, Andreia Guerra	Textos para ensinar física: princípios historiográficos observados na inserção da história da ciência no ensino	Ciênc. Educ., Bauru, v. 22, n. 2, p. 351-370, 2016	2016
30	Alline de Alencar Macêdo; Francisco Régis Vieira Alves e Maria Cleide da Silva Barroso	Uma análise das categorias da história e filosofia das ciências nos periódicos de ensino de ciências	REnCiMa, São Paulo, v. 11, n. 6, p. 741-760, out./dez. 2020	2020
32	Silvia Bravo e Marta Pesa	El Fenómeno de la Difracción en la Historia de la Óptica y en los Libros de Texto: Reflexiones sobre sus Dificultades de Aprendizaje	Investigações em Ensino de Ciências – V20(2), pp. 76-102, 2015	2015
34	C. Andreou and A. Raftopoulos	Lessons from the History of the Concept of the Ray for Teaching Geometrical Optics	Science & Education	2011
38	Breno Arsioli Moura, Cibelle Celestino Silva	Newton antecipou o conceito de dualidade onda-partícula da luz?	Lat. Am. J. Phy. Educ. Vol. 2, Nº3, Sept 2008	2008
39	Breno Arsioli Moura	Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz	Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 1, p. 111-141, abr. 2016	2016
42	Cibelle Celestino Silva e Breno Arsioli Moura	A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana	Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 1602 (2008)	2008
49	Marcelo Alves Barros; Anna Maria Pessoa de Carvalho	A história da ciência iluminando o ensino de visão	Revista Ciência & Educação, 1998, 5(1), 83–94	1998
50	Oswaldo Pessoa Jr.	Introdução histórica à teoria quântica, aos seus	Caderno de Física da UEFS 04 (01 e 02): 89-114, 2006	2006

			problemas de fundamento e às suas interpretações		
	51	Boniek Venceslau da Cruz Silva André Ferrer Pinto Martins	A natureza da luz e o ensino da óptica: uma experiência didática envolvendo o uso da história e da filosofia da ciência no ensino Médio	Experiências em Ensino de Ciências – V5(2), pp. 71-91, 2010	2010
	55	Breno Arsioli Moura e Cibelle Celestino Silva	Abordagem multicontextual da história da ciência: uma proposta para o ensino de conteúdos históricos na formação de professores	Revista Brasileira de História da Ciência, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 336-348, jul dez 2014	2014
	69	Breno Arsioli Moura; Cibelle Celestino Silva	Voltaire e Algarotti: divulgadores da óptica de Newton na Europa do século XVIII	Scientiae Studia	2015
Epistemologia:					
	11	José Eugênio Brum da Rosa; Elizângela da Silva B. Ramos; e Josefina Diosdada Barrera Kalhil	Referenciais Epistemológicos das Pesquisas sobre Saberes Docentes dos Professores de Física	Revista REAMEC, Cuiabá - MT, v. 7, n. 2, jul/dez 2019, ISSN: 2318-6674	2019
	15	Jenner Barretto Bastos Filho	Os Problemas Epistemológicos da Realidade, da Compreensibilidade e da Causalidade na Teoria Quântica	Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, no. 2, Junho, 2003	2003
	16	Roseny A.M. de Lisbôa, Osvaldo F. Pessoa Jr.	Concepções sobre verdade na ciência: visões filosóficas de professores de física do ensino superior	<i>Revista de Enseñanza de la Física. Vol. 27, No. Extra, Nov. 2015, 45-52</i>	2015
	24	Padrón, J.	Tendencias Epistemológicas de la Investigación Científica en el Siglo XXI	Cinta de Moebio: Revista de Epistemología de Ciencias Sociales	2007
	79	Patrícia Ferreira de Souza; Paulo Celso Ferrari e José Rildo de Oliveira Queiroz	História Recorrente e o Caráter Provisório da Ciência no Ensino da Natureza da Luz	Acta Scientiae, v.20, n.4, jul./ago. 2018	2018
	4	David Velanes; Gabriel Kafure da Rocha	Bachelard e sua interpretação filosófica da Teoria da relatividade	SOFIA, VITÓRIA (ES), V.9, N.1, P. 220-237, JAN./JUL. 2020	2020
	6	Ana Carolina Staub de Melo; Luiz. O. Q. Peduzzi	Contribuições da epistemologia Bachelardiana no estudo da história da óptica	Ciência & Educação, v. 13, n. 1, p. 99-126, 2007	2007
	8	Maria Augusta Raposo de Barros Brito; Isabel Cristina Rodrigues de Lucena; Eduardo Paiva da Ponte Vieira	Avaliação e pressupostos bachelardianos: tecendo relações para a formação docente em Ciências e Matemática	Amazônia Rev. de Educ. em Ciências e Matemáticas v.16, n. 36, 2020. p. 181-189.	2020
Epistemologia da Física					
Epistemologia da Física e Bachelard					

	9	David Velanes	A Filosofia da Mecânica Quântica de Gaston Bachelard	Griot : Revista de Filosofia, Amargosa - BA, v.20, n.3, p.229-242, outubro	2020
	35	Ainoa Marzábal, Cristian Merino, Alejandro Rocha	El obstáculo epistemológico como objeto de reflexión para la activación del cambio didáctico en docentes de ciencias en ejercicio	Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias	2013
	72	Jheniffer Micheline Cortez dos Reisa; Neide Maria Michellan Kiouranisa; Marcelo Pimentel da Silveira	Um Olhar para o Conceito de Átomo: Contribuições da Epistemologia de Bachelard	ALEXANDRIA: R. Educ. Ci. Tec.	2017
e Epistemologia Bachelardiana (Estudos sobre Gaston Bachelard)	7	Koeppe, C. H. B.; Ribeiro, M. E. M.; Calabro, L	Panorama das pesquisas acadêmicas brasileiras sobre o pensamento bachelardiano no ensino em matemática e ciências	ACTIO, Curitiba, v. 5, n. 3, p. 1-24, set./dez. 2020.	2020
	17	Martínez Velasco, J.	Bachelard, Popper y el compromiso Racionalista de la Ciencia	CONVIVIAM, 1992, Núm. 3, p. 75	1992
	33	Alice Ribeiro Casimiro Lopes	Bachelard: O Filósofo da Desilusão	Cad.Cat.Ens.Fis., v.13,n3: p.248-273, dez.1996.	1996
	37	Elyana Barbosa	Gaston Bachelard: “O Novo Espírito Científico”	IDEAÇÃO, Feira de Snatana, n.25(1), p.81-90, jul/dez. 2011	2011
	47	Luis Eduardo Villamil Mendoza	La noción de obstáculo epistemológico en Gastón Bachelard	Espéculo. Revista de estudios literarios. UCM	2008
	60	Ana Goutman Bender	De Bachelard a Canghilhaem a Badiou: Notas de investigación	Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales. Año LVII, núm. 215, mayo-agosto	2012
Filosofia da Física para ensino-aprendizagem	2	Oswaldo Pessoa Jr.	A classificação das diferentes posições em filosofia da ciência.	Revista Eletrônica de Filosofia, São Paulo, Volume 6, Número 1, janeiro - junho, 2009, p. 054-060	2009
	16	Roseny A.M. de Lisboa, Oswaldo F. Pessoa Jr.	Concepções sobre verdade na ciência: visões filosóficas de professores de física do ensino superior	Revista de Enseñanza de la Física. Vol. 27, No. Extra, Nov. 2015, 45-52	2015
	30	Alline de Alencar Macêdo; Francisco Régis Vieira Alves e Maria Cleide da Silva Barroso	Uma análise das categorias da história e filosofia das ciências nos periódicos de ensino de ciências	REnCiMa, São Paulo, v. 11, n. 6, p. 741-760, out./dez. 2020	2020
	51	Boniek Venceslau da Cruz Silva André Ferrer Pinto Martins	A natureza da luz e o ensino da óptica: uma experiência didática envolvendo o uso da história e da filosofia da ciência no ensino Médio	Experiências em Ensino de Ciências – V5(2), pp. 71-91, 2010	2010

Livros Didáticos e Física	1	Fabio W.O. da Silva	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)	2007
	3	Norah Giacosa, Ramiro Galeano, Claudia Zang, Jorge, Maidana, y Alejandro Such	Experimento de la doble rendija de Young: análisis de libros de texto universitarios	Revista de Enseñanza de la Física. Vol. 31, No. Extra, Nov. 2019, 349-357	2019
	29	Abigail Vital, Andreia Guerra	Textos para ensinar física: princípios historiográficos observados na inserção da história da ciência no ensino	Ciênc. Educ., Bauru, v. 22, n. 2, p. 351-370, 2016	2016
	32	Silvia Bravo e Marta Pesa	El Fenómeno de la Difracción en la Historia de la Óptica y en los Libros de Texto Reflexiones sobre sus Dificultades de Aprendizaje	Investigações em Ensino de Ciências – V20(2), pp. 76-102, 2015	2015
	67	Ana Paula Butzen Hendges, Rosemar Ayres dos Santos	Obstáculos epistemológicos em livros didáticos de Física: o gênero na Ciência-Tecnologia	Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 39, n. 2, 584 p. 584-611, ago. 2022	2022
	69	Breno Arsioli Moura; Cibelle Celestino Silva	Voltaire e Algarotti: divulgadores da óptica de Newton na Europa do século XVIII	scientiæ studia São Paulo, v. 13, n. 2, p. 397-423, 2015	2015
	76	Marília Campolino Peterle Farias; Samuel Costa e Lucas Telichevesky	A evolução do conteúdo de óptica nos livros didáticos de ciências nas perspectivas do programa nacional do livro didático (PNLD)	Revista Ciências & Ideias, ISSN: 2176-1477 p. 118-135	2017
Formação de Professores de Física	8	Maria Augusta Raposo de Barros Brito; Isabel Cristina Rodrigues de Lucena, Eduardo Paiva da Ponte Vieira	Avaliação e pressupostos bachelardianos: tecendo relações para a formação docente em Ciências e Matemática	Amazônia Rev. de Educ. em Ciências e Matemáticas v.16, n. 36, 2020. p. 181-189. ISSN: 2317-5125	2020
	11	José Eugênio Brum da Rosa, Elizângela da Silva B Ramos; Josefina Diosdada Barrera Kalhil	Referenciais Epistemológicos das Pesquisas sobre Saberes Docentes dos Professores de Física	Revista REAMEC, Cuiabá - MT, v. 7, n. 2, jul/dez 2019, ISSN: 2318-6674	2019
	13	Neusa Teresinha Massoni, Marco Antônio Moreira	Uma análise cruzada de três estudos de caso com professores de física: a influência de concepções sobre a natureza da ciência nas práticas didáticas	Ciênc. Educ., Bauru, v. 20, n. 3, p. 595-616, 2014	2014
	14	Thirza Pavan Sorpreso, Maria José Pereira Monteiro de Almeida.	Discursos de licenciandos em física sobre a questão nuclear no ensino médio: Foco na abordagem histórica*	Ciência & Educação, v. 16, n. 1, p. 37-60, 2010	2010

16	Roseny A.M. de Lisbôa, Osvaldo F. Pessoa Jr.	Concepções sobre verdade na ciência: visões filosóficas de professores de física do ensino superior	Revista de Enseñanza de la Física. Vol. 27, No. Extra, Nov. 2015, 45-52	2015
27	Jesuína Lopes de Almeida Pacca e Alberto Villani	A formação continuada do professor de Física	ESTUDOS AVANÇADOS 32 (94), 2018	2018
28	Cintia Aparecida Bento dos Santos; Edda Curi	A Formação dos Professores que Ensinam Física no Ensino Médio	Ciência & Educação, v. 18, n. 4, p. 837-849, 2012	2012
31	Marcelo Zanotello e Leiana Camargo	Uma Análise da Constituição de Saberes Relativos ao Ensino de Física Quântica em um Curso de Licenciatura	Ciência & Educação, Bauru, v. 26, e20006, 2020	2020
35	Ainoa Marzábal, Cristian Merino, Alejandro Rocha.	El obstáculo epistemológico como objeto de reflexión para la activación del cambio didáctico en docentes de ciencias en ejercicio	Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias	2013
55	Breno Arsioli Moura e Cibelle Celestino Silva	Abordagem multicontextual da história da ciência: uma proposta para o ensino de conteúdos históricos na formação de professores	Revista Brasileira de História da Ciência, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 336-348, jul dez 2014	2014
56	Sandro Rogério Vargas Ustra e Emerson Luiz Gelamo	O professor e o seu conhecimento prático profissional em um programa brasileiro de iniciação à docência em Física	Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 15, Nº 3, 501-515 (2016)	2016
66	Boniek Venceslau da Cruz Silva André Ferrer P. Martins	O conhecimento pedagógico do conteúdo referente ao tema Natureza da Ciência na formação inicial de professores de Física	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	2019

Fonte: Autoria Própria

Como podemos deduzir desta análise, todos os conceitos bachelardianos são trabalhados em maior ou menor medida ao longo da pesquisa em ensino de ciências, física, óptica e/ou física moderna e contemporânea, também a maioria de suas obras são citadas nos trabalhos, porém, o texto mais citado é a formação do espírito científico o que pode sugerir que não todo o pensamento de Bachelard é analisado e aproveitado nas pesquisas. Os trabalhos que abordam a física moderna e contemporânea não fazem ênfase num tema particular e a maioria destas pesquisas centram seu contexto no ensino médio e como apresentação das ideias da mecânica quântica e sua inserção no ensino médio.

Os temas de óptica mais pesquisados, continuam sendo os temas referidos à óptica geométrica, e construção de imagens, a nível internacional, se pode evidenciar que na Argentina as pesquisas em óptica tentam estar mais voltadas à óptica física e ao estudo do conceito de

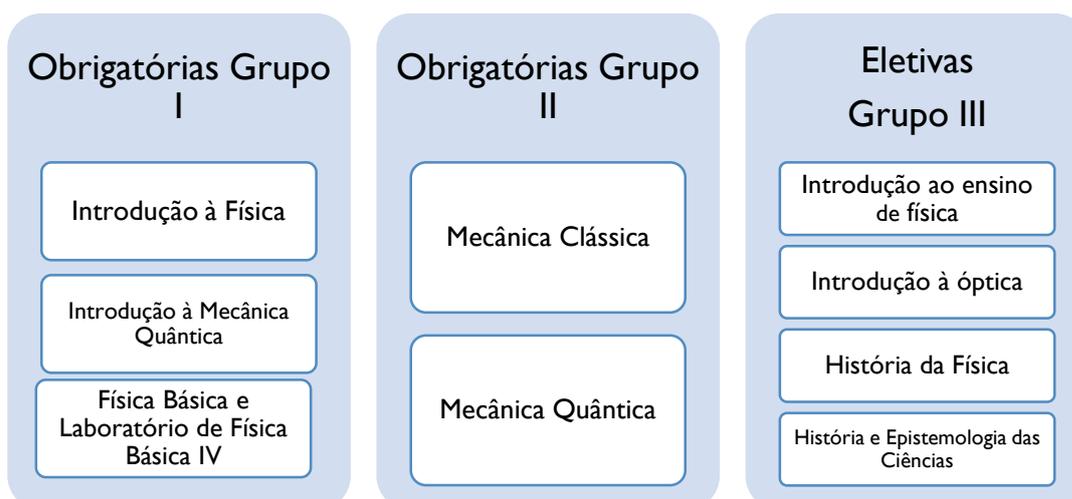
difração e o experimento da dupla fenda ocupa um lugar sobressaliente mas sendo tratados separadamente da física moderna e contemporânea, a óptica ainda é vista como rama da física que estuda a luz e a visão desde o ponto de vista da mecânica clássica.

Também destas pesquisas se pode declarar que os temas relacionados com a visão constituem um obstáculo para a compreensão e estudo de outros conteúdos da óptica física e o modelo geométrico prevalece ainda depois das intervenções educativas.

6.2. ABORDAGEM DA ÓPTICA NO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

A seguir apresentamos a análise da formação proporcionada pelo curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Uberlândia. As fontes de dados foram o Projeto Pedagógico do Curso, sua estrutura curricular e as ementas das disciplinas relacionadas a óptica, os livros didáticos indicados nos programas das disciplinas, e os planos de ensino das disciplinas quando disponíveis para a sua revisão. Na Figura N°9 foram apresentadas as disciplinas contempladas no referido estudo e considerados os planos de ensino disponíveis até 31 de maio de 2021 no sítio web do curso¹⁶

Figura 9. Disciplinas Analisadas na Pesquisa



Fonte: Autoria Própria

¹⁶ <http://www.infis.ufu.br/graduacao/fisica-licenciatura/fichas-de-disciplinas#tab-0-1>

As informações foram coletadas para atender aos seguintes objetivos específicos com a finalidade de responder nosso problema de pesquisa: Identificar se existem elementos da história da óptica e sua relação com a física moderna no Projeto Pedagógico do Curso, nos programas das disciplinas e nos planos de aula; determinar se a forma de apresentação dos conteúdos nos programas, planos de aula e livros didáticos referentes aos conteúdos de óptica e de física moderna evidencia a presença de elementos históricos que contribuem para a construção do conhecimento científico para validar e/ou retificar teorias; e caracterizar como os livros de física recomendados, os planos de aula e os programas de disciplina estão articulados entre si.

Para responder aos objetivos propostos, elaboramos um quadro de categorias, tendo em conta a classificação apresentada por Tardif e Gauthier, escolhendo para este trabalho apenas duas categorias, a saber: saberes disciplinares e saberes curriculares. Estas categorias estão apresentadas no Quadro 8. Essa escolha é justificada no fato mencionado anteriormente, que os saberes experienciais são aqueles que os professores adquirem, utilizam e transformam ao longo de sua prática profissional, em função das situações e dos desafios que enfrentam no cotidiano da sala de aula.

Eles são saberes pessoais, singulares e contextualizados, que refletem as vivências, as escolhas, as crenças e os valores dos professores. Eles também são saberes coletivos, compartilhados e legitimados por meio da socialização profissional com os colegas, os alunos, os pais e a comunidade escolar. Os saberes experienciais são considerados pelos professores como os mais importantes e úteis para o exercício da docência, pois permitem adaptar-se às diversas situações de ensino e aprendizagem, resolver problemas, tomar decisões e inovar (TARDIF; LESSARD; LAHAYE, 1991).

Neste trabalho, não desenvolvemos os saberes experienciais dos professores, pois eles são dependentes da individualidade de cada um e das especificidades do contexto em que atuam. Não há como generalizar ou sistematizar esses saberes, pois eles são construídos e reconstruídos continuamente na interação entre os sujeitos e o meio. Além disso, os saberes experienciais não são suficientes para garantir uma prática docente de qualidade, pois eles podem ser limitados, contraditórios ou inadequados. Por isso, é necessário que os professores articulem os saberes experienciais com os outros tipos de saberes docentes, como os saberes disciplinares e os saberes curriculares, buscando uma formação contínua e reflexiva

Quadro 8. Categorias de análise

Saberes	Código	Categoria	Definição
Saberes disciplinares	D.01	Conteúdo fundamental da disciplina	São destacados elementos importantes para o desenvolvimento de conteúdos associados à óptica e sua evolução histórica
	D.02	Conteúdo abstrato e complexo	Os conteúdos são expostos de forma a evidenciar os elementos simples e complexos dos modelos apresentados
	D.03	Relação entre conteúdos	São contempladas evidências de uma relação entre os diferentes conteúdos apresentados
	D.04	Presença de experimentos	São descritas atividades experimentais que permitem estudar os conteúdos onde se demonstram as retificações a que foi submetida a construção dos conceitos
	D.05	Estudo de fontes primárias	É proposto o estudo de fontes primárias de informação e as formulações do ponto de vista do estudo do fenômeno-conceito-magnitude física
	D.06	Adequação de textos	Os livros didáticos utilizados são adequados para atingir os objetivos propostos e evidenciar o surgimento de teorias científicas, ao mesmo tempo em que mostra a física como uma ciência que ainda precisa responder a muitas questões (ciência inacabada)
	D.07	Articulação	É verificada a concordância entre os programas da disciplina, planejamento de aula e os livros didáticos sugeridos para o estudo dos conteúdos referentes à óptica e à física moderna e contemporânea
Saberes curriculares	C.01	Conteúdo específico	O conteúdo óptico está presente e as relações com o conteúdo da física moderna e contemporânea são evidenciadas. O conteúdo matemático para a física é desenvolvido, explicando diferentes modelos
	C.02	Estratégias de ensino	São descritas algumas estratégias de ensino-aprendizagem específicas para conteúdos de óptica
	C.03	Abordagens para o ensino	São evidenciados os papéis do professor e do aluno (passivo/ativo) no desenvolvimento das atividades
	C.04	História da ciência	Expressam-se elementos característicos da história e evolução dos conceitos da física (óptica e física moderna), bem como as possíveis retificações do conhecimento
	C.05	Obstáculos /concepções	É reconhecida a presença de obstáculos e concepções alternativas na construção do conhecimento científico e sua possível superação
	C.06	Formalismo matemático versus ensino qualitativo conceitual	São destacados: desenvolvimento conceitual do assunto; desenvolvimento baseado em teoremas matemáticos, antecedendo a resolução de problemas de cálculo; combinação conceitual com formalismo matemático adequado é evidenciada, comprovando os modelos matemáticos utilizados

Fonte: Autoria Própria

A análise do Projeto Pedagógico do Curso de Licenciatura em Física permitiu observar como as categorias definidas na pesquisa se relacionam e sua importância na formulação do currículo. Especificamente, no que se refere às categorias D.02 e C.06, evidencia-se a motivação e a importância associada a elas no referido projeto, indicando a necessidade de uma reestruturação curricular que permita aos alunos ampliarem sua visão sobre a física, ao mesmo tempo em que reflete os estilos de ensino definidos pela categoria C.02. Portanto, nesse contexto, pode-se ler:

As disciplinas foram reformuladas para que haja uma coesão entre teoria e prática, entre física e matemática, e entre ensino e pesquisa. A matemática básica, indispensável para o acompanhamento das disciplinas específicas de física, foi contextualizada em problemas físicos fundamentais e associados ao cotidiano (UFU, 2018, p. 11).

Um aspecto que chama a atenção para essas categorias e que também está relacionado com C.01 é que algumas disciplinas que consideramos de fundamental importância para o desenvolvimento da óptica e da física moderna foram deixadas como opcionais ou são apresentadas no primeiro semestre apenas com uma abordagem conceitual, o que não garante que sejam aproveitadas pelos alunos, e que os levaria a não contemplar esses conteúdos em suas práticas profissionais ou a apresentar sérias dificuldades de aprendizagem ao cursarem disciplinas de física avançada.

E como foi mencionado na seção “o projeto de licenciatura de física do INFIS”, a disciplina de álgebra linear foi deixada neste currículo como disciplina optativa, eliminando a obrigatoriedade de estudar conceitos importantes da mesma para o desenvolvimento da óptica e da física moderna e contemporânea.

Desde a criação dos cursos de física, a óptica tem sido considerada um importante tema a ser desenvolvido no Ensino Médio, conforme apontam as pesquisas de Pacca e Villani (2018):

Em São Paulo, um outro grupo de professores da América Latina foi subvencionado pela Unesco, entre 1963 e 1964, para produzir texto e material experimental, no então Departamento de Física da USP: o PROJETO PILOTO para o ensino programado de Óptica no Ensino Médio. Esse projeto desenvolvendo o conteúdo de Física construído passo a passo, com as respostas aos problemas acessíveis no final do livro, praticamente dispensava o professor, reservando-lhe o papel de organizador da classe e da atividade dos alunos (PACCA; VILLANI, 2018, p. 59).

Do exposto emergem ideias importantes, ao agrupar várias categorias descritas no Quadro 8, dá-se a ideia de porque a organização tanto dos programas das disciplinas, dos livros didáticos e dos estilos de ensino, preservam todos uma tradição norte-americana pela forma de apresentação dos conteúdos, algumas estratégias de ensino-aprendizagem e até mesmo os dados e acontecimentos históricos a serem trabalhados em sala de aula, a relação ou semelhança entre a organização dos conteúdos nos programas das disciplinas, os planos de aula e tabela dos conteúdos dos livros didáticos no ensino superior, atendem a essa prática.

Também se pode constatar que os livros utilizados em geral são aqueles referentes à física para ciências e engenharias, que geralmente trazem poucos elementos didáticos ou de história e construção do conhecimento científico, a forma de apresentação dos conteúdos costuma ser exposta da forma como são estudados e compreendidos atualmente, combinando ideias e conceitos que surgiram após a criação de teorias, sem explicitar como os conceitos da física clássica se relacionam com a física moderna e contemporânea, e que abordam os fatos históricos como um apêndice ou uma chamada para a motivação do conteúdo, mas não como uma ferramenta que permite a identificação das rupturas epistemológicas na história da ciência ou mesmo os obstáculos epistemológicos que têm enfrentado os cientistas na construção de esse conhecimento abordado.

A óptica é um ramo da física com uma história rica e, pode-se dizer, antiga, principalmente devido à sua relação com a visão, porém, muitas vezes essa história não é abordada adequadamente, e os professores não aproveitam o fato que a mesma fornece um contexto cultural e científico que ajuda aos estudantes a apreciar o impacto dessa área no desenvolvimento da ciência e da sociedade; além disso, o aprimoramento dos dispositivos ópticos e a criação de novos dispositivos são frequentemente apresentados como avanços tecnológicos isolados, sem uma conexão clara com os conceitos físicos subjacentes.

Como exposto em outras partes do texto, há várias disciplinas do currículo de licenciatura em física, que abordam diversos tópicos de óptica em suas ementas, porém, segundo os entrevistados os temas de óptica só foram estudados na disciplina Física IV, com abordagem teórico-conceitual e Laboratório de Física IV o desenvolvimento de experimentos. Deste estudo também se pode extrair o enfoque destes conteúdos pelos professores e alunos, pois das ementas examinadas, ao menos quatro privilegiam ou sugerem como texto principal da disciplina o livro Física Conceitual de Paul Hewitt; que como expressado na formulação do

curso de licenciatura favorece um desenvolvimento conceitual mais perto da “realidade” ou cotidiano do estudante, mais com uma apresentação sem descrições matemáticas que auxiliam no entendimento da física contemporânea.

Abordada desta forma, se corre o risco de apresentar a óptica desde uma perspectiva centrada em ideias empíricas, favorecendo o surgimento de obstáculos epistemológicos como por exemplo, associado à experiência básica, que as vezes não permite conciliar com uma compreensão profunda do fenômeno estudado, sendo importante evitar a apresentação de conteúdos que busquem apenas satisfazer a curiosidade, impedindo o desenvolvimento da cultura científica em vez de favorecê-la.

Nessa ordem de ideias, considerando o perfil de egresso dos discentes definido no projeto da licenciatura do Instituto de Física da Universidade Federal de Uberlândia, onde o conhecimento específico de física e a capacidade de lidar com problemas atuais de física e na sala de aula no ensino médio são valorizados, é preciso que, em sua formação os futuros professores adquiram conhecimentos sólidos sobre os princípios ópticos e os avanços científicos nesse campo do saber, a fim de comunicar uma compreensão abrangente e atualizada aos alunos.

Sendo assim, as noções da epistemologia bachelardiana tornam-se relevantes, pois enfatizam a importância da superação de obstáculos epistemológicos e a valorização da reflexão crítica no processo de aprendizagem. Os professores devem estar cientes dos obstáculos comuns encontrados pelos alunos ao aprender óptica e física moderna e contemporânea, e ser capazes de abordá-los de maneira eficaz, sendo que “a proposta de Bachelard é fazer da formação um processo contínuo através de um esforço da transformação de si. A atitude científica deve ser essencialmente concebida como uma pedagogia científica”. (KUIAVA; RÉGNIER, 2012, p.4)

Além disso, a matematização desempenha um papel importante nos processos educativos em física, pois a compreensão dos conceitos ópticos muitas vezes requer uma base sólida em matemática, uma vez que as leis e princípios são expressos por meio de equações e fórmulas, exigindo de os professores desenvolver estratégias para ensinar a aplicação prática da matemática na compreensão desses conceitos e na racionalização das ideias, tornando-os mais acessíveis e significativos para os alunos.

Outro aspecto que pode ser observado na descrição do curso e na análise das ementas é a proposição de um desenvolvimento conceitual e a valorização da história e

evolução das ideias da física na formação de professores. Nos Quadros 2, 3 e 4 que apresentam as disciplinas obrigatórias e eletivas do programa de licenciatura em física da UFU, é possível notar que, apesar da declaração de valorização da didática da física e inclusão da história no ensino, as três disciplinas relacionadas a esses conteúdos aparecem apenas como eletivas no Quadro 3, enquanto a disciplina de didática geral é obrigatória, Quadro 1.

Na ementa da disciplina didática o programa propõe o desenvolvimento de tópicos associados as teorias pedagógicas a educação em didática e a organização do trabalho no processo de planejamento e avaliação, já em as disciplinas de evolução de ideias da física, a temática é: Evolução da física e seus conceitos ao longo da história; Introdução à filosofia e à epistemologia das ciências naturais e o processo da construção do conhecimento científico na história, o método científico, mitos e gênios da ciência, metafísica e na disciplina história e epistemologia da física no apartado 2.5 do referido programa da disciplina, propõem o estudo de aproximações e relações entre teorias (clássica x quântica, ótica[*sic*] geométrica x física, mecânica newtoniana x relatividade, gravitação clássica x relatividade geral, termodinâmica x estatística), entre outros temas como o empirismo e algumas outras filosofias como a de Popper e Kuhn.

O texto base destas disciplinas é a pedagogia do oprimido de Paulo Freire, em relação às metodologias de ensino de ciências, há uma conexão entre as ideias de Freire e abordagens mais participativas e emancipatórias. Freire defende a importância de uma educação libertadora, na qual os estudantes sejam sujeitos ativos na construção do conhecimento e na transformação de sua realidade. Essa abordagem é relevante no contexto das ciências, pois incentiva a reflexão crítica, o questionamento, a experimentação e a busca por soluções para problemas reais.

Metodologias como a aprendizagem baseada em problemas, a investigação científica e o ensino contextualizado encontram afinidades com as propostas de Freire e são propostas na disciplina de metodologia de ensino de física, junto com as abordagens de aprendizagem significativa de Ausubel, sala de aula invertida e ensino por projetos e investigação. Esses enfoques valorizam a participação dos estudantes, estimulam o pensamento crítico, promovem a autonomia e relacionam os conteúdos científicos com a realidade dos alunos. Porém, é importante ressaltar que, nas formulações do projeto e nas ementas analisadas, não se observa uma incorporação explícita da epistemologia de Bachelard, que como temos fundamentado, enfatiza na superação de obstáculos epistemológicos e a reconstrução do conhecimento científico

6.3. O TRABALHO DE CAMPO: QUESTIONÁRIOS E ENTREVISTAS

Nesta seção apresentamos os resultados obtidos a partir da síntese e organização da informação, utilizando as categorias estabelecidas na metodologia e seguindo a abordagem de análise de conteúdo, buscamos destacar os dados mais importantes para a pesquisa, comparando as informações coletadas por meio das entrevistas e questionários em conjunção com a revisão teórica, documental e produção acadêmica na área objeto de estudo, essa triangulação dos dados entre a análises da abordagem da óptica no curso de licenciatura de física, a revisão documental e a entrevista e questionário com os participantes do estudo permitiu uma compreensão mais abrangente.

Como mencionado anteriormente, o Quadro 8, apresenta as categorias utilizadas na análise, onde foram selecionados os saberes disciplinares e curriculares, e, ao considerar detalhadamente as definições das categorias, constatamos que elas incluem as categorias definidas no levantamento bibliográfico.

Esta análise teve como propósito caracterizar as contribuições da óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea, a partir da abordagem epistemológica de Bachelard na formação de professores de física da Universidade Federal de Uberlândia. Nesse sentido se elaborou um questionário com 10 perguntas abertas (Apêndice A), aplicado através da plataforma Formulário de Google (Google Forms) e respondido por 6 alunos e 3 professores sujeitos da pesquisa. Pela natureza das perguntas o mesmo tenta mais que avaliar conteúdos sobre temas específicos de uma disciplina, conhecer como os estudantes percebem o processo de ensino aprendizagem dentro de sua formação docente em determinadas disciplinas.

Os dados deste questionário foram analisados no programa Atlas Ti. Versão 9 para Windows e o programa de processamento de dados Microsoft Excel. Como complemento também foi desenvolvida uma entrevista com os participantes com a finalidade de aprofundar as respostas e ter maior aproximação e talvez fazer novas descobertas através da conversa.

No referente às características da população, são estudantes da Licenciatura de Física, que efetivamente cursaram a disciplina física IV, correspondente à óptica e concordaram em participar na pesquisa de forma voluntária. Da mesma forma, os professores pertencem ao grupo de professores do Instituto de Física da Universidade Federal de Uberlândia, que decidiram participar da pesquisa de forma espontânea, que efetivamente tem ministrado a

disciplina de Física IV ao menos uma vez nos últimos cinco anos, e considerando assim o critério de saturação teórica definida por Strauss e Corbin, (2008).

Dos participantes alunos, sabe-se que ingressaram à licenciatura a partir do ano 2015(1), 2017(1), 2018(1) e 2019(2); outro participante ingresso ao curso, esteve ausente por mais de uma década e agora voltou a terminar a licenciatura, afirmando ter ingressado no ano 2000. Todos os participantes declararam ter cursado a disciplina de óptica e estudado os temas de óptica geométrica e física. Um fato que pode resultar interessante na análise é que dois dos participantes já exercem a educação (lecionam ou lecionaram como professores de física) oferecendo uma outra visão de sua formação profissional.

6.4 SABERES DISCIPLINARES; CURRICULARES E FORMAÇÃO DE PROFESSORES

Estudando as respostas dos participantes, é possível observar que eles se referem aos conteúdos de óptica trabalhados fazendo a subdivisão tradicional de óptica geométrica e física ou ondulatória. Alguns dos estudantes fazem menção aos conceitos principais estudados na óptica física: difração e interferência e em todos os casos assinalam o estudo da formação de imagens e óptica geométrica. Concordando com o declarado pelos professores, no questionário os alunos manifestam ter trabalhado tudo o conteúdo da ementa da disciplina, já nas entrevistas, três participantes declaram ter acelerado o ritmo na parte da óptica física por questões de tempo.

Outro aspecto conexo com saberes próprios da disciplina e que guardam estreita relação com as categorias dos saberes disciplinares e curriculares (D.04; D.05; C.02 e C.04) do Quadro 8, é o desenvolvimento ou não de atividades experimentais e de história da ciência. Nas declarações dos participantes, se pode evidenciar um papel professor-aluno ativo-passivo, pois eles asseguram que o desenvolvimento da disciplina foi por ensino tradicional, ainda que usando estratégias tecnológicas foi limitado a apresentação de slides.

A figura 10 mostra as declarações dos estudantes sobre a realização de atividades experimentais, no caso do estudante ET1, ele declara não ter feito experimentos por ter cursado a disciplina no período emergencial causado pela pandemia COVID-2019, também o estudante ET4 explica que o professor ainda por vídeo aulas, apresentou o fenômeno da difração por um fio de cabelo, fazendo uma demonstração experimental. Neste aspecto se evidencia que os

professores apresentaram no desenvolvimento de suas aulas, atividades demonstrativas dos fenômenos ópticos tanto nos casos de ensino remoto como presencial, pois segundo declarações de ET3 o professor desenvolveu uma demonstração e no laboratório fizeram as atividades relacionadas com espelhos, difração, e dupla fenda.

Para Bachelard (1965) a integração da teoria e da prática, assim como dos enfoques empíricos e racionais, no processo de conhecimento científico, auxiliam nessa compreensão dos fenômenos em todas suas vertentes, tanto no aspecto fenomenológico quanto à realidade subjacente e não observável que fundamenta esse fenômeno, sublinhando a estreita relação entre a experimentação e as teorias científicas.

Lembrando que o currículo da licenciatura contempla tanto a disciplina de física IV: óptica quanto o laboratório de física básica IV, e como declaram os professores, a disciplina tem a parte teórica estudada em Física IV e parte experimental em Laboratório de Física IV, questão que os participantes aproveitam para justificar o desenvolvimento ou não de atividades experimentais e demonstrativas na disciplina.

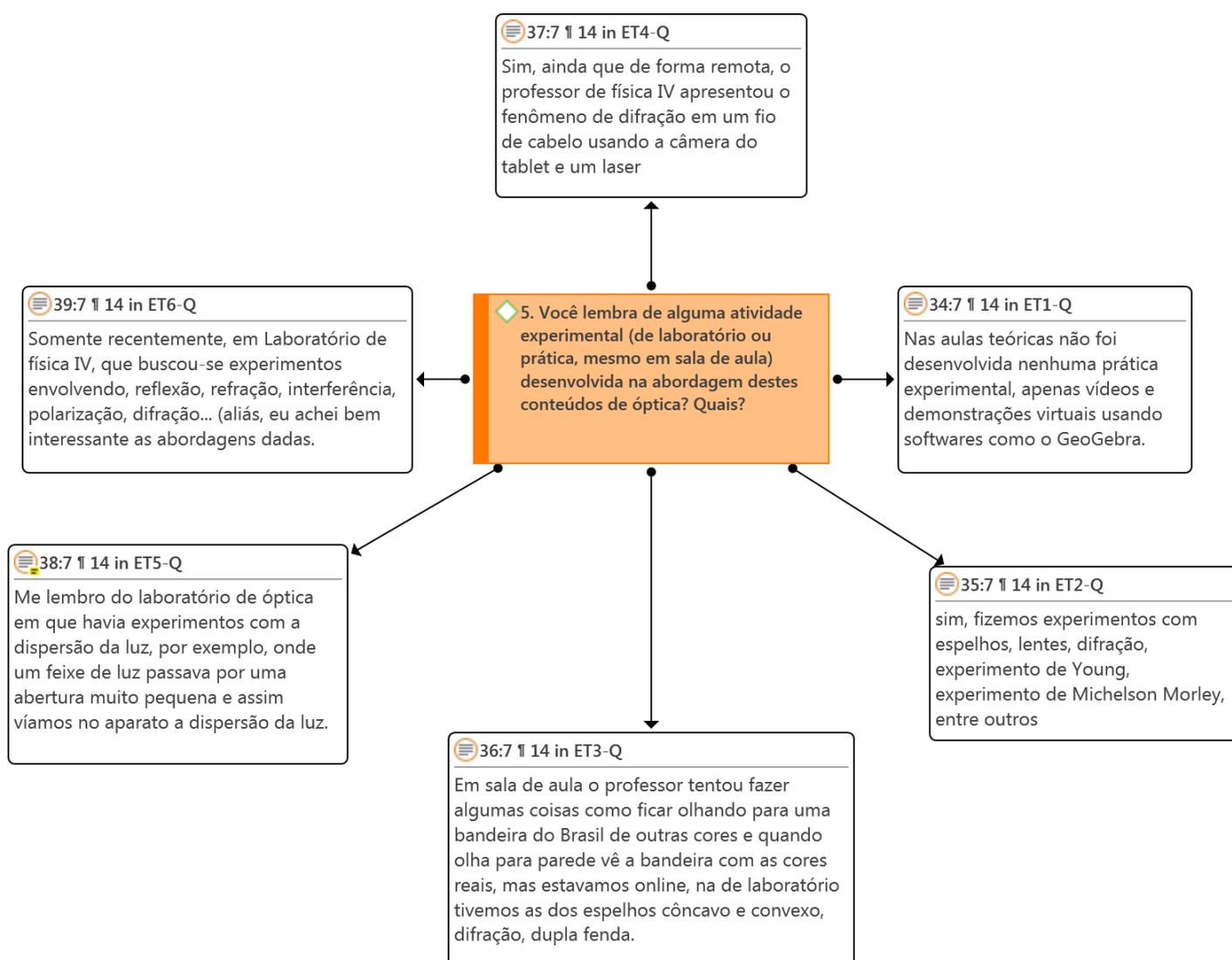
Ainda da figura N°10, nos três retângulos da parte inferior podemos observar os conteúdos que receberam algum tratamento “especial” no desenvolvimento da disciplina, formação de imagens e tópicos geralmente estudados em óptica geométrica: reflexão-refração; difração. As respostas de ET2 e ET5, apresentam outros conceitos da óptica e temas como experimento de Michelson – Morley, experimento de Young e polarização, sendo as respostas dos estudantes que já tem trabalhado a disciplina em ensino médio, quer dizer já acumulam alguma experiência docente e consideramos tem maior ‘maturidade acadêmica’.

Semelhantemente, da figura 10, a participante ET5-Q evoca a realização de experimentos referentes à dispersão da luz, ela diz que *no experimento de uma abertura observou uma dispersão da luz*. A dispersão de um feixe de luz deve ser compreendida do ponto de vista da óptica geométrica como um desvio na direção do feixe, ou seja, se os raios viajam em linha reta, sofrerão um desvio em sua trajetória. No entanto, deve-se entender que a luz, se não for monocromática, pode ter diferentes comprimentos de onda em um mesmo feixe, como a luz branca, que se dispersa em diferentes ângulos para cada uma de suas cores ou comprimentos de onda. Agora, se tivermos o experimento de uma única abertura e ela estiver na ordem do comprimento de onda da luz, ocorrerá o fenômeno da difração.

E no caso da dupla fenda, observamos um padrão de interferência em uma tela próxima às aberturas. Esse padrão ocorre devido à sobreposição ou combinação das cristas das

ondas (construtiva, resultando em linhas mais claras no padrão) ou da combinação de cristas e vales (destrutiva, resultando em linhas mais escuras). Assim, em um mesmo experimento, é possível observar esses três fenômenos, mas é preciso ter cuidado ao interpretá-los.

Figura 10. Rede experimentos desenvolvidos na disciplina, questionário alunos

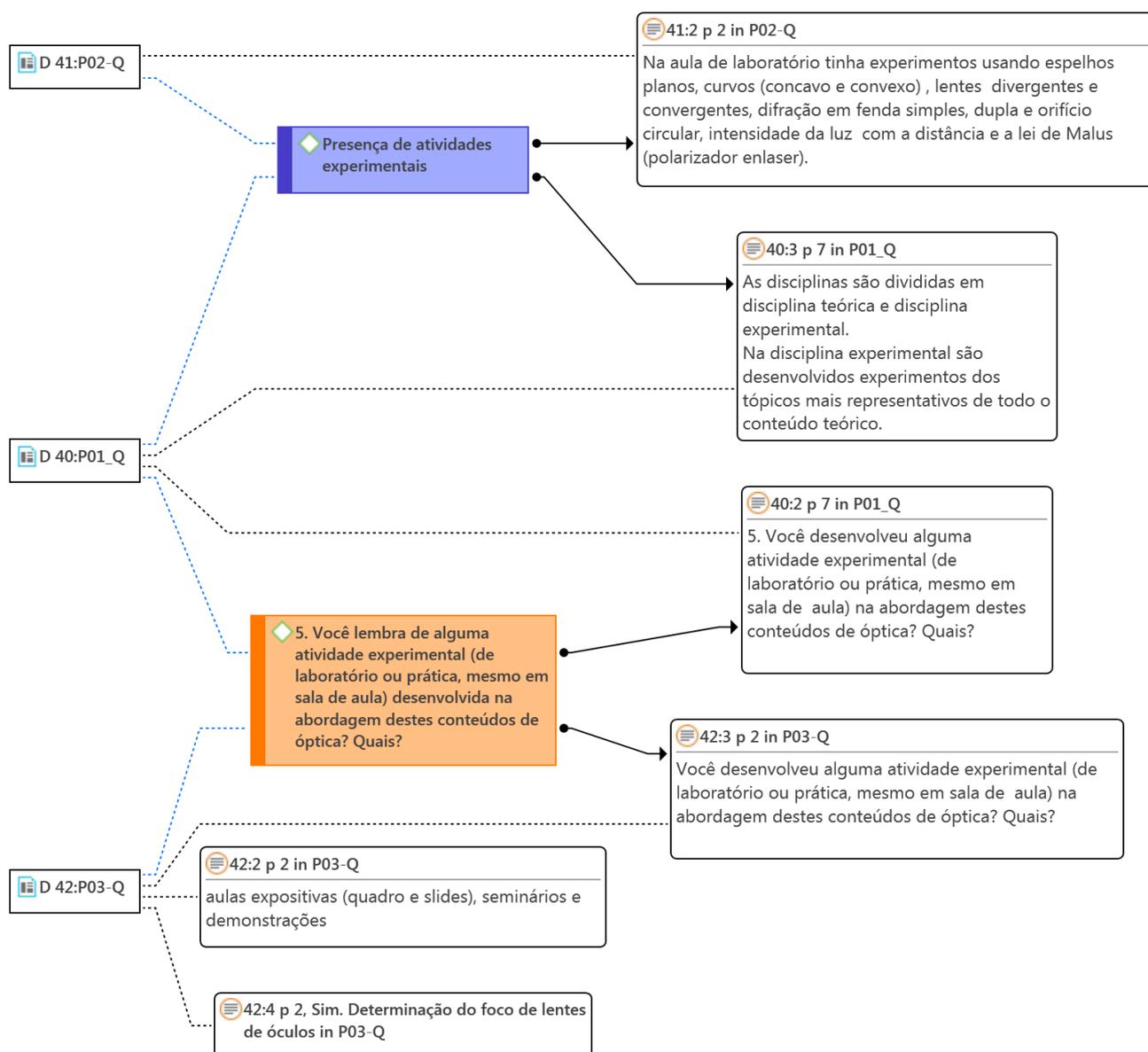


Fonte: Elaboração própria. (Aqui, “Q” refere-se à questionário para diferenciar da entrevista)

Os professores assumem o desenvolvimento teórico do curso com a apresentação de algum elemento demonstrativo (figura 11), destacando ou priorizando conteúdos mais abordados relativos à óptica geométrica, experiências de focos e lentes, e em alguns casos o

conceito de difração. Estes resultados concordam com os dados da análise documental onde se situa a óptica geométrica com a formação de imagens como os temas mais pesquisados e estudados ainda em ambiente de ensino formal e formação de professores que terão que apresentar estes conteúdos para seus estudantes.

Figura 11. Rede estratégias e atividades experimentais desenvolvidos na disciplina, professores



Fonte: Autoria própria

No entanto, é importante observar que tópicos da óptica física, como a óptica ondulatória, são igualmente cruciais no cenário atual da física. Esses tópicos estão alinhados com a evolução do conhecimento científico e, portanto, também merecem destaque no ensino de física. A abordagem da óptica deve considerar tanto os princípios fundamentais da óptica geométrica quanto os conceitos mais atuais da óptica física, garantindo que os estudantes adquiram uma compreensão abrangente e atualizada da disciplina.

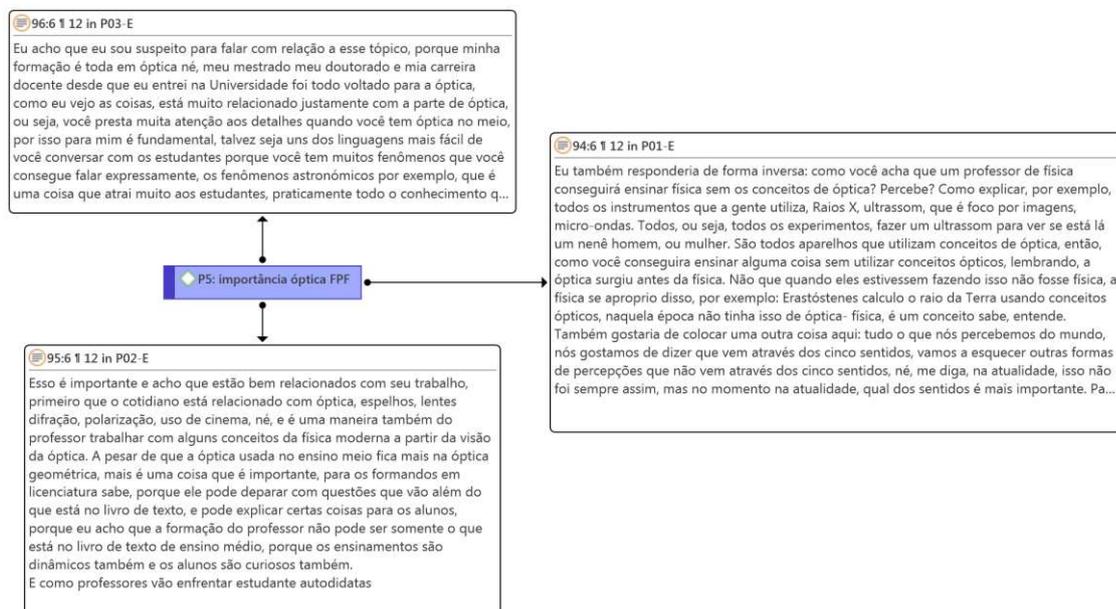
Além disso, esse enfoque no ensino da óptica geométrica é um reflexo das tendências identificadas nas teorias bachelardianas, que ressaltam a importância de compreender a evolução do conhecimento científico e a recorrência histórica das concepções e noções. Essa escolha de focar na óptica geométrica em detrimento da óptica física também pode ser influenciada pelos saberes docentes, que desempenham um papel fundamental na maneira como os professores planejam e ministram suas aulas.

Como podemos evidenciar na figura 11, os professores de física novamente se aproximam as respostas dos alunos, ficando evidente a predominância por realização de atividades experimentais mais associadas à óptica geométrica. Todos os professores participantes desta pesquisa, tem trabalhado a disciplina de física IV, porém, o participante P03 afirma ter trabalhado por muito tempo com a óptica, então é de esperar que ele possa assinalar conteúdos além da óptica geométrica, mais todos os professores entrevistados realçam experiências tanto de óptica geométrica quanto física.

Na entrevista, o professor P03 demonstrou um profundo conhecimento em temas menos tradicionais da óptica (física IV), o que evidencia seu sólido saber docente disciplinar. Além disso, ele ressaltou a importância de incluir esses conteúdos nos processos formativos dos discentes da licenciatura (figura 12).

Essa abordagem vai ao encontro do saber docente curricular, pois destaca a relevância de preparar futuros professores para abordar tópicos menos convencionais, ampliando assim a variedade de conteúdos que poderão ser ensinados na educação média. Além disso, o professor P03 enfatizou a importância de motivar os estudantes para o ensino desses conteúdos no futuro, o que se relaciona com o saber docente experiencial, pois ele reconhece a importância da motivação e da experiência prática na formação de professores.

Figura 12- Importância da óptica na formação do professor de física (professores)



Fonte: Elaboração própria

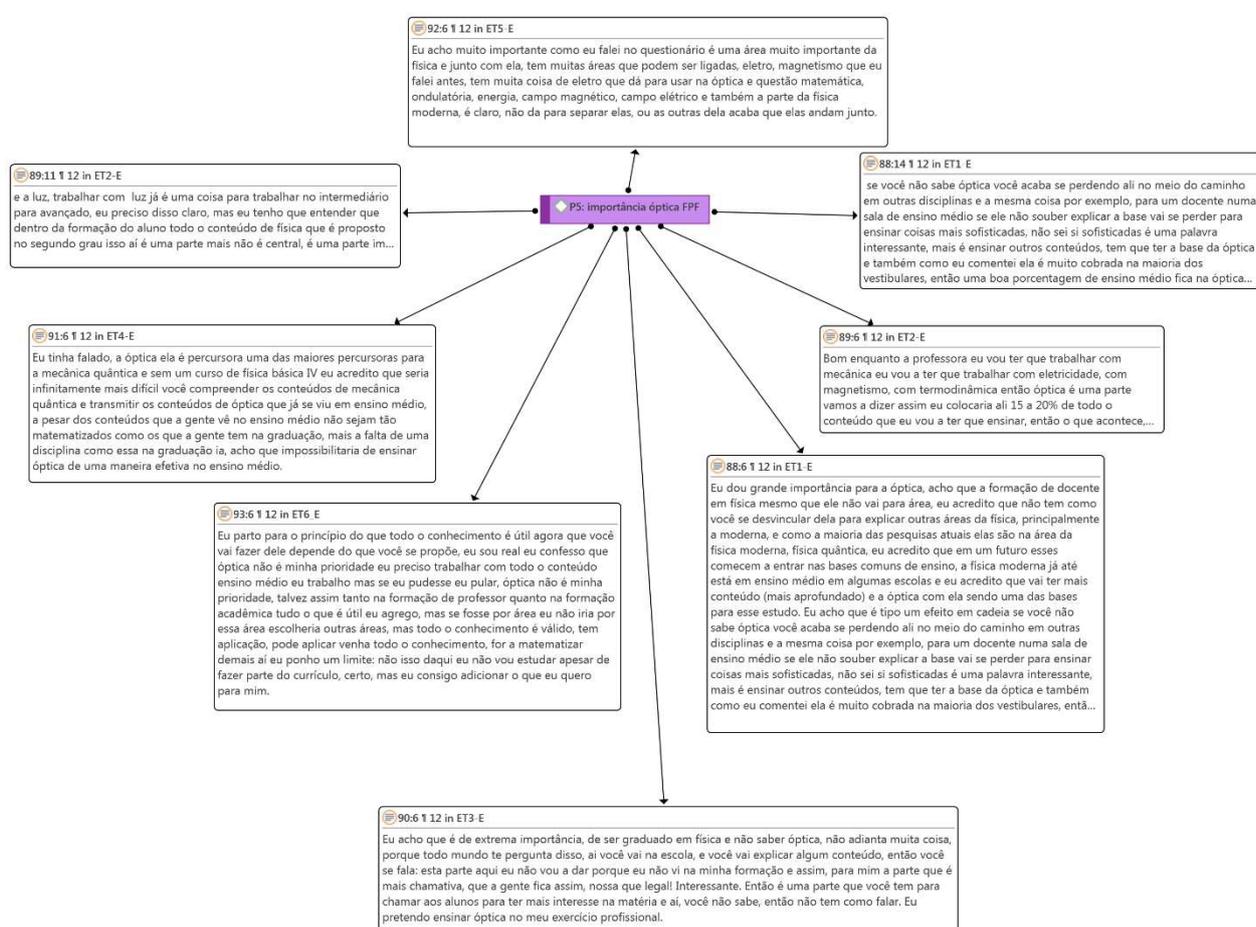
Dessa maneira e como mencionado antes, este fato também tem a ver com a personalidade do professor e sua formação (seus saberes na classificação de GAUTHIER E TARDIFF), pois para os professores que tem maior declínio por atividades experimentais ressaltam diferentes conteúdos a aqueles que tem uma formação mais conceitual, para estes últimos, a dualidade onda partícula é um conteúdo fundamental que permite entender outros, já para os 'experimentais' declaram que existem outros fenômenos além deste que permitem uma ligação com a mecânica quântica e as aplicações na vida cotidiana.

Ao relacionar estas respostas com outras da entrevista e questionário, se pode evidenciar a presença de alguns elementos chave de esses fatos narrados pelos participantes, na maioria dos casos nos dois grupos mencionam a importância da óptica tanto em sua formação profissional quanto em sua formação integral, constituindo a óptica como uma ciência que se encontra muito presente no cotidiano das pessoas, ganhando relevância seu estudo e em alguns casos, gerando preocupação na hora do processo de transposição didática do conteúdo quando já exerçam a carreira docente (figura 13) .

O ponto chave poderia ser a concepção da óptica e sua valor intrínseco na formação do professor de física, as vezes considerada só um apêndice da física e outras como eixo motivador pelo seu caráter experiencial e vivencial do cotidiano das pessoas. O entrevistado ET3 o expressa da seguinte forma:

ET3, pergunta 5-entrevista: “Eu acho que é de extrema importância, de ser graduado em física e não saber óptica, não adianta muita coisa, porque todo mundo te pergunta disso, aí você vai na escola, e você vai explicar algum conteúdo, então você se fala: esta parte aqui eu não vou a dar porque eu não vi na minha formação e assim, para mim a parte que é mais chamativa, que a gente fica assim, nossa que legal! Interessante. Então, é uma parte que você tem para chamar aos alunos para ter mais interesse na matéria e aí, você não sabe, então não tem como falar. Eu pretendo ensinar óptica no meu exercício profissional. ”

Figura 13-Importância da óptica para a formação de professores- estudantes



Fonte: Elaboração própria

Desta fala podemos confirmar que os estudantes buscam contextualizar ativamente suas aprendizagens com suas experiências no cotidiano, destacando a importância dos saberes experienciais na construção do conhecimento. Demonstram um desejo de relacionar os conteúdos acadêmicos com situações práticas e do dia a dia, refletindo sua motivação intrínseca

em entender o mundo que os cerca, ainda que suas opiniões como de esperar sejam divergentes, por gostos e interesses, tem alguns pontos em comum. Notadamente, os estudantes identificados como ET2 e ET6 apresentam uma convergência em relação à importância da óptica, mesmo quando ressaltam seu interesse pessoal e sua conexão com outras atividades específicas. No entanto, para eles, a óptica muitas vezes fica em segundo plano em relação a outras áreas da física, devido a fatores como falta de interesse pessoal ou sua vinculação com outras atividades.

O estudante ET6 por sua parte, destaca que para ele, a matematização da disciplina pode contribuir para a desmotivação dos alunos. Ele argumenta que a óptica, devido à sua abordagem matemática, pode não ser uma escolha atraente para continuar os estudos em seu campo de interesse.

No outro lado, os participantes ET4, e ET5 destacam seu valor como disciplina no fato de estar interligada a outras disciplinas, na que incluem a mecânica quântica e o eletromagnetismo, ao tempo que prejudicariam seu desenvolvimento como professores de ensino médio e reconhecendo importância da óptica para o estudo de disciplinas mais avançadas, como mecânica quântica. Já para ET1, considera a disciplina como uma área cobrada nos vestibulares e no exame nacional de ensino médio ENEM, ainda com iniciativas tímidas na óptica ondulatória, aprofundando a óptica geométrica como a mais cobrada.

Todas estas ideias podem-se adicionar à importância que os estudantes dão para o desenvolvimento matemático dos fenômenos ópticos, como vimos, o currículo ou projeto pedagógico do curso de Licenciatura em Física foi estruturado, pois segundo os pesquisadores do INFIS os estudantes que se matriculam no curso de física tem alguns problemas nas matemáticas, ainda quando é reconhecida a importância desta disciplina na formulação e desenvolvimento dos fenômenos ópticos, e alguns enfatizam na necessidade de uma base sólida em matemáticas, outros se preocupam com o exagero na matematização ou a abordagem desequilibrada no ensino (figura 14). Desta forma podemos resumir suas falas:

ET1:

- Enfatiza a importância da matemática na óptica. Sugerindo a matematização como fundamental para a descrição dos fenômenos ópticos.
- Destaca a conexão entre a matemática abstrata e sua aplicação na física, mencionando a geometria e a óptica geométrica como exemplos.
- Acredita que a compreensão dos fenômenos ópticos requer uma compreensão matemática.

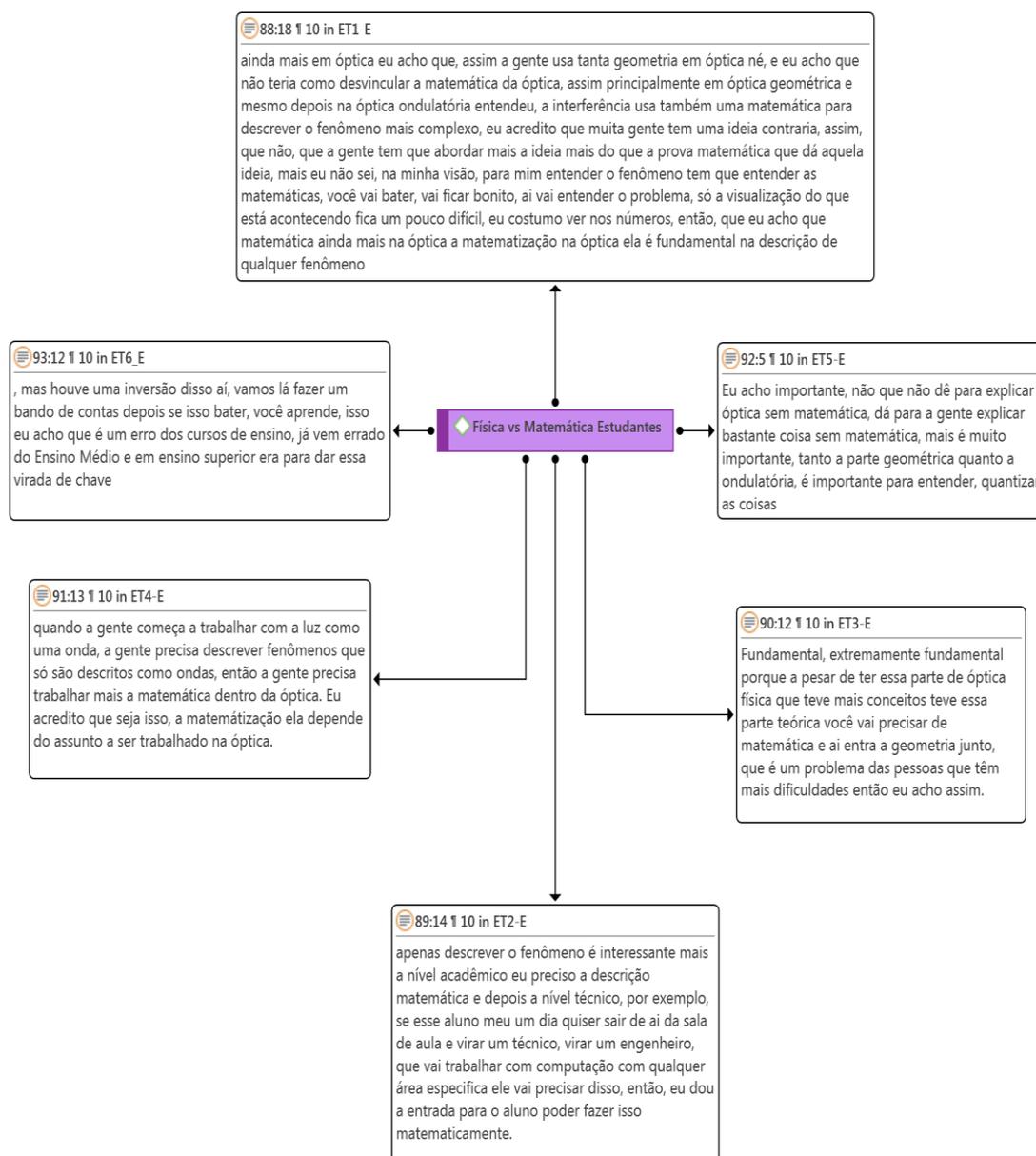
ET2:

- Reconhece a importância da matemática na óptica geométrica e em fenômenos como o efeito fotoelétrico.
- Destaca que a descrição matemática dos fenômenos permite aos alunos compreender e chegar a resultados.
- Aponta que a matematização é necessária para campos técnicos e práticos, como óptica aplicada e comunicação a laser.

O participante (ET2) separa elementos-chave na formação do conhecimento científico, segundo ele, para aprender um assunto em física é importante analisá-lo desde três perspectivas, o fenômeno, neste caso está associado à experiência, a fundamentação teórica que seria o princípio físico na qual o fenômeno está inserido e a descrição matemática. Com esses três elementos se poderia ter uma visão completa do tema abordado, concordando com as teorias Bachelardianas, que enfatizam a compreensão do fenômeno quanto do nómeno. Para Bachelard (1965) o racionalismo aplicado e a nova física estão imersos nesses elementos, e, posteriormente, essa ideia encontra sua realização na experiência por meio de um fenômeno que pode ser adequadamente explicado por meio de suas leis matemáticas.

Na Figura 14, apresentamos as opiniões dos estudantes em relação à matematização na óptica. Nesses trechos destacados, eles expressam suas opiniões sobre o papel da matemática no processo de aprendizagem, sua importância e como a veem como um possível obstáculo ao estudar física e óptica. Embora a maioria reconheça que a matemática é uma ferramenta importante no desenvolvimento dessas disciplinas, eles também mencionam dificuldades ao lidar com tópicos que envolvem conceitos matemáticos mais avançados além da álgebra ou aritmética básica.

Figura 14. Rede Importância da matemátização na óptica- estudantes



Fonte: Elaboração própria

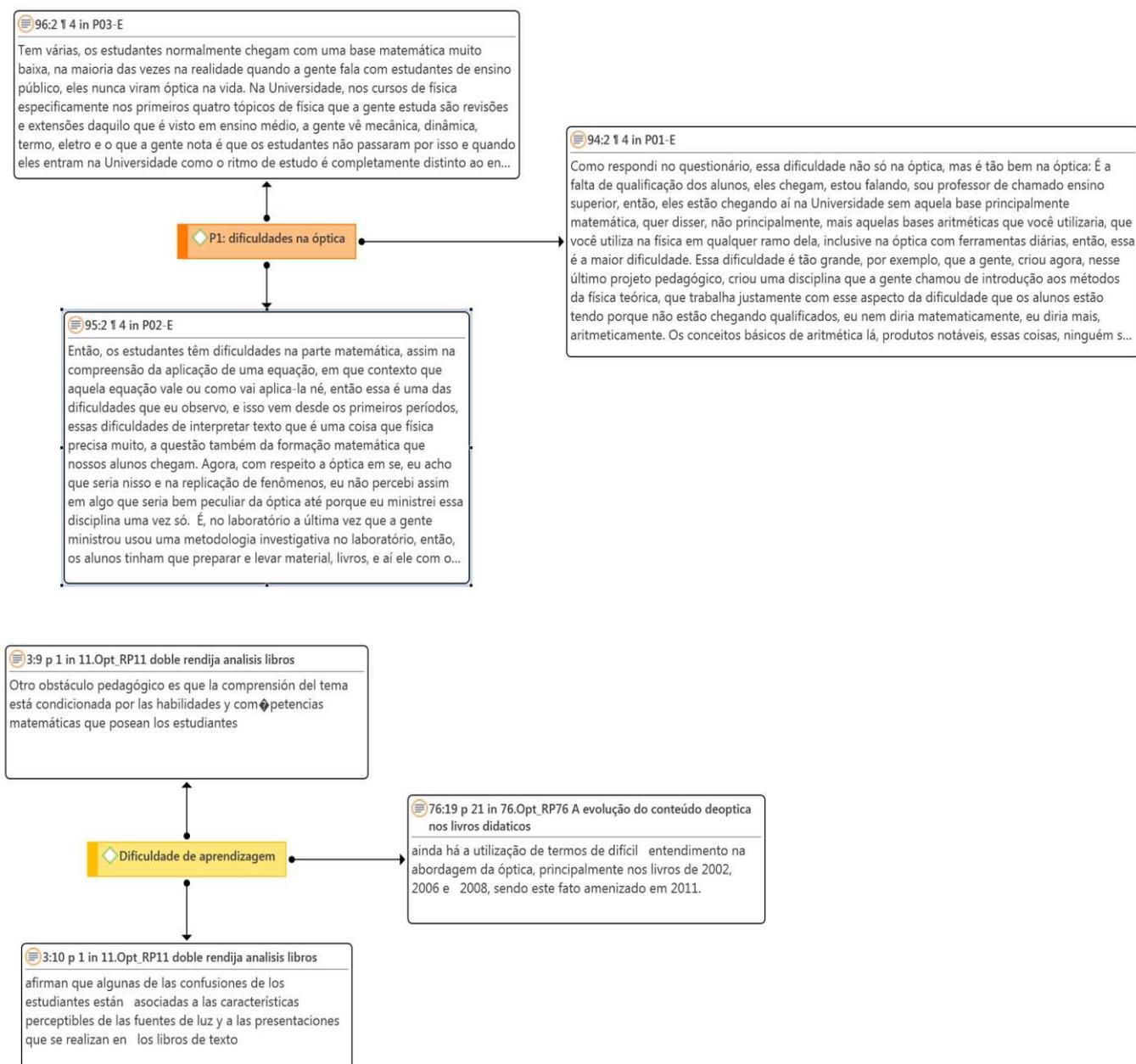
No caso do estudante ET1, enfatiza a importância de abordar os conceitos físicos em diferentes níveis, tanto racional quanto experimental. No entanto, ele destaca a necessidade de compreender o fenômeno antes de sua formulação matemática, indicando que a compreensão do fenômeno em si deve ser priorizada antes da sua tradução matemática, ao se posicionar na classificação do estado concreto-abstrato definido por Bachelard, em que o espírito associa esquemas geométricos à experiência física, nos deparamos com uma situação paradoxal.

Conforme observado por Bachelard (1996, p. 8) " sente-se tanto mais seguro de sua abstração, quanto mais claramente essa abstração for representada por uma intuição sensível."

Também podemos inferir das falas dos estudantes que, ao mencionarem a matemática na óptica, eles sempre a associam à parte geométrica, pois consideram essa parte como a mais valorizada. Quando questionados sobre as dificuldades na óptica, eles não fazem referência a um tema específico, mas, ao aprofundar a discussão, eles afirmam que a geometria às vezes foi desafiadora no momento de abordar a formação de imagens e a construção de raios. Isso está em concordância com a limitada capacidade de abstração que eles possuem, conforme indicado por Bachelard (1996), pois ainda não atingiram o estado abstrato do pensamento, no qual o espírito adota informações deliberadamente subtraídas da intuição do espaço real, dissociando-se voluntariamente da experiência imediata e até mesmo entrando em conflito com a realidade inicial, sempre impura e informe.

Nesse sentido, as entrevistas com os professores revelam três aspectos-chave em relação às dificuldades no processo de ensino aprendizagem dos conteúdos de óptica no particular e as características dos estudantes em geral (figura 15): dificuldades matemáticas, interpretação de texto e escrita dos estudantes e falta de motivação. No que diz respeito às dificuldades matemáticas, os professores observaram que muitos estudantes encontram dificuldades em lidar com os cálculos e equações matemáticas envolvidas no desenvolvimento dos conteúdos da óptica, fato que concorda com o expressado pelo entrevistado ET6.

Figura 15-Rede dificuldades na óptica- visão professores

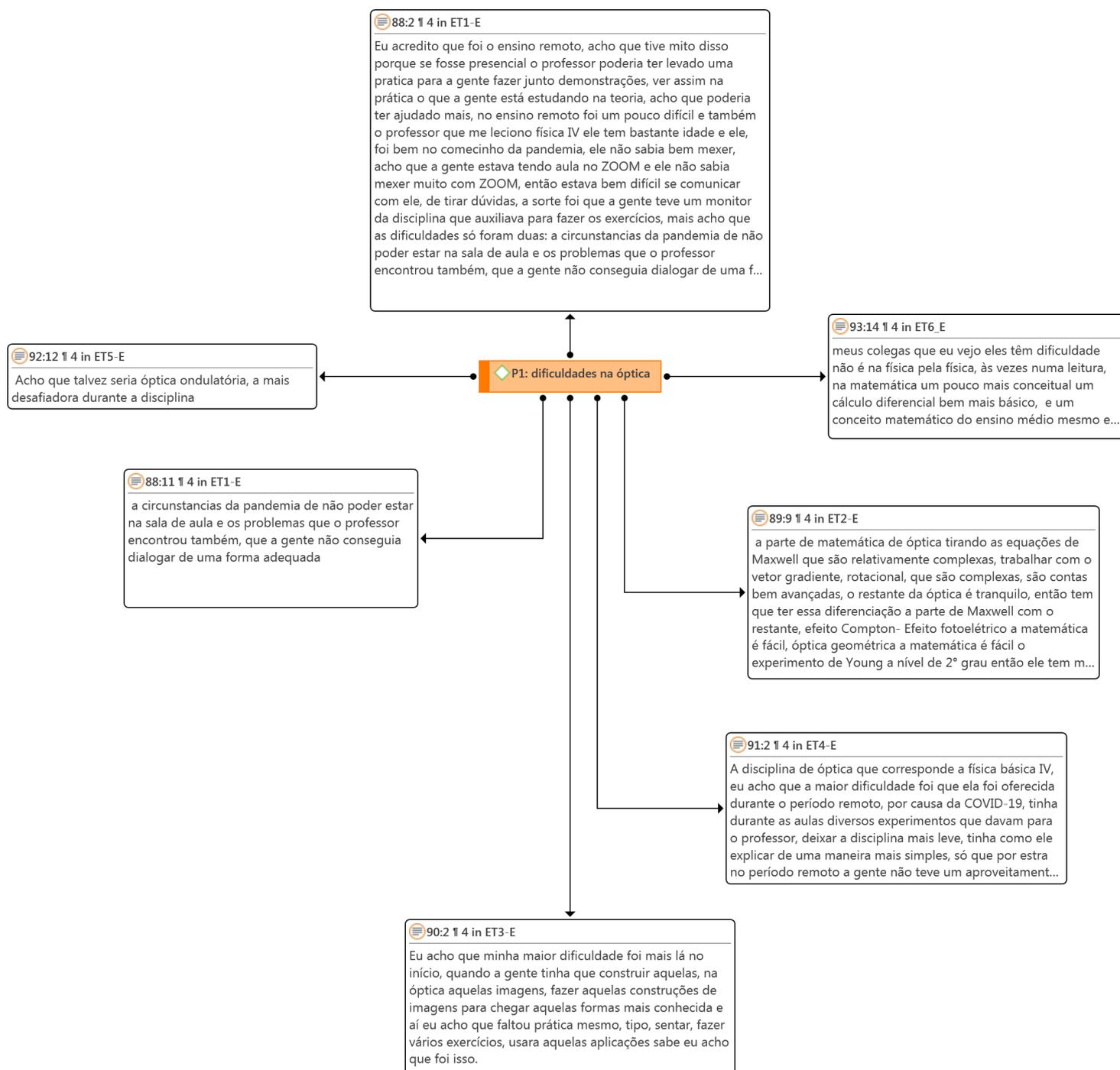


Fonte: Elaboração própria

O participante ET6 na entrevista sobre dificuldades na aprendizagem da óptica:

“[...] meus colegas que eu vejo eles têm dificuldade não é na física pela física, às vezes numa leitura, na matemática um pouco mais conceitual um cálculo diferencial bem mais básico, e um conceito matemático do ensino médio mesmo então, eu vejo os colegas com essa dificuldade”

Figura 16. Rede dificuldades na óptica- estudantes



Fonte: Elaboração própria

Para os alunos, por sua vez (figura 16), não sentem que as dificuldades são inerentes a eles, ao contrário, devem-se as condições de aula, ambiente acadêmico e afastamento social, mas as atribuem a causas externas e em alguns casos ao professor. Particularmente sentem falta de preparação de alguns docentes em usar alguns dos aplicativos para realização de reuniões

virtuais, isso devido a causas de ensino remoto advindo como consequência da pandemia por COVID-2019; ao ser mais instigados a declinar-se por algum conteúdo que tenham dificuldade, concordam com os professores ao assinalar que são as matemáticas (geometria), suas maiores dificuldades (figura 16).

Também se pode observar nos dados que os estudantes enfrentam outras dificuldades, como a interpretação de gráficos, a formação de imagens e o entendimento dos princípios da óptica geométrica. Essas dificuldades estão em consonância com o que foi revisado na literatura (BONIEV, 2009; BRAVO e PESA, 2016; ANDREOU e RAFTOPOULOS, 2011; WINER *et al.*, 2002, FARIAS e TELICHEVESKY, 2017, GIACOSA, *et. al.*, 2019; entre outros). Essas dificuldades podem ser atribuídas à complexidade dos conceitos envolvidos e à necessidade de habilidades visuais e espaciais, a figura 16, mostra um pouco como os estudantes enxergam essas dificuldades.

Percebe-se também da literatura os obstáculos epistemológicos (figura 15) que enfrentam os estudantes e que devem superar para o aprendizado da óptica e física moderna, sendo estes as dificuldades matemáticas, termos de difícil entendimento nos livros didáticos associado ao obstáculo verbal na descrição bachelardiana e as percepções e ideias prévias dos estudantes, obstáculo da experiência primeira.

Em adição, percebe-se que, em certos casos, houve uma falta de aprofundamento no estudo da óptica física devido a restrições de tempo. Um dos estudantes relatou dificuldades em "visualizar" mentalmente ou imaginar conceitos quando solicitado, corroborando as ideias de Bachelard (1965, 1996) sobre as dificuldades de compreensão nessa área. Essa lacuna de conhecimento e as dificuldades em formar imagens mentais dos conceitos da óptica física podem ter impacto negativo no processo de aprendizagem e na construção de uma base sólida nesse campo da física.

Os professores por sua parte consideram a matemática como uma parte importante no desenvolvimento do conhecimento em óptica e em geral, para eles a matemática é uma ferramenta da física, cujo tratamento deve ser empregado atendendo ao nível dos alunos e suas expectativas, considerando que o estudante universitário se sente motivado para fazer cálculos matemáticos e realizar medidas: "P02: no ensino superior o aluno já ele quer realizar uma medida, ele está se preparando para ser um pesquisador, para ser um professor." O entrevistado P01 o expressa da seguinte forma: "não é à toa que todo curso de física, os anos iniciais são as

disciplinas matemáticas: geometria analítica, cálculos, álgebra linear, por quê? Porque não tem como ir para a frente sem”.

Essa perspectiva dos professores pode ser relacionada aos obstáculos epistemológicos identificados por Bachelard (1996). Primeiramente, a matemática é percebida como uma ferramenta de conforto intelectual, uma facilidade concedida à mente que permite lidar com conceitos físicos complexos por meio de simbolização e cálculos (categorização de obstáculos apresentada por ASTOLFI, 2003, de 'facilidade do obstáculo'). No entanto, essa 'certeza do íntimo' também pode se tornar um obstáculo à compreensão mais profunda dos fenômenos físicos.

Na mesma vertente, a positividade do obstáculo é evidente na matemática, onde um conjunto de conhecimentos disponíveis muitas vezes pode impedir a construção de novos conhecimentos. Os erros matemáticos persistentes e sólidos podem ser vistos como uma forma de obstáculo. Em adição, a ambiguidade do obstáculo se manifesta na matemática, onde essa forma de pensamento é essencial, mas pode levar a erros se não for usada corretamente. Portanto, o obstáculo não é, inerentemente problemático, mas sim dependente da maneira como é utilizado.

Por fim, o polimorfismo do obstáculo sugere que os desafios epistemológicos não se limitam à dimensão racional, mas podem também envolver aspectos afetivos e emocionais. A relação dos alunos com a matemática e como ela é ensinada pode ter uma carga simbólica, afetando sua compreensão (ficando evidente nas figuras 14 e 15 e nas falas de ET2 e ET6), e a recorrência do obstáculo é observada na necessidade de os alunos cometerem erros antes de reconhecê-los. A matemática, muitas vezes, só pode ser compreendida após os obstáculos terem sido superados e os erros identificados.

Por outro lado, é importante avaliar que, às vezes, os aspectos qualitativos dos fenômenos físicos são negligenciados em favor da ênfase nos aspectos quantitativos. Isso pode resultar em um ensino excessivamente matematizado ou carente dela. É fundamental encontrar um equilíbrio entre esses aspectos para proporcionar uma compreensão abrangente da física. Além disso, é necessário levar em conta o tempo disponível na sala de aula como um elemento-chave no planejamento e na execução das aulas. Os professores devem ser conscientes desse recurso limitado e fazer escolhas cuidadosas em relação aos conteúdos a serem abordados.

Outro ponto relevante é considerar o estilo de ensino e a personalidade do professor como elementos determinantes na gestão dos conteúdos na sala de aula. Cada professor tem sua

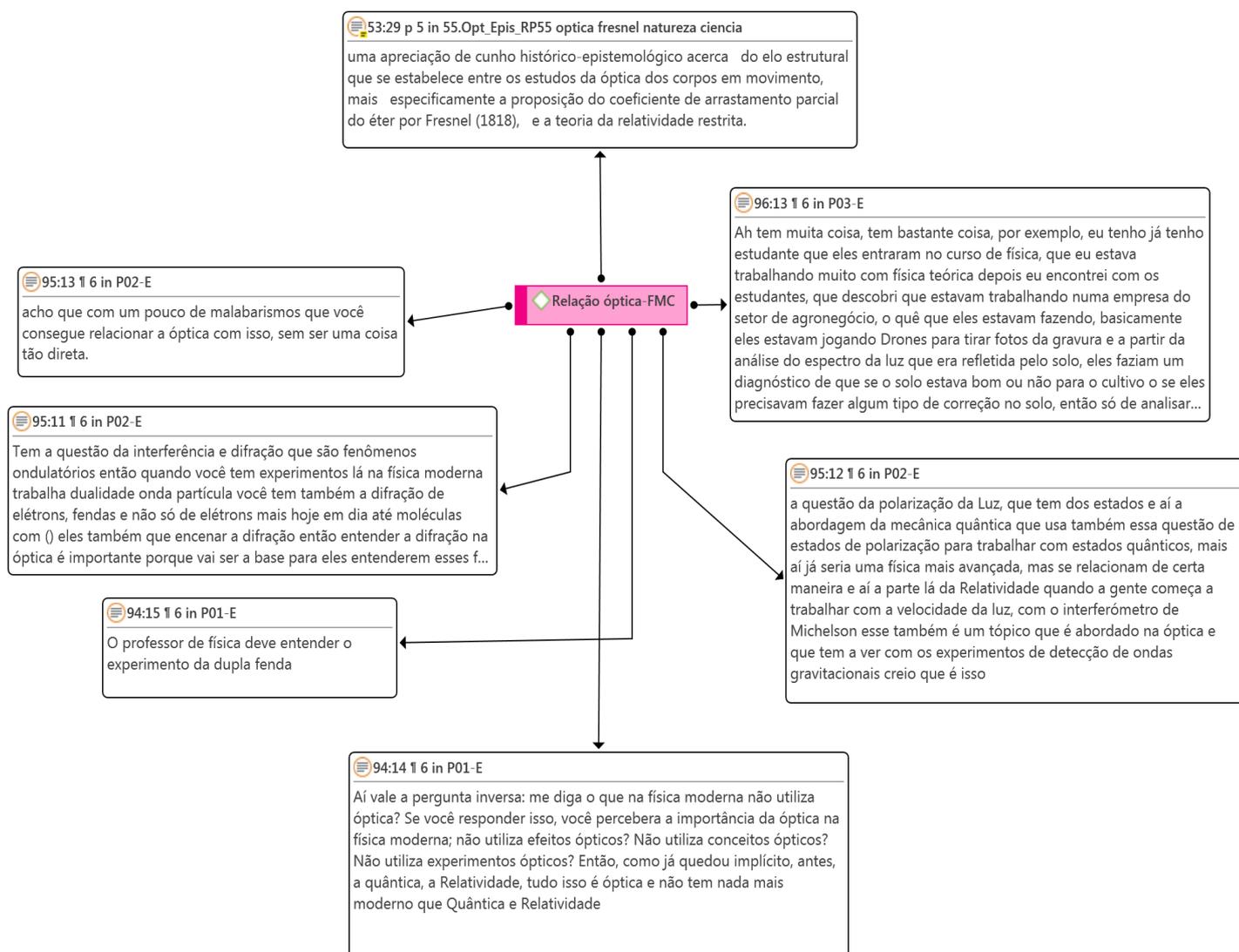
própria abordagem e forma de transmitir conhecimento (baseado nas contribuições de GAUTHIER, TARDIFF e outros), e é importante que eles sejam capazes de tomar decisões com base em suas características individuais, levando em conta as necessidades dos alunos e buscando um equilíbrio adequado entre os aspectos quantitativos e qualitativos da física. Dessa forma, é possível proporcionar aos estudantes uma experiência de ensino mais completa e enriquecedora, em que tanto os aspectos matemáticos quanto os qualitativos sejam abordados de maneira equilibrada, considerando o tempo disponível e as características individuais do professor.

Mais dos dados da pesquisa, os professores e alunos consideram a matemática como uma ferramenta que auxilia na construção do conhecimento para um entendimento aprofundado dos fenômenos físicos, como uma forma de representar os fenômenos. Nesse sentido Bachelard afirma que se deve romper com o clichê de ver as matemáticas como uma linguagem, para este filósofo “a matemática é um pensamento, um pensamento seguro de sua linguagem” (BACHELARD, 1965, p. 30). Isso nos leva à conclusão de que, de acordo com as teorias bachelardianas, tanto os professores quanto os alunos devem considerar a matemática não apenas como uma linguagem para traduzir as leis físicas, mas sim como intrinsecamente ligada à própria concepção de ideias, especialmente quando se trata da nova física, da nova mecânica.

Dos outros aspectos chave no desenvolvimento dos estudantes, a interpretação de textos cobrou relevância de destaque nas considerações dos professores, assim como a expressão escrita de suas ideias, e argumentos, o entrevistado P03 diz: “há uma dificuldade muito grande em acompanhar a disciplina e gerenciar o tempo para poder estudar várias disciplinas pesadas ao mesmo tempo com um ritmo mais forte, e eu acredito que essas sejam as principais”.

Em alusão à relação da óptica com a física moderna, os entrevistados concordam com a importância da óptica como uma ponte para o entendimento da física moderna e contemporânea, os professores (figura 17) tem mais abrangência em falar sobre este tema ainda quando eles mesmos asseguram que não é planteado como objetivo da disciplina fazer esta conexão na ocasião do ensino de óptica, e ainda quando os diferentes tópicos ou conteúdo da óptica as vezes são considerados importantes para o desenvolvimento da física moderna e contemporânea, não existe evidencia que eles tentem fazer essa ligação.

Figura 17-Relação da óptica com a física moderna e contemporânea-professores

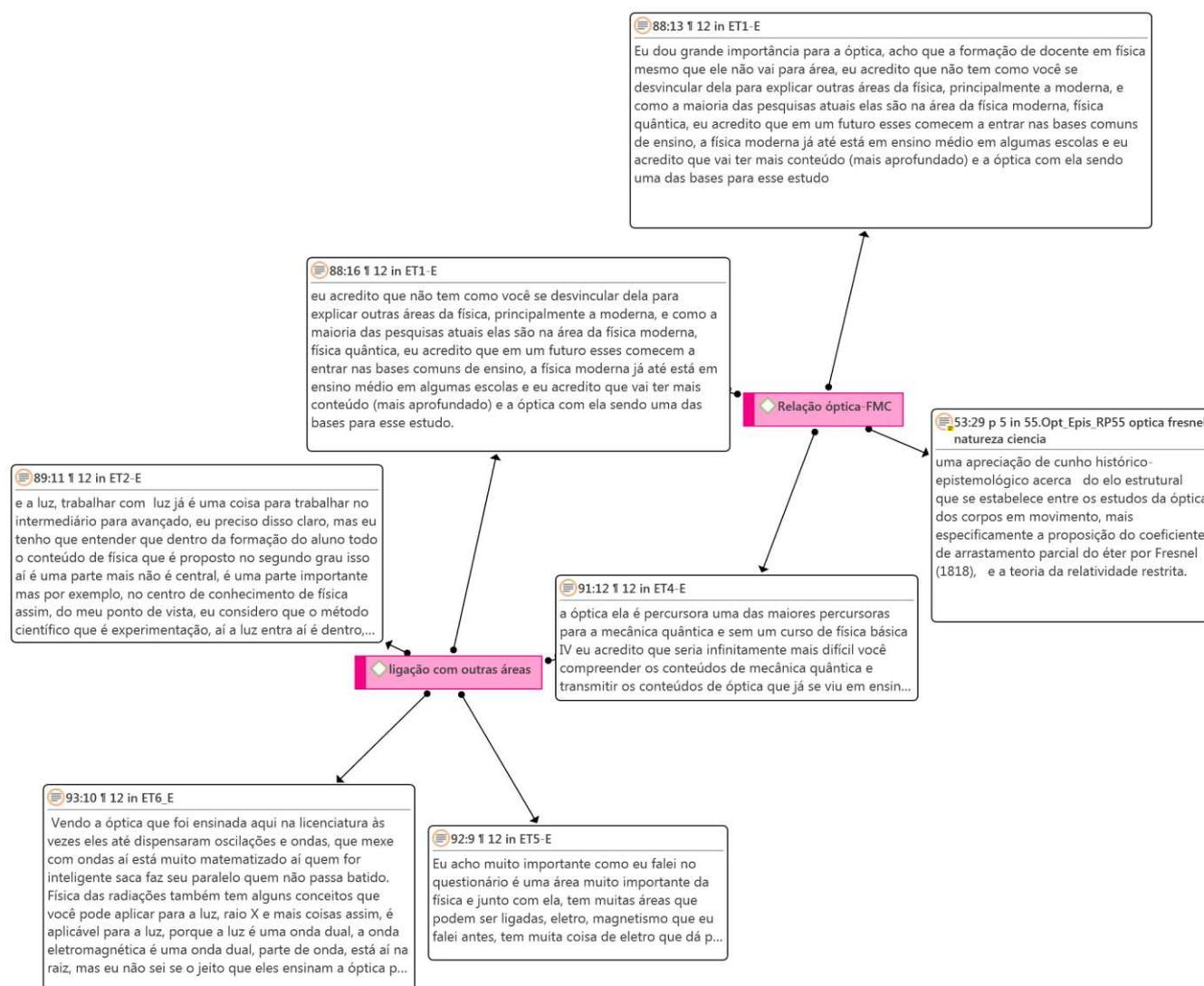


Fonte: Elaboração própria

Consideramos que a óptica desempenha um papel significativo para o desenvolvimento da física moderna e contemporânea, uma vez que a luz é uma evidência importante para entender o universo e outros fenômenos estudados na física. Além disso, os avanços na óptica ajudaram a entender conceitos como a dualidade onda-partícula da luz, que é relevante para entender a mecânica quântica. A dualidade onda-partícula, apesar de não ser fundamental para as aplicações práticas, assume um papel significativo na perspectiva bachelardiana, onde os obstáculos epistemológicos podem surgir quando se tenta compreender essa dualidade aparentemente paradoxal. Nesse sentido, ela se encaixa na categoria de

'ambiguidade do obstáculo', já que, mesmo não sendo um conceito central para as construções na física moderna e contemporânea, sua natureza paradoxal desafia a compreensão e estimula a reflexão teórica. Assim, nas falas dos professores (figura 17) existem muitos elementos que servem de base para fazer essas ligações da óptica com a física moderna.

Figura 18- Relação Óptica e Física Moderna, estudantes

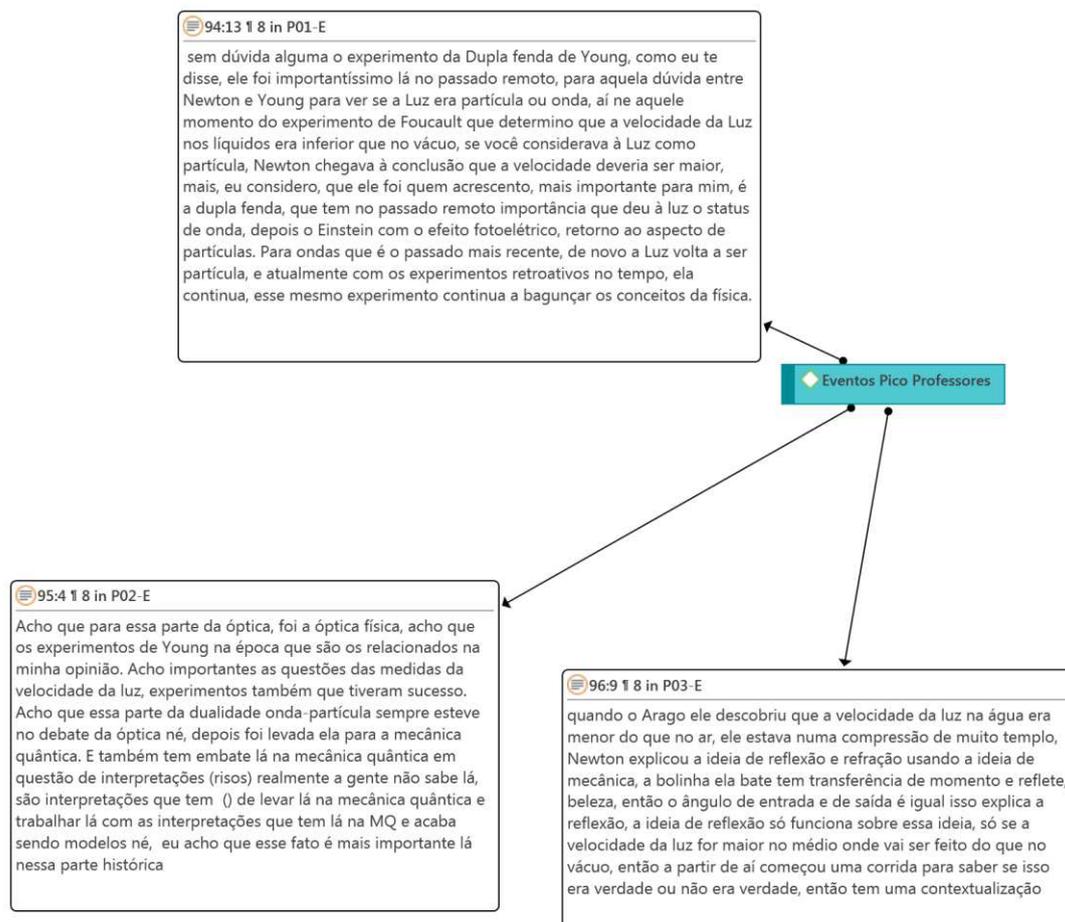


Fonte: Elaboração própria

Ganha destaque entre os entrevistados (figuras: 16,17,18 e 19) o experimento da dupla fenda ou experimento de Young, os professores alegam que é essencial para um professor de física ou um futuro professor de física entender este experimento tão importante na história da óptica e da física moderna, que “continua bagunçando os conceitos da física” (P01). Já para os alunos, eles não têm muito clara essa relação dos conteúdos de óptica com física moderna,

suas respostas foram um pouco tímidas neste respeito, ainda que alguns dos entrevistados conseguem fazer essa ligação por já ter uma base como professores de ensino médio (figura 18).

Figura 19- Rede de eventos pico professores



Fonte: Elaboração própria

Aqueles que ainda não trabalharam na área da educação mencionam as propriedades da luz como um elemento de convergência entre as disciplinas e tentam estabelecer uma conexão entre elas, considerando a forma como são apresentadas no currículo do programa de física, com uma disciplina sendo pré-requisito da outra. Ainda os professores sublinham outros aspectos da óptica para reforçar a ideia com os trabalhos de fornos de Planck, os entrevistados ET2, P03 coincidem em suas respostas neste ponto, e também ET2, ET5, P01 e P03 fazem menção ao efeito fotoelétrico de Albert Einstein (figura 19 e 20).

Durante as entrevistas, os participantes mencionaram os conteúdos de óptica relacionados à física moderna (figuras 17 e 18) que foram identificados na pesquisa. É importante ressaltar que eles demonstraram estar cientes desses conteúdos e reconheceram sua relevância no contexto do ensino de ciências. Isso indica que os entrevistados estão conscientes da importância de abordar temas contemporâneos e avançados, proporcionando aos alunos uma compreensão mais abrangente e atualizada da óptica. Essa consciência pode ter implicações positivas, como o estímulo ao pensamento crítico, à curiosidade científica e à motivação dos estudantes. No entanto, é necessário considerar que a abordagem desses conteúdos também pode apresentar desafios, como a complexidade dos conceitos e a necessidade de recursos e estratégias pedagógicas adequadas.

Por outro lado, como sabemos a história da óptica é marcada por eventos picos que destacam a importância da matemática nessa disciplina. Desde os tempos antigos, grandes avanços na compreensão da luz, da reflexão e da refração foram alcançados por meio do uso de ferramentas matemáticas. Um desses marcos históricos foi a descoberta da lei da reflexão por Euclides no século III a.C., que estabeleceu as bases geométricas para entender como a luz se reflete em diferentes superfícies.

Outro evento marcante foi a contribuição de Ibn al-Haytham, conhecido como Alhazen no século XI, que desenvolveu um tratado matemático abrangente sobre óptica, no qual ele aplicou conceitos geométricos e trigonométricos para explicar a formação de imagens. Além disso, os avanços na óptica no século XVII, com as descobertas de Snell e Descartes sobre a lei da refração, foram fundamentais para estabelecer a relação entre a mudança de direção da luz e as propriedades geométricas dos meios em que ela se propaga. Esses eventos históricos demonstram como a matemática desempenhou um papel crucial na evolução do conhecimento óptico, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento teórico e experimental nessa área.

Ao analisar as respostas dos professores no referente aos eventos picos no desenvolvimento da óptica, é possível identificar rupturas epistemológicas que evidenciam a superação de obstáculos no desenvolvimento dessa disciplina. Esses eventos históricos estabelecem conexões com as falas dos participantes, representados na figura 19 e conforme o descrito a seguir.

Um desses momentos significativos é o experimento da dupla fenda, mencionado por dois participantes. Esse experimento, realizado no passado remoto, desafiou as concepções

predominantes sobre a natureza da luz, levando à compreensão da luz como uma onda. Essa ruptura epistemológica foi essencial para a evolução da óptica e está alinhada com a visão de Bachelard (1996), que destaca a importância da superação de obstáculos na construção do conhecimento científico.

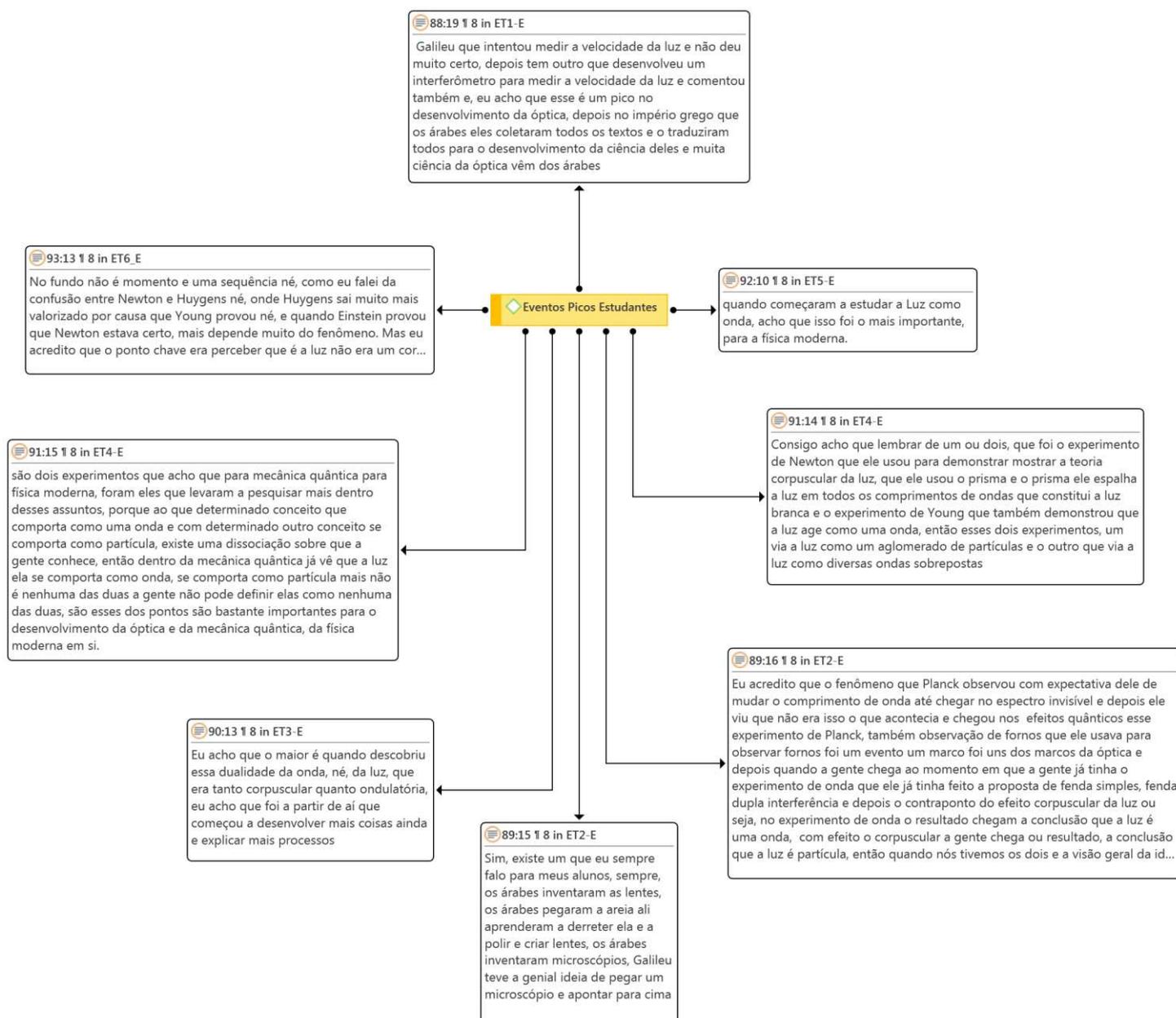
Outro ponto destacado pelos participantes é a descoberta de que a velocidade da luz é menor em meios materiais, como a água, em comparação com o vácuo. Essa descoberta, atribuída a Foucault, representou uma ruptura em relação à visão estabelecida anteriormente. Essa compreensão sobre a velocidade da luz no contexto óptico evidencia a superação de obstáculos e a necessidade de novas formulações teóricas e modelos matemáticos para explicar e prever os fenômenos ópticos.

Além disso, a menção à dualidade onda-partícula na óptica física e sua posterior transposição para a mecânica quântica também revelam momentos de ruptura epistemológica. Essa dualidade, que desafia a concepção tradicional de que a luz é exclusivamente uma onda ou uma partícula, conduziu a uma compreensão mais abrangente e complexa da natureza da luz. Essa superação de obstáculos conceituais no campo da óptica está alinhada com a perspectiva de Bachelard (1965, 1996) sobre a necessidade de romper com paradigmas estabelecidos para avançar no conhecimento científico.

Em suma, as falas dos participantes (figuras 19 e 20) revelam uma percepção consciente dos eventos marcantes na história da óptica que representam rupturas epistemológicas. Esses momentos de superação de obstáculos estão em consonância com a visão de Bachelard e destacam a importância de questionar concepções estabelecidas, buscar novas abordagens teóricas e utilizar a história da ciência como uma ferramenta motivadora no processo de aprendizado da óptica.

No entanto, os entrevistados não fazem menção sobre outros aspectos relevantes na história da óptica que marcaram um divisor de águas na história da física, pois como argumenta Bachelard, a mecânica ondulatória com os trabalhos de Huygens, Young e posteriormente Fresnel e, Albert Einstein e os físicos do século XX- são trabalhos sem ancestrais, sendo exemplos brilhantes de sínteses filosóficas, apontando que “Fresnel instituiu a óptica em uma base indestrutível” (1965, p. 44). Sendo assim, e analisando a história da óptica, podemos observar as evoluções dialéticas das teorias de ondas e partículas, e evidenciar que as polêmicas têm polos diferentes, alguns associados ao sentido comum e outros as formulações e organizações matemáticas.

Figura 20- Rede Eventos Picos Estudantes



Fonte: autoria própria

Também como se pode detalhar nas figuras 19 e 20, os participantes divergem sobre os eventos que consideram picos no desenvolvimento da óptica, onde se evidenciam falta de detalhes e em alguns casos ausência de contextos históricos abrangentes e os eventos mencionados pelos participantes podem refletir seus próprios interesses e conhecimentos prévios, o que pode resultar em uma representação limitada da história da óptica. Outros eventos

importantes podem ter sido negligenciados ou não mencionados. Pois não fazem uma menção particular as interconexões desses fatos com a física moderna e contemporânea.

Do outro lado, as falas dos estudantes (figura 20) revelam uma percepção consciente dos eventos e descobertas marcantes na história da óptica, e destacam a importância da experimentação, da observação e da compreensão da dualidade onda-partícula na evolução da óptica. Um dos momentos mencionados é a tentativa de Galileu (ET1) de medir a velocidade da luz, que não obteve sucesso. Essa tentativa evidencia um obstáculo enfrentado na compreensão da natureza da luz e destaca a importância da experimentação na evolução da óptica.

A esse respeito Bachelard argumenta sobre outros experimentos que foram decisivos na história da óptica, já mencionados alguns na seção correspondente da história da óptica, mais também, são destacados outros como o de Fizeau que considera como historicamente crucial “uma vez que interrompeu o desenvolvimento de hipóteses corpusculares” (BACHELARD, 1965, p. 48)

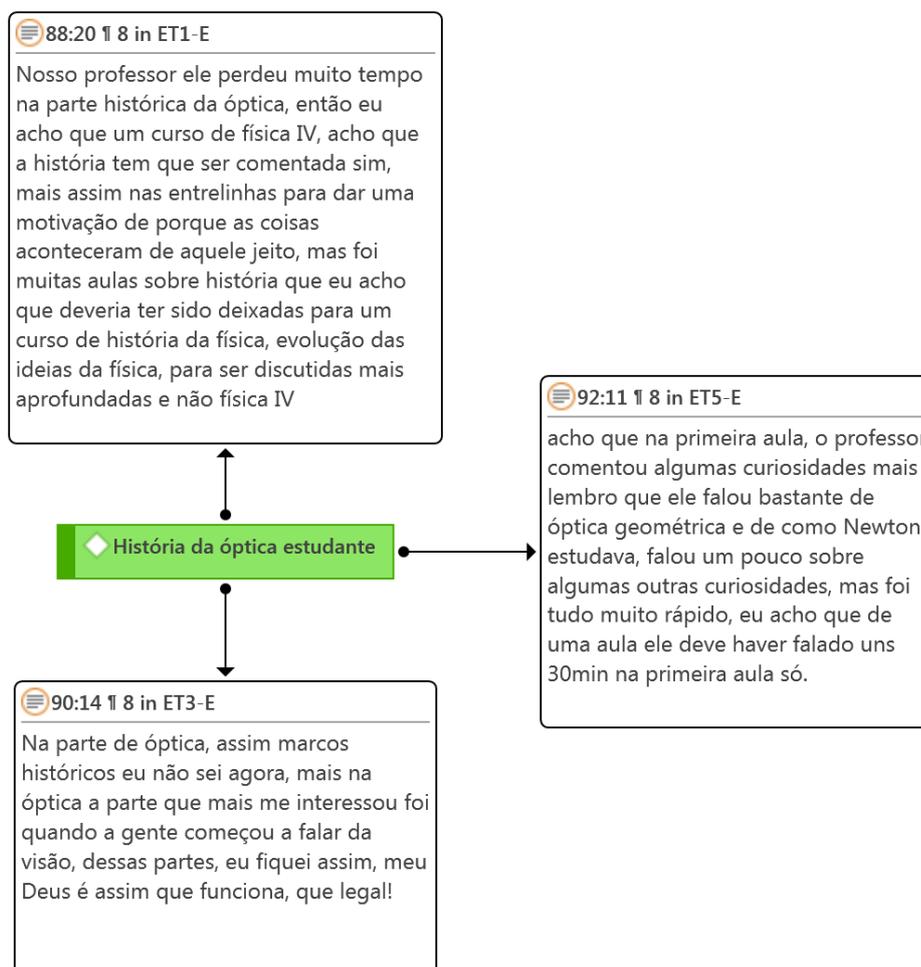
Por sua parte, a contribuição dos árabes (ET1, ET2, ET4) na óptica também é mencionada, especialmente em relação ao desenvolvimento de lentes e microscópios. Essas invenções árabes representaram uma ruptura na manipulação e observação da luz, abrindo caminho para novas descobertas e avanços científicos. A valorização dessas contribuições históricas está de acordo com a importância da parte histórica da óptica mencionada pelos participantes.

O experimento de Planck, (ET2, P03) relacionado à observação dos efeitos quânticos e à descoberta da dualidade onda-partícula da luz, é considerado um marco importante na óptica. Essa descoberta representa uma ruptura conceitual e abre caminho para uma compreensão mais profunda dos fenômenos ópticos. A referência a esse experimento destaca a relevância da pesquisa experimental e da teoria quântica na óptica moderna. Porém, as informações fornecidas pelos participantes não seguem uma ordem cronológica clara ou uma sequência lógica de eventos históricos. Isso dificulta a compreensão do desenvolvimento histórico da óptica. É importante levar em consideração essas limitações ao analisar e interpretar os conjuntos de dados fornecidos pelos participantes. A utilização de fontes adicionais e recursos históricos confiáveis são recomendações significativas para obter uma compreensão mais completa e precisa da história da óptica.

Na figura 21, consideramos as declarações dos estudantes sobre a importância da história da óptica no processo de aprendizagem. Além das limitações mencionadas anteriormente, é relevante destacar a perspectiva dos estudantes em relação ao papel motivador da história da ciência no estudo da óptica. Por exemplo, o participante ET1 expressa a opinião de que o "professor perdeu muito tempo" ao abordar a história da óptica, pois, para ele, a história deve ser apresentada como um elemento motivador do conteúdo. Nesse sentido, a história é vista como um complemento no processo de ensino, e embora os estudantes reconheçam a importância dela, não a consideram essencial para o aprendizado da disciplina.

Essa percepção dos estudantes pode ser entendida como uma oportunidade de aprimoramento na abordagem do ensino da óptica, integrando de maneira mais efetiva os aspectos históricos e epistemológicos. Compreender a evolução da óptica ao longo do tempo e as rupturas epistemológicas que ocorreram pode fornecer uma perspectiva mais ampla e enriquecedora para os estudantes.

Figura 21. Percepção da história da ciência, estudantes



Elaboração própria.

Ao destacar a importância da história da ciência no contexto da óptica, os professores podem despertar o interesse dos alunos, estimulando sua curiosidade e mostrando como as descobertas e avanços científicos foram alcançados ao longo dos anos. Isso pode ajudar os alunos a compreenderem a natureza do conhecimento científico, a importância do método científico e a apreciar a trajetória histórica que levou ao estado atual da óptica. Ao integrar a história da ciência no processo de aprendizagem da óptica, os estudantes podem desenvolver uma compreensão mais profunda dos conceitos e teorias ópticas, bem como uma apreciação mais ampla da natureza da ciência como uma disciplina em constante evolução.

Portanto, é recomendado que os educadores considerem a inclusão da história da óptica como parte integrante do currículo, promovendo uma abordagem interdisciplinar que relacione os aspectos históricos, conceituais e práticos da disciplina. Isso pode proporcionar uma experiência de aprendizagem mais significativa e enriquecedora para os estudantes, contribuindo para o desenvolvimento de uma compreensão mais sólida e contextualizada da óptica.

Embora os estudantes possam não considerar inicialmente esses apontamentos como essenciais, compreender a evolução da óptica ao longo do tempo e as rupturas epistemológicas que ocorreram pode fornecer uma perspectiva mais ampla e profunda sobre a disciplina. Integrar a história da óptica no currículo, relacionando-a aos conceitos e práticas atuais, possibilita aos alunos uma compreensão mais sólida, contextualizada e apreciativa da natureza da ciência. Ao despertar o interesse, estimular a curiosidade e mostrar o caminho percorrido pelos cientistas até os dias de hoje, os educadores promovem uma experiência de aprendizagem significativa, contribuindo para o desenvolvimento de uma visão mais completa e abrangente da óptica como uma disciplina em constante evolução.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

[...] todo saber, mesmo o “novo”, inscreve-se em uma duração que remete à história de sua formação e de sua aquisição...

Tardif, Lessard; Lahaye, (1991, p. 217)

A teoria é a verdade matemática que ainda não encontrou sua realização completa. O homem de ciência deve buscar essa realização completa. É preciso forçar a natureza a ir tão longe quanto nosso espírito.

Bachelard, (2003, p. 33)

Guiados pela necessidade de compreender a relação entre os conteúdos desenvolvidos na disciplina de óptica na formação de professores de Física da UFU e a construção da aprendizagem em física moderna e contemporânea, e com base nas perspectivas da teoria bachelardiana, trilhamos o percurso da investigação, embasados na hipótese de que o desenvolvimento de conteúdos de óptica em geral, favorece o aprendizado da física moderna e contemporânea e que seu tratamento histórico favorece o processo de conceituação dos alunos.

Neste percurso investigativo exploramos a significativa influência das teorias de Gaston Bachelard no campo do ensino de ciências e, em particular, no contexto do ensino de física, assim como aportes de teóricos na área de didática e formação de professores, incluindo expoentes como Gauthier, Tardiff, Porlán, Pozo, Gómez, Libâneo, entre muitos outros pesquisadores, e também o percurso histórico da óptica, desvendando os obstáculos e avanços nessa área do saber e suas contribuições para o avanço da física moderna e contemporânea.

Ao longo das décadas, o pensamento bachelardiano tem desempenhado um papel fundamental na maneira como compreendemos a construção do conhecimento científico e os desafios enfrentados pelos estudantes ao tentar assimilá-lo. A abordagem única de Bachelard, que enfatiza a superação de obstáculos epistemológicos e a importância da história e filosofia

da ciência, fornece um quadro conceitual valioso para aprimorar os métodos de ensino e aprendizagem em óptica e física moderna e contemporânea.

Sendo assim, neste estudo, exploramos um amplo espectro de pesquisas relacionadas ao ensino da óptica e à aplicação das teorias de Bachelard no contexto educacional. Ao longo da análise de teses de doutorado e dissertações de mestrado, pudemos observar a relevância e a complexidade desses temas no cenário da educação em ciências, e através do trabalho de campo conseguimos nos aprofundar nas implicações da óptica e da epistemologia bachelardiana para a formação do professor de física e na construção do conhecimento para a física moderna e contemporânea.

No campo educacional, uma diversidade de teorias tem surgido com o objetivo de aprofundar a análise da construção do conhecimento humano. Dentro desse espectro, a Didática da Ciência emerge como um campo de estudo particularmente interessado em compreender como estudantes, professores e até mesmo cientistas constroem seus conhecimentos sobre diversos assuntos científicos. Como discutido ao longo desta pesquisa, tornou-se evidente que o conhecimento que permeia a vida desses profissionais não é proveniente de uma única fonte, mas, sim, é cuidadosamente edificado ao longo do tempo. Esse processo resulta na formação de uma estrutura cognitiva que capacita indivíduos a compreender o mundo que os cerca por meio de suas experiências e das relações que estabelecem com o ambiente. Importante destacar que esse processo não ocorre de maneira isolada; ao contrário, é profundamente influenciado pelo contexto social no qual estamos inseridos. Como seres sociais, nossa construção de conhecimento é inerentemente coletiva, influenciada por interações, discussões e trocas de ideias, ampliando assim nossa compreensão dos conceitos científicos.

Em contrapartida, parte da literatura tem demonstrado uma visão linear do progresso científico, retratando os cientistas como gênios de laboratório com aparência excêntrica, capazes de descobrir teorias do nada, sem espaço para erros e desconsiderando suas frustrações e paixões. Essas representações simplificadas ignoram o processo real de descoberta científica, que envolve incertezas e aprendizado contínuo.

Nesse contexto, Bachelard (1965, 1996, 2003) enfatiza a importância de compreender como as pessoas adquirem conhecimento, reconhecendo o erro como uma oportunidade para corrigir aquilo que é percebido pelos sentidos. Ele destaca a existência de múltiplas verdades históricas e provisórias, em vez de verdades definitivas. Para obter conhecimento em determinadas áreas, é necessário estar aberto a recomeços, pois o

conhecimento é um processo contínuo de rupturas e descontinuidades assim como a valoração de resultados negativos.

Ao considerar a perspectiva histórica da óptica na formação do professor de física desde o ponto de vista bachelardiano, nos deparamos com vários desafios, pois a história da física, especialmente da óptica, oferece, a partir desse cenário, um maravilhoso exemplo desse eterno recomeço e das rupturas com o passado. A concepção corpuscular da luz e os estudos para explicar a reflexão e refração proporcionam uma articulação entre rupturas e descontinuidades.

As hipóteses propostas por vários expoentes ao longo dessa história, como Erastóstenes, Al Hazen, Hooke, Newton, Huygens, Young, Fresnel, Einstein entre outros, conseguiram articular analogias e metáforas nas explicações de seus trabalhos, demonstrando um pensamento ativo, racionalização e compreensão da ciência. Essa dialética busca o diálogo entre diferentes campos da física, levando-nos a esquecer hipóteses ultrapassadas e examinar o passado para melhor compreender o presente. Assim, a história da óptica destaca "o significado dialético da mente sistemática" (BACHELARD, 1965, p. 18).

Mas entenderíamos mal a epistemologia bachelardiana se assumíssemos que ela considera a síntese histórica da ciência, onde os historiadores, para dar consistência aos dados e fatos históricos, declaram que a descoberta estava no ar. Bachelard (1965) expressa que "as sínteses científicas são sínteses transformadoras". Na verdade, a óptica física de Fresnel substituiu completamente a óptica física de Newton quando Louis de Broglie propôs uma nova ciência que combinava certas hipóteses newtonianas com certas hipóteses de Fresnel para estudar o comportamento de partículas que não se encaixavam nas teorias de Fresnel ou Newton.

Qualquer pedagogia de tal doutrina é necessariamente um exercício de transformação do conhecimento. A mente só pode aprender aqui transformando-se. Para compreender o significado da mecânica ondulatória, para colocar o problema em toda a sua magnitude e para apreciar os valores da reorganização racional da experiência que estão envolvidos nesta nova doutrina, é necessário percorrer um longo preâmbulo histórico (BACHELARD, 1965, p. 22).

Segundo Bachelard (1965), a ciência moderna e o pensamento avançam apesar das barreiras, pois "o pensamento científico contemporâneo está ligado a um realismo transplantado" (p. 17). As novas raízes da objetividade não estão no que podemos ver ou tocar,

mas transcendem a experiência da microfísica, através do noumeno. Portanto, para explicar a mecânica ondulatória, os professores não podem se basear em experiências imediatas.

Isso mostra que a síntese científica é transformadora. Antes dessa associação, Einstein percebeu a necessidade de definir um quantum de radiação, o fóton, para explicar os fenômenos fotoelétricos. No entanto, a síntese das hipóteses corpusculares e ondulatórias não foi amplamente considerada. Não houve razão histórica que impulsionasse a ciência nessa direção. Foi apenas uma espécie de aspiração estética, onde os trabalhos de De Broglie ampliaram o debate ao propor aplicar temas ondulatórios à matéria.

Em adição, ao analisarmos o processo de ensino-aprendizagem da óptica na formação de professores, ficou evidente a importância de superar obstáculos epistemológicos que podem surgir no caminho dos estudantes. A incorporação das teorias bachelardianas na formação de professores de física representa uma oportunidade valiosa para promover uma abordagem mais crítica e reflexiva sobre o conhecimento científico. Ao enfatizar a ruptura epistemológica e a superação de obstáculos, os futuros educadores são convidados a questionar concepções tradicionais e a construir um pensamento científico mais sólido.

Visto desta forma, uma das conclusões notáveis é a persistência dos obstáculos epistemológicos no entendimento dos conceitos de física, especialmente na óptica, mesmo diante de estratégias inovadoras e propostas didáticas. A história da ciência e a filosofia de Bachelard desempenham um papel significativo na abordagem desses desafios. Além disso, o estudo revelou uma crescente conscientização sobre a importância de integrar a natureza da ciência nas práticas de ensino, reconhecendo a influência da epistemologia bachelardiana nesse contexto.

De igual forma, a formação dos professores deve contemplar não apenas os conteúdos científicos em si, mas também as implicações filosóficas e históricas das teorias físicas. A partir dessa expectativa, os docentes serão capazes de apresentar aos seus alunos uma visão mais ampla e contextualizada da ciência, estimulando o pensamento crítico e a compreensão das fronteiras do conhecimento.

Ainda que tanto estudantes quanto professores compreendem o valor da história da óptica e do desenvolvimento da disciplina como eixo importante na construção do conhecimento em física moderna e contemporânea, tanto a história como a própria óptica são vistas como um apêndice e não é valorado o seu valor intrínseco que destaca conexões significativas e a superação de obstáculos epistemológicos para a formação docente.

Enfatizamos assim, que na formação dos professores, o programa curricular é parte fundamental porque, tal como foi fundamentado, irá nortear as ações docentes durante a formação continuada e o desempenho profissional. Ao mesmo tempo, pôde-se determinar que os conhecimentos dos professores não advêm apenas da formação inicial, existe uma outra série de saberes que também são muitos importantes e que afeta suas ações ao propor seus planejamentos, seu ensino e avaliação como parte integrante do processo de aprendizagem.

Destacamos que não se encontrou nos programas das disciplinas analisadas elementos que evidenciem explicitamente a relação entre os conteúdos da óptica e da física moderna, que ainda é um conhecimento em construção, e que a primeira forma uma ponte para a construção de uma compreensão mais robusta. As evidências no currículo mostram que ainda que os professores e estudantes considerem a história da óptica e da física em geral como parte importante no processo formativo do professor, o currículo e a mesma prática docente assumem a história da ciência como um apêndice dos conteúdos “científicos”.

Do mesmo modo, consideramos que os professores e alunos da Licenciatura de Física compreendem a relação entre a física moderna e contemporânea, porém, não é um objetivo posto fazer uma ligação explícita dessa afinidade.

Neste sentido, constatou-se que os programas curriculares das disciplinas analisadas do curso de Licenciatura de Física da UFU precisam incluir de forma explícita a relação entre os conteúdos da óptica e da física moderna reconhecendo essa conexão para uma compreensão mais atualizada dos conceitos. À medida que examinamos as contribuições da óptica para o avanço da física moderna e contemporânea, e também analisamos as características da abordagem dos conteúdos de óptica no currículo de formação de professores, ficou evidente que o programa curricular desempenha um papel importante na formação dos docentes. Conforme estabelecido anteriormente, ele não apenas orienta a formação inicial, mas também molda as práticas pedagógicas contínuas.

Os elementos da história da ciência são fundamentais na preparação dos currículos dos licenciados, pois os ajuda a identificar peças-chaves na construção do conhecimento científico e na formação do espírito científico, superando obstáculos epistemológicos, que lhes permitirá considerar as ideias prévias dos alunos para o seu planejamento, a fim de abordar o ensino a partir de uma perspectiva que evidencie o caráter dialético das ideias da física.

No entanto, também notamos a necessidade de estudos mais aprofundados e da disseminação dessas abordagens para promover uma educação em ciências mais eficaz. Este

panorama diversificado de pesquisas enfatiza a importância contínua de explorar novas perspectivas e estratégias para aprimorar o ensino da óptica e, por extensão, da física moderna, contribuindo para uma educação científica mais sólida e informada.

Como se pode inferir dos artigos analisados, a diversidade das pesquisas enfoca a teoria da cor, referindo-se à teoria newtoniana e à refração da luz; a interferência é tratada em apenas uma das produções e os demais fenômenos ópticos, como a polarização e a dispersão não são trabalhados que pode se referir a vários fatores que incluem a dificuldade conceitual e complexidade de modelos matemáticos para o seu tratamento. O tema de difração e caráter dual da luz quando é estudado, justifica-se pela influência do experimento de Young na história e sua vigência na atualidade.

A expansão da revisão documental em diferentes índices permitiram localizar a pesquisa nestes assuntos, conhecer o estado da arte e algumas possíveis soluções que permitam ampliar a investigação destes conteúdos relativos à óptica física e aos modelos onda-partícula da luz, usando as teorias bachelardianas como referência para o planejamento de ações que visem na construção do conhecimento levando em conta obstáculos epistemológicos e os aspectos históricos dos conteúdos de óptica, tanto como uma disciplina quanto como ciência que estuda a luz e suas propriedades, pois foi evidenciada a importância da história da ciência no processo de formação de professores de física.

Os livros didáticos sugeridos nos programas das disciplinas são adequados para o ensino de óptica e física moderna, porém, às vezes permitem que ideias preliminares dos alunos perdurem, ao invés de serem retificadas durante o estudo da óptica; sobretudo aqueles que não são específicos da área da óptica, principalmente pela apresentação de modelos de propagação – retilínea e ondulatória – da luz, enquanto que para o ensino deste tópico é utilizado um modelo que historicamente sofreu resistência para se impor, negando a possibilidade de analisar as retificações dos erros cometidos por cientistas para a explicação e reformulação das teorias.

Consideramos que os pontos abordados neste trabalho são de destacada relevância no processo educativo de formação de professores, e que se trata de uma análise que precisa ser aprofundada, para a qual sugerimos que sejam propostas novas formas de abordagem para encontrar e planificar estratégias de ensino que favoreçam a superação de obstáculos epistemológicos, com alunos formados para atender as demandas dos tempos contemporâneos, que estejam abertos às mudanças e que reconheçam a importância de desenvolver seu sentido crítico e racional, por meio da transformação de si e seu entorno.

Em última análise, este estudo ressalta a necessidade premente de uma abordagem mais integrada e consciente no ensino da óptica e da física moderna. A interconexão entre esses campos e sua relação com o desenvolvimento da ciência não podem ser subestimadas. Como educadores e formadores de futuros professores de física, é nossa responsabilidade não apenas proporcionar a (re) construção de conhecimentos, mas também imprimir uma apreciação profunda da história e da filosofia subjacentes a esses campos. Ao fazê-lo, estamos capacitando nossos estudantes a se tornarem professores mais eficazes, capazes de inspirar uma nova geração de cientistas. Além disso, estamos contribuindo para um entendimento mais profundo e completo da física moderna e contemporânea, promovendo uma educação em ciências que vai além dos fatos e números, e abraça a natureza dinâmica e evolutiva do conhecimento científico.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, B. M. B de. **Um conto, um quantum: Investigação do potencial de séries de narrativas discretas para a introdução de tópicos da Teoria Quântica em sala de aula.** 2020. 270p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) Universidade Federal do ABC, Santo André, 2020.
- ALMEIDA, P. C. A; BIAJONE, J. Saberes docentes e formação inicial de professores: implicações e desafios para as propostas de formação. **Educação & Pesquisa**, v.33, n. 2, p. 281-295, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1517-97022007000200007>
- ALMEIDA, T. S. **Aventuras e estratégias da razão: sobre a história epistemológica das ciências.** 2011. 143p. Dissertação (Mestrado em História Social). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- ANDREOU C.; RAFTOPOULOS A. Lessons from the History of the Concept of the Ray for Teaching Geometrical Optics. **Science & Education**. DOI 10.1007/s11191-010-9302-7, 2011
- ASTOLFI, J. P. **El “error” un medio para enseñar.** España. Diada Editorial. 1ed. 1999
- ASTOLFI, J. P. **El “error” un medio para enseñar.** Sevilla. Diada Editora. 2º ed. 2003
- ASTOLFI, J. P. El trabajo didáctico de los obstáculos en el corazón de los aprendizajes científicos. **Enseñanza de las Ciencias**, 12 (2), 206-216, 1994. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4442>
- ATCHISON, D. A.; CHARMAN, W. N. Thomas Young’s contribution to visual optics: The Bakerian lecture “On the mechanism of the eye. **Journal of Vision**, v. 10(12), n. 16, p. 1–16. 2010. <https://doi.org/10.1167/10.12.16>
- AUSUBEL, D. P; NOVAK, J. D; HANESIAN, H. **Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo.** 2. ed. México: Trillas, 1983. 623 p.
- BACHELARD, G. **O Novo Espírito Científico.** Paris: Les Presses Universitaires de France, Cortes Editora: Edições 70, 1988.
- BACHELARD, G. **A atividade racionalista da física contemporânea.** Paris: Les Presses Universitaires de France, 2da. ed. 1965.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico:** contribuição para uma psicoanálise do conhecimento. Rio de Janeiro. Contraponto, 1996

BACHELARD, G. **La filosofía del no**. Buenos Aires: Amorrortu, 2003

BARBOSA, E. Gaston Bachelard: “O Novo Espírito Científico”. **IDEAÇÃO**, Feira de Santana, n.25. v.1, p.81-90, jul/dez. 2011. <https://doi.org/10.13102/ideac.v1i25.1335>

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BARROS BRITO M. A. R de; LUCENA I. C. R. de; VIEIRA E. P. da P. Avaliação e pressupostos bachelardianos: tecendo relações para a formação docente em Ciências e Matemática. **Amazônia Rev. de Educ. em Ciências e Matemáticas**, v.16, n. 36, p. 181-189, 2020. <https://doi.org/10.18542/amazrecm.v16i36.7308>

BARROS M. A.; CARVALHO A. M. P. de. A história da ciência iluminando o ensino de visão. **Revista Ciência & Educação**, v. 5, n. 1, p. 83–94, 1998. <https://doi.org/10.1590/S1516-73131998000100008>

BASSALO, J. M. F. A crônica da ótica clássica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física. Florianópolis**. Vol. 3, n 3, p. 138-159, 1986

BASSALO, J. M. F. A crônica da ótica clássica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física. Florianópolis**. Vol. 4, n 3, p. 140-150, 1987

BASSALO, J. M. F. **Nascimento da física**. Belém: EDUFPA. 1996

BELÉNDEZ, A PASCUAL, I., ROSADO, L. La enseñanza de los modelos sobre la naturaleza de la luz. **Enseñanza de las Ciencias**, v.7 n. 3. p., 271-275. 1989. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5044>

BENDER A. G. De Bachelard a Canghilem a Badiou: Notas de investigación. **Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales**. ano LVII, n. 215, mai. - ago. 2012

BLANCO, A. Relaciones entre la educación científica y la divulgación de la Ciencia. **Eureka sobre la enseñanza y divulgación de las ciencias**. Vol, 1, n, 2, p.70-86, 2004. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2004.v1.i2.01

BONIEK V. da C.S. Discutindo Modelos de Visão Utilizando a História da Ciência. **Holos**, v. 3, ano 25, 2009. <https://doi.org/10.15628/holos.2009.277>

BRASIL. Parecer CNE/CP N°: 2/2019. **Diretrizes Curriculares Nacionais** para a Formação Inicial de Professores para a Educação Básica e Base Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica (BNC-Formação). Diário Oficial da União, 2019. Brasília, DF. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=133091-ppc022-19-3&category_slug=dezembro-2019-pdf&Itemid=30192> Acesso em: 01 ago. 2021.

BRAVO S, PESA M. Evaluación del aprendizaje de interferencia y difracción de la luz en el Laboratorio de Física. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 21, n. 2, pp. 68-104, 2016 <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2016v21n2p68>

BRAVO S.; PESA M. El fenómeno de la difracción en la historia de la óptica y en los libros de texto: reflexiones sobre sus dificultades de aprendizaje. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 20, n. 2, pp. 76-102, 2015. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2016v20n2p76>

BULCÃO. M. **O racionalismo da ciência contemporânea: introdução ao pensamento de Gaston Bachelard**. Rio de Janeiro: Edições Antares, 1981.

CANGUILHEM, G. Gaston Bachelard. Tradução de Maria Luisa Jaramillo. p. 5-19, s/f

CARDOSO, A. A.; PINO, M. A. B.; DORNELES, C. L. Os saberes profissionais dos professores na perspectiva de Tardif e Gauthier: Contribuições para o campo de pesquisa sobre os saberes docentes no Brasil. **IX Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul**, 2012.

CARUSO, F. O Universo da Luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 42, e20200250, 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2020-0250>

CARUSO. F., OGURI. V. A estranha teoria quântica da luz. **Ciência e Sociedade, CBPF**, v.4, n. 2, p. 12-17, 2016. <https://doi.org/10.7437/CS2317-4595/2016.04.005>

COELHO A. L. M. de B. O projeto “Óptica com Ciência”: da concepção à derradeira avaliação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 39, n. 1, p. 174-203, 2022. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2022.e76115>

COLOMBO J. P. D. A percepção da gravidade em um espaço fisicamente modificado: uma **análise à luz de Gaston Bachelard**. 2010. 168p. Dissertação (Mestrado em educação em Ciências) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010

CROCHIK, L. **Educação e Ciência como Arte: Aventuras docentes em busca de uma experiência estética do espaço e tempo físicos**. 2013. 368p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

DA PAZ. A. M. **Atividades Experimentais e Informatizadas: Contribuições para o Ensino de Eletromagnetismo**. 2007. 228p. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007.

DE MELO A. C. S. **Contribuições da Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução dos Conceitos da Óptica**. 2005. 198p. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

DE MELO A. C. S. **Transposição Didática do Modelo de Huygens: uma proposta para a física escolar**. 2010. 164p. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (Eds.). **O planejamento da pesquisa qualitativa: teorias e abordagens**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

DIOGO, R. C. **A Aprendizagem de ondas sonoras sob a Ótica de desafios em um ambiente virtual potencialmente significativo**. 2008. 297p. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande 2008.

FARIAS, M. C. P.; TELICHEVESKY, S. C. L. A evolução do conteúdo de óptica nos livros didáticos de ciências nas perspectivas do programa nacional do livro didático (PNLD). **Revista Ciências & Ideias**, v.8, n. 1, p. 118-135, 2017. <https://doi.org/10.22407/2176-1477.2017v8i1.647>

FERRARINI, C. F. O.; BEGO, M. A. Perspectivas de modelos formativos com enfoques construtivistas para formação de professores de ciências segundo as concepções de Rafael Porlán e colaboradores. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 24, n. 1, p. 22-44, 2019. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2019v24n1p22>

FILHO, J. B. B. Os Problemas Epistemológicos da Realidade, da Compreensibilidade e da Causalidade na Teoria Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, Junho, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442003000200002>

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GALILI I.; HAZAN A. Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. **International Journal of Science Education**, 2000. <https://doi.org/10.1080/095006900290000>

GIACOSA N; GALEANO R.; ZANG C., MAIDANA J.; SUCH A. Experimento de la doble rendija de Young: análisis de libros de texto universitarios. **Revista de Enseñanza de la Física**. v. 31, No. Extra, nov. p. 349–357, 2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GIL, J. **Preconcepciones y Errores Conceptuales en Óptica**: propuesta y validación de un modelo de enseñanza basado en la teoría de elaboración de Reigeluth y Stein. Tese de Doutorado, Universidade de Extremadura, Badajoz, 2003.

GIL, P. D. ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? (Intento de síntesis de las aportaciones de la investigación didáctica). **Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 1. p. 69-77, 1991. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4687>

GIL, S. Nuevas Tecnologías en la Enseñanza de la Física. **Educación en Ciencias**. v.2, n.34, 1997

GIRCOREANO J. P.; PACCA J. L. de A. O ensino da óptica na perspectiva de compreender a luz e a visão. **Cad. Cat. Ens. Fís.** v. 18, n.1: p. 26-40, abr. 2001.

GONÇALVES, F. da C. **Tendências epistemológicas e elementos da cultura científica: análise qualitativa e proposta de sequência didática para introdução a scientific culture**. 2019. 170p. Dissertação (Mestrado em Projetos Educacionais em Ciências). Universidade de São Paulo, Lorena, 2019

GREGG V R. et al. The persistence of a misconception about vision after educational interventions. **Psychonomic Bulletin & Review**. v. 8 n. 3, p. 622-626, 2001. <https://doi.org/10.3758/BF03196199>

HALLIDAY, RESNICK, WALKER. **Fundamentos de Física: óptica e física moderna**. Vol. 4. Rio de Janeiro, LTC, 2009

HARRES J. B. S. Um teste para detectar concepções alternativas sobre Tópicos introdutórios de ótica geométrica. **Cad. Cat. Ens. Fis**, v. 10, n.3: p.220-234, dez.1993.

HECHT, E. **Óptica**. Lisboa. Addison Wesley Longman, 2002.

HECHT, E. **Óptica**. Lisboa. Addison Wesley Longman, 1998.

HENDGES A.P. B.; SANTOS. R. A. dos. Obstáculos epistemológicos em livros didáticos de Física: o gênero na Ciência-Tecnologia. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 39, n. 2, 584 p. 584-611, ago. 2022. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2022.e85678>

JOHN H. The development of attitudes to the wave-particle duality of light and quantum theory, 1900–1920. **ANNALS OF SCIENCE**, 1980

KAPITANGO-A-SAMBA, K. K. **História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências Naturais: o consenso e as perspectivas a partir de documentos oficiais, pesquisas e visões dos formadores**. 2011. 384p. Tese (Doutorado em Educação) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

KHVILON, E. et al. Las tecnologías de la Información y Comunicación en la Formación Docente: guía de planificación. División de Educación Superior **UNESCO**, 2004.

KOEPE. C. H. B. **Formando Espíritos Científicos: Epistemologia Bachelardiana aplicada ao ensino de ciências na Educação Básica de Florianópolis – SC. 2020**. 225p. Tese (Doutorado em Educação em Ciências) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2020.

KOEPPE, C. H. B.; RIBEIRO, M. E. M.; CALABRÓ, L. Panorama das pesquisas acadêmicas brasileiras sobre o pensamento bachelardiano no ensino em matemática e ciências. **ACTIO, Curitiba** v. 5, n. 3, p. 1-24, set. /dez. 2020. <https://doi.org/10.3895/actio.v5n3.11511>

KUIAVA, E. A.; RÉGNIER J.C. **Bachelard e a educação: por uma pedagogia científica. IX ANPED SUL 2012** -Seminário de pesquisa em educação, jul. 2012, Caxias do Sul, Brasil

LANDSBERG, G. **Óptica I**. Moscú. Editorial MIR, 1976.

LIBÂNEO, J. C. **Didática**. São Paulo: Cortez, 1994.

LIMA N.; CAVALCANTI C.; OSTERMANN F. Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 43, e20200270, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2020-0270>

LINO, A. **Inserção de física moderna e contemporânea no ensino médio: a ligação entre teorias clássicas e modernas sob a perspectiva da aprendizagem significativa**. 2010. 176p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino De Ciências). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010

LISBÔA, R. A.M. de PESSOA JR, O.F. Concepções sobre verdade na ciência: visões filosóficas de professores de física do ensino superior. **Revista de Enseñanza de la Física**. v. 27, n. Extra, nov. p. 45-52, 2015.

LOPES, A. R. C. Bachelard: o filósofo da desilusão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v. 13, nº 3, p. 248-273, dez, 1996.

MACÊDO A. DE A.; ALVES F. R. V.; BARROSO M. C. DA S. Uma análise das categorias da história e filosofia das ciências nos periódicos de ensino de ciências. **REnCiMa, São Paulo**, v. 11, n. 6, p. 741-760, out. /dez. 2020. <https://doi.org/10.26843/rencima.v11i6.1567>

MARÍN, N. **Fundamentos de Didáctica de las Ciencias Experimentales**. España: Universidad de Almería, 1997.

MARTÍNEZ V. J. Bachelard, Popper y el compromiso Racionalista de la Ciencia. **CONVIVIUM**, n. 3, p. 75, 1992.

MARTINS, R.L.C.; VERDEAUX, M. F.S.; SOUSA, C.M.S. G. A utilização de diagramas conceituais no ensino de física em nível médio: um estudo em conteúdos de ondulatória, acústica e óptica. In: **Revista Brasileira de Ensino de Física**, V. 31, N. 3, p. 3401.1-3401.12, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172009005000002>

MARTINS. A. F. P. **O ensino do conceito de tempo: contribuições históricas e Epistemológicas**. 1998. 147p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.

MARZÁBAL A.; MERINO C., ROCHA A. El obstáculo epistemológico como objeto de reflexión para la activación del cambio didáctico en docentes de ciencias en ejercicio. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 9 n.1.pp. 70-83. Jul. 2013. <https://doi.org/10.54343/reiec.v9i1.153>

MASIERO, E. N. **Ciência Em Hipermídia: tramas digitais na produção do conhecimento**. 2011. 166p. Dissertação (Mestrado Ciências da Comunicação). Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011

MASSONI N.T., MOREIRA, M.A. Uma análise cruzada de três estudos de caso com professores de física: a influência de concepções sobre a natureza da ciência nas práticas didáticas **Ciênc. Educ., Bauru**, v. 20, n. 3, p. 595-616, 2014. <https://doi.org/10.1590/1516-73132014000300006>

MATERÁN, I.N.; USTRA, S.R.V. Formação de conceitos ópticos no ensino de física: uma revisão da literatura. In: **Anais do XI Encontro Mineiro sobre Investigação na Escola**, Uberlândia, p. 1-6, 2019.

MAYORGA, A. Einstein, De Broglie, Schroedinger (1923-1925). La dualidad onda partícula y el nacimiento de la mecánica ondulatoria. **Tecnología en Marcha**. V. 14, n.1.

MELO, A. C. S.; PEDUZZI, L. O. Q. Contribuições da epistemologia Bachelardiana no estudo da história da óptica. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 1, p. 99-126, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132007000100007>

MENDES R. S; SGUERRA R. G. M. A análise de conteúdo como uma metodologia. **Cadernos de Pesquisa** v.47 n.165 p.1044-1066 jul./set. 2017. <https://doi.org/10.1590/198053143988>

MERLEAU-PONTY, M. **Fenomenologia da percepção**. São Paulo: Martins Fontes, (1999).

MILNITSKY, R. **Epistemologia e Currículo: reflexões sobre a Ciência Contemporânea em busca de um outro olhar para a Física de Partículas Elementares**. 2018. 250p. Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade de São Paulo, São Paulo. 2018

MINAYO, M. C. S. (Org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 33. ed. Petrópolis: Vozes, 2012.

MOREIRA, M.A.; GRECA, I.M. Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales. Porto Alegre: **UFRGS**, 2004.

MORÍN, E. **Introducción al pensamiento complejo**. Barcelona, España: Gedisa, 1990

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

MOURA B. A. Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 111-141, abr. 2016. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n1p111>

MOURA B. A., SILVA C. C. Abordagem multicontextual da história da ciência: uma proposta para o ensino de conteúdos históricos na formação de professores. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 2, p. 336-348, jul | dez 2014. <https://doi.org/10.53727/rbhc.v7i2.676>

MOURA B. A., SILVA C. C. Newton antecipou o conceito de dualidade onda-partícula da luz? **Lat. Am. J. Phy. Educ.** v. 2, n.3, set. 2008

MOURA B. A., SILVA C. C. Voltaire e Algarotti: divulgadores da óptica de Newton na Europa do século XVIII. **Scientiae Studia**, v. 13, n. 2, p. 397-423, 2015 <https://doi.org/10.1590/S1678-31662015000200007>

NUNES, C. M. F. Saberes docentes e formação de professores um breve panorama da pesquisa brasileira. **Educação & Sociedade**, n 74, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0101-73302001000100003>

OLIVEIRA, S. G. de. **A Física Apropriada: Realismo Ingênuo e Obstáculos Epistemológicos**. 2020. 238p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

PACCA, J. L.de A; VILLANI, A. A formação continuada do professor de Física **ESTUDOS AVANÇADOS**. v. 32, n. 94, p. 57-71, 2018. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0005>

PADRÓN, J. Tendencias Epistemológicas de la Investigación Científica en el Siglo XXI. **Cinta de Moebio: Revista de Epistemología de Ciencias Sociales**, 2007.

PEREIRA F.P.C; GURGEL I. A óptica dos corpos em movimento de Fresnel sob a visão do realismo estrutural: ensino de natureza da ciência e as demandas educacionais da contemporaneidade. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 15, n. 2, p.469-490, jul |dez, 2022. <https://doi.org/10.53727/rbhc.v15i2.814>

PEREIRA, J. R. **A física nos anos iniciais: obstáculos verbais em livros didáticos em uma perspectiva bachelandianas**. 2017. 230p. Dissertação (Mestrado Educação em Ciências e Matemáticas. Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

PÉREZ MOGOLLÓN J. F. Una Visión Histórica de la Óptica (Segunda Entrega) **Revista ciencia y tecnología para la salud visual y ocular**, n.7, p. 9-105, jul. 2006

PESA M; CUDMANI L de C. ¿Qué ideas tienen los estudiantes respecto a la visión? **Revista Educación y Pedagogía** v. X, n. 21 mai. /ago.1998

PESA, M; BRAVO S. Formas de Razonamiento asociadas a los sistemas preconceptuales sobre naturaleza y propagación de la luz: resultados de una experiencia piloto. **Cad. Cat. Ens. Fis.** v.12, n.1: p.7-16, abr.1995.

PESSANHA, M. C. R. **Estrutura da matéria na educação secundária: obstáculos de aprendizagem e o uso de simulações computacionais**. 2013. 231p. Tese (Doutorado em Ciências) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

PESSOA JR. O. A classificação das diferentes posições em filosofia da ciência. **Revista Eletrônica de Filosofia**, São Paulo, v. 6, n. 1, jan. /jun. p. 054-060, 2009.

PESSOA JR. O. Introdução histórica à teoria quântica, aos seus problemas de fundamento e às suas interpretações. **Caderno de Física da UEFS** v.04, n. 01 e 02 p. 89-114, 2006.

POLANCO, Y La epistemología de la complejidad como recurso para la educación. **Revista Ciencias de la Educación**, Año 6, Vol. 1n. 27, p. 179-188, 2006

PORLÁN, R. et al. El cambio del profesorado de ciencias I: marco teórico y formativo. **Enseñanza de las Ciencias**, Vol. 28, n. 1, p. 31-46, 2010. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3619>

PORTO. C da S. **Espectroscopia: Enfrentando Obstáculos e Promovendo Rupturas na Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**. 2011. 112p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino De Ciências) Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2011.

POZO, J; GÓMEZ, M. **Aprender y Enseñar Ciencia**. Madrid: Morata, 2000.

QUINTANA; A.; MONTGOMERY, W. Metodología de Investigación Científica Cualitativa. **Psicología: Tópicos De Actualidad**, p.47-84. 2006.

RAMOS, T. A. Introdução à Mecânica dos “Quanta”. Parte I. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 25, no. 3, p. 326-332. Setembro, 2003
<https://doi.org/10.1590/S1806-11172003000300010>

REIS J.M.C dos; KIOURANIS, N. M. N; SILVEIRA M.P da. Um Olhar para o Conceito de Átomo: Contribuições da Epistemologia de Bachelard **ALEXANDRIA: Revista Educ. Ciência e Tecnologia, Florianópolis**, v. 10, n. 1, p. 3-26, mai. 2017. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2017v10n1p3>

REZENDE, T. L. de S. **Objetos educacionais virtuais em livros didáticos de física: limites e Potencialidades**. 2019. 145p. Tese (Doutorado em Educação). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

RIBEIRO A.; LOPES C. Bachelard: O Filósofo da Desilusão. **Cad. Cat. Ens. Fis.**, v.13, n. 3: p.248-273, dez.1996.

RIBEIRO N. C. da S. **Potencialidades E Limitações de Laboratórios Remotos: um estudo a partir de Bachelard**. 2018. 93p. Dissertação (Mestrado Educação em Ciências. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018.

RIVEROS, H; JIMÉNEZ, E; RIVEROS D. **Cómo mejorar mi clase de Física: nivel medio superior**. México: Trillas. 2004

RODRIGUES M.; MARTINS A.; BUFFON D. A História da Ciência no currículo de Física do Ensino Médio. **ACTIO, Curitiba**, v. 2, n. 1, p. 420-437, jan. /jul. 2017.

ROSA J. E. B. da; RAMOS E da S. B.; KALHIL., J. D. B. Referenciais Epistemológicos das Pesquisas sobre Saberes Docentes dos Professores de Física. **Revista REAMEC**, v. 7, n. 2, jul. /Dez, 2019. <https://doi.org/10.26571/REAMEC.a2019.v7.n2.p62-90.i8557>

ROSA, C. A. de P.; **História da Ciência O pensamento científico e a ciência no século XIX**. Vol. II 2º ed. FUNAG Brasília: 2012.

ROSSI, B. (1966). **Fundamentos de óptica**. Espanha: Reverté.

RUIZ-MENDOZA, J. C; RAMÍREZ-DÍAZ, M. H. Vinculo de la teoría con la práctica para la comprensión de la Óptica Geométrica en el Nivel Superior en las escuelas de Ingeniería de la UANL a partir del Modelo por Competencias. **Cad. Brasileiro de Ens. de Fís.** v. 32, n. 2, p. 498-516, ago. 2015. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n2p498>

SANTANA, E. R. **Relatos dos professores de ciências sobre a natureza da ciência e sua relação com a história e a filosofia da ciência**. 2008. 171p. Dissertação (Mestrado Ensino de Ciências e Matemática). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. .

SANTOS A. M. F. dos; ALVIM M. H. Estudo sobre a formação das cores na óptica: possibilidades a partir das Fontes Documentais Históricas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 39, n. 3, p.798-827, dez. 2022. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2022.e86515>

- SANTOS, C. A. B. DOS; CURI, E. A Formação dos Professores que Ensinam Física no Ensino Médio. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 4, p. 837-849, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132012000400007>
- SEGURA A.; NIETO V.; SEGURA E. Un análisis profundo del fenómeno dualidad onda partícula para la comprensión del mundo cuántico. **Lat. Am. J. Phys. Educ.** Vol. 6, No. 1, 2012.
- SILVA B.V DA C.; MARTINS A. F. P. O conhecimento pedagógico do conteúdo referente ao tema Natureza da Ciência na formação inicial de professores de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 735-768, dez. 2019. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n3p735>
- SILVA C. C., MOURA B. A., A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 1, p. 1602. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442008000100016>
- SILVA F.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. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172007000100021>
- SILVA, B. V. DA C.; MARTINS A. F. P. A natureza da luz e o ensino da óptica: uma experiência didática envolvendo o uso da história e da filosofia da ciência no ensino Médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.5, n.2. p. 71-91, 2010
- SILVA, C.C.; MARTINS, R.A. A teoria das cores de newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. In: **Ciência & Educação**, V. 9, N. 1, p. 53-65, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132003000100005>
- SILVA, F.W.O. A teoria da luz de Newton nos textos de Young. In: **Revista Brasileira de Ensino de Física**, V. 31, N. 1, p. 1601.1-1601, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172009000100010>
- SILVA, J. K. L DA S. **Uma proposta de ensino de tópicos de mecânica quântica sob a ótica de Bachelard**. 2015. 142p. Dissertação (Mestrado Ensino de Ciências) Universidade Federal Do Pampa, Itajubá, 2015.
- SIQUEIRA, M. R. da P. **Professores de física em contexto de inovação curricular: saberes docentes e superação de obstáculos didáticos no ensino de física moderna e contemporânea**. 2012. 202p. Tese (Doutorado em educação) Universidade federal de São Paulo, São Paulo. 2012.
- SOLÍS, E.; PORLÁN, R. Las concepciones del profesorado de Ciencias de Secundaria en Formación Inicial ¿Obstáculo o punto de partida? **Investigación en la Escuela**, n. 49, p. 5-22, 2003.
- SOLÍS, E.; PORLÁN, R.; RIVERO, A. ¿Cómo representar el Conocimiento Curricular de los profesores de Ciencias y su evolución? **Enseñanza de las Ciencias**, 30 (3), p. 9-30, 2012. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v30n3.676>

- SORPRESO T. P.; ALMEIDA, M. J. P. M. de. Discursos de licenciandos em física sobre a questão nuclear no ensino médio: Foco na abordagem histórica. **Ciência & Educação**, v. 16, n. 1, p. 37-60, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132010000100003>
- SOUZA FILHO, M. P. de. **O erro em sala de aula: subsídios para o ensino do Eletromagnetismo**. 2009. 230p. Tese (Doutorado em educação em Ciências). Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2009.
- SOUZA L.A., SILVA L. DA, HUGUENIN J.A.O., BALTHAZAR W.F. Discutindo a natureza ondulatória da luz e o modelo da óptica geométrica através de uma atividade experimental de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 37, n. 4, p. 4311. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173742013>
- SOUZA P. F. de; FERRARI P. C.; QUEIROZ., J. R. DE O. História Recorrente e o Caráter Provisório da Ciência no Ensino da Natureza da Luz. **Acta Scientiae**, v. 20, n. 4, p. 648-669, 2018
- SOUZA, P. F. L. et al. Pensamento transdisciplinar: uma abordagem para compreensão do princípio da dualidade da luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 2402, abr. 2010. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172010000200011>
- SOUZA, P. H. de. **Epistemologia e cultura no ensino de física: desvelando os conceitos de tempo e espaço**. 2014. 377p. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências. São Paulo, 2014.
- SOUZA, P. H. de. **Tempo, Ciência, História e Educação: Um Diálogo entre a Cultura e o Perfil Epistemológico**. 2008, 237p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008
- STRAUSS, A.; CORBIN, J. **Pesquisa qualitativa: técnicas e procedimentos para o desenvolvimento de teoria fundamentada**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.
- SUART J. J. B. **A dialética do conhecimento científico, a prática e a experimentação: uma análise do ideário de licenciandos e sua relação com a epistemologia da ciência moderna**. 2010. 228 p. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciência) Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2010
- TARDID, M. **Saberes docentes e formação profissional**, Editora Vozes, 2012.
- TARDIF, M.; LESSARD, C.; LAHAYE, L. **Os professores face ao saber: esboço de uma problemática do saber docente**. Teoria & Educação, Porto Alegre, n. 4, p. 215-233, 1991.
- THIBES, R. **Álgebra linear e mecânica quântica**, 2010. Disponível em: http://www.mat.ufpb.br/bienalsbm/arquivos/Mini_Cursos_Completos/MC18Completo.pdf . Acesso em: abril. 2023.
- UFU. **Projeto Pedagógico do Curso de Graduação em Física**, Grau Licenciatura. UFU, Instituto de Física, 2018. Disponível em:

http://www.novo.infis.ufu.br/system/files/conteudo/projeto_reformulacao_curricular_fisica_li_cenciatura_compressed.pdf. Acesso em 10 jul 2021.

USTRA. S. R.V; GELAMO. E. L. O professor e o seu conhecimento prático profissional em um programa brasileiro de iniciação à docência em Física. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias** v. 15, n. 3, p. 501-515, 2016

VALDÉS, P.; VALDÉS, R. Características del proceso de enseñanza aprendizaje de la Física en las condiciones contemporáneas. **Enseñanza de las Ciencias**, Vol. 17, n. 3, p. 521-531, 1999.

VELANES D; ROCHA.G K. da. Bachelard e sua interpretação filosófica da Teoria da relatividade. **SOFIA**, v.9, n.1, p. 220-237, jan. /jul. 2020.
<https://doi.org/10.47456/sofia.v9i1.27373>

VILAS BÔAS C. S. do N. **A epistemologia de Bachelard e a aprendizagem do conceito de ressonância em tubos sonoros**. 2020. 203p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2020

VILLAMIL MENDOZA, L. E. La noción de obstáculo epistemológico en Gastón Bachelard. **Espéculo. Revista de estudios literarios**. UCM, 2008

VITAL A.; GUERRA A. Textos para ensinar física: princípios historiográficos observados na inserção da história da ciência no ensino. **Ciênc. Educ., Bauru**, v. 22, n. 2, p. 351-370, 2016.

WERNER H. A doutrina goethiana e newtoniana das cores à luz da física moderna **Scientiæ 'studia**. São Paulo, v. 13, n. 1, p. 207-21, 2015

WINER G. A.; COTTRELL J. E. Fundamentally Misunderstanding Visual Perception Adults' Belief in Visual Emissions. **American Psychologist**, 2001. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.57.6-7.417>

ZANOTELLO M.; CAMARGO L. Uma Análise da Constituição de Saberes Relativos ao Ensino de Física Quântica em um Curso de Licenciatura. **Ciência & Educação, Bauru**, v. 26, e20006, 2020. <https://doi.org/10.1590/1516-731320200006>

ZILIO, Sérgio Carlos. Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada –CEPA. e-física. Ensino de Física On-line. Disponível em: <http://efisica.if.usp.br/>>. Acesso em: 07 de set. 2021.

APÊNDICES

QUESTIONÁRIO/ESTUDANTE

Prezado (a) estudante

Este questionário é um instrumento de coleta de dados da pesquisa “Aportes da Óptica para a Aprendizagem da Física Moderna e Contemporânea na Formação do Professor de Física”. Nosso objetivo é analisar as características das contribuições da óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea na formação de professores de física. Dessa forma, poderemos contribuir para uma reflexão sobre os processos formativos vivenciados no curso de física da UFU, relativamente às contribuições dos conteúdos de óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea.

Garantimos a preservação do sigilo quanto à sua identidade, conforme o Termo de Consentimento Livre e esclarecido.

Agradecemos pela sua colaboração.

1. Em que ano ingressou no curso de licenciatura em Física?
2. Que disciplinas você cursou em que foram abordados conteúdos de óptica?
3. Quais foram os conteúdos abordados?
4. Como estes conteúdos foram desenvolvidos/ministrados na(s) disciplina(s)?
5. Você lembra de alguma atividade experimental (de laboratório ou prática, mesmo em sala de aula) desenvolvida na abordagem destes conteúdos de óptica? Quais?
6. Que dificuldades você encontrou na aprendizagem dos conteúdos de óptica?
7. Como estes conteúdos de óptica se relacionam com conteúdos de física moderna e contemporânea?
8. Que importância você atribui aos conteúdos de óptica na sua formação enquanto professor de física?
9. Que importância você atribui aos conteúdos de óptica na sua formação geral?
10. Como você compreende a natureza ondulatória-corpúscular da luz?

ROTEIRO PARA ENTREVISTA/ESTUDANTE

Prezado (a) estudante

Esta entrevista é um instrumento de coleta de dados da pesquisa “Aportes da Óptica para a aprendizagem da Física Moderna e Contemporânea na Formação do Professor de Física”. Nosso objetivo é analisar as características das contribuições da óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea na formação de professores de física. Dessa forma, poderemos contribuir para uma reflexão sobre os processos formativos vivenciados no curso de física da UFU, relativamente às contribuições dos conteúdos de óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea.

Garantimos a preservação do sigilo quanto à sua identidade, conforme o Termo de Consentimento Livre e esclarecido.

Agradecemos pela sua colaboração.

1. Que dificuldades você encontrou na aprendizagem dos conteúdos de óptica? Que causas você atribuiria a essas dificuldades?
2. Como estes conteúdos de óptica se relacionam com conteúdos de física moderna e contemporânea?
3. Que eventos na história da óptica você considera como picos para o desenvolvimento posterior da física moderna
4. Como você avalia a importância da matematização na compreensão dos conteúdos de óptica?
5. Que importância você atribui aos conteúdos de óptica na sua formação enquanto professor de física?
6. Que importância você atribui aos conteúdos de óptica na sua formação geral e para a cultura científica?

QUESTIONÁRIO/PROFESSOR

Prezado (a) professor(a)

Este questionário é um instrumento de coleta de dados da pesquisa “Aportes da Óptica para a aprendizagem da Física Moderna e Contemporânea na Formação do Professor de Física”. Nosso objetivo é analisar as características das contribuições da óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea na formação de professores de física. Dessa forma, poderemos contribuir para uma reflexão sobre os processos formativos vivenciados no curso de física da UFU, relativamente às contribuições dos conteúdos de óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea.

Garantimos a preservação do sigilo quanto à sua identidade, conforme o Termo de Consentimento Livre e esclarecido.

Agradecemos pela sua colaboração.

1. Em que ano ingressou como professor(a) no curso de licenciatura em Física?
2. Que disciplinas você ministra (ou ministrou) em que foram abordados conteúdos de óptica?
3. Quais foram os conteúdos abordados?
4. Como estes conteúdos foram desenvolvidos/ministrados na(s) disciplina(s)?
5. Você desenvolveu alguma atividade experimental (de laboratório ou prática, mesmo em sala de aula) na abordagem destes conteúdos de óptica? Quais?
6. Que dificuldades de aprendizagem dos conteúdos de óptica você percebeu nos estudantes?
7. Como estes conteúdos de óptica se relacionaram com conteúdos de física moderna e contemporânea na(s) disciplina(s) ministrada(s)?
8. Que importância você atribui aos conteúdos de óptica na formação do professor de física?
9. Que importância você atribui aos conteúdos de óptica na sua formação geral dos estudantes?

ROTEIRO PARA ENTREVISTA/PROFESSOR

Prezado(a) professor(a)

Esta entrevista é um instrumento de coleta de dados da pesquisa “Aportes da Óptica para a aprendizagem da Física Moderna e Contemporânea na Formação do Professor de Física”. Nosso objetivo é analisar as características das contribuições da óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea na formação de professores de física. Dessa forma, poderemos contribuir para uma reflexão sobre os processos formativos vivenciados no curso de física da UFU, relativamente às contribuições dos conteúdos de óptica para a aprendizagem da física moderna e contemporânea.

Garantimos a preservação do sigilo quanto à sua identidade, conforme o Termo de Consentimento Livre e esclarecido.

Agradecemos pela sua colaboração.

1. Que dificuldades você identificou na aprendizagem dos conteúdos de óptica pelos estudantes? Que causas você atribuiria a essas dificuldades?
2. Como estes conteúdos de óptica se relacionam com conteúdos de física moderna e contemporânea?
3. Que eventos na história da óptica você considera como picos para o desenvolvimento posterior da física moderna
4. Como você avalia a importância da matematização na compreensão dos conteúdos de óptica?
5. Que importância você atribui aos conteúdos de óptica na formação do professor de física?
6. Que importância você atribui aos conteúdos de óptica na formação geral dos estudantes e para a cultura científica.

EMENTAS DAS DISCIPLINAS DO CURSO DE LICENCIATURA DE FÍSICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

CÓDIGO:	COMPONENTE CURRICULAR: FÍSICA BÁSICA IV	
UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE: INSTITUTO DE FÍSICA		SIGLA: INFIS
CH TOTAL TEÓRICA: 60	CH TOTAL PRÁTICA: 00	CH TOTAL: 60

OBJETIVOS

Compreender a natureza da luz;
Discernir os fenômenos óticos descritos pela ótica geométrica e aqueles descritos pela ótica física. Identificar a luz como uma onda. Discutir impactos ambientais, sociais, tecnológicos relacionados aos conceitos de Óptica.

EMENTA

Ondas eletromagnéticas; Natureza e propagação da luz; Reflexão e refração de ondas em superfícies planas; Reflexão e refração de ondas em superfícies esféricas; Interferência; Difração; Polarização. Discussões sobre a física no cotidiano e seus impactos ambientais, sociais, tecnológicos.

PROGRAMA
1. NATUREZA DA LUZ

- 1.1 Evolução histórica do conceito de luz
- 1.2 Modelos para explicar a natureza da luz
- 1.3 Medidas de velocidade da luz
- 1.4 Percepção da luz pelo homem

2. ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

- 2.1 “O arco-íris de Maxwell”
- 2.2 Geração de uma onda eletromagnética
- 2.3 Onda eletromagnética progressiva
- 2.4 Transporte de energia e vetor de Poynting
- 2.5 Pressão da radiação
- 2.6 Efeito Estufa

3. ÓPTICA GEOMÉTRICA

- 3.1 Reflexão e refração
- 3.2 Reflexão interna total
- 3.3 Espelho plano
- 3.4 Espelhos esféricos
- 3.5 Formação de Imagens
- 3.6 Lentes delgadas
- 3.7 Instrumentos ópticos

4. INTERFERÊNCIA

- 4.2 Comportamento ondulatório da luz
- 4.4 Coerência
- 4.5 Efeitos da interferência na experiência da fenda dupla
- 4.6 Intensidade na experiência de interferência em fenda dupla
- 4.7 Interferência em películas finas
- 4.8 Interferômetro de Michelson

5. DIFRAÇÃO

- 5.1 Difração e a teoria ondulatória da luz
- 5.3 Difração em fenda única
- 5.4 Difração em orifício circular
- 5.5 Difração em fenda dupla
- 5.6 Fendas múltiplas
- 5.7 Redes de difração
- 5.9 Difração de Raios X

6. POLARIZAÇÃO

- 6.1. Polarização, placas polarizadoras, lei de Malus
- 6.2. Polarização por reflexão
- 6.3 Polarização circular

7. LASER

- 7.1 Princípios de funcionamento do Laser
- 7.2 Aplicações: medicina, meio ambiente, indústria, etc.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 11. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

KNIGHT, R. D. **Física: uma abordagem estratégica - termodinâmica e óptica**. 2. ed. Porto Alegre. Bookman, 2009. v. 2.

SERWAY, R. A.; JEWETT JR, J. W. **Princípios de física: óptica e física moderna**. São Paulo: Cengage Learning, 2004. v. 4.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. Lições de física. Porto Alegre: Bookman. 2008. v. 1.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos da Física: óptica e física moderna. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v. 4.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de física básica. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. v.4.

TIPLER, P. A; MOSCA, G. Física para cientistas e engenheiros: eletricidade e magnetismo, óptica. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v. 2.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Sears & Zemansky: física 12. ed. São Paulo: Addison-Wesley, 2008. v.4.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

CÓDIGO:	COMPONENTE CURRICULAR: LABORATORIO DE FÍSICA BÁSICA IV	
UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE: INSTITUTO DE FÍSICA		SIGLA: INFIS
CH TOTAL TEÓRICA: 00	CH TOTAL PRÁTICA: 30	CH TOTAL: 30

OBJETIVOS

Compreender os conceitos de óptica geométrica e óptica física através da experimentação. Verificar a validade dos modelos teóricos, comparando com os resultados experimentais esperados.

EMENTA

Experimentos sobre óptica geométrica e óptica física.

PROGRAMA

1. Reflexão em espelhos
2. Determinação da distância focal de lentes
3. Desvio em prismas
4. Máximos e mínimos de interferência
5. Medida da intensidade da luz na fenda simples
6. Difração em fenda única
7. Difração em fenda dupla
8. Redes de difração
9. Polarização
10. Difração em orifício circular
11. Interferômetro de Michelson
12. Aneis de Newton

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 11. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

KNIGHT, R. D. **Física: uma abordagem estratégica - termodinâmica e óptica**. 2. ed. Porto Alegre. Bookman, 2009. v. 2.

SERWAY, R. A.; JEWETT JR, J. W. **Princípios de física**. São Paulo: Cengage Learning, 2004. v. 4.

VUOLO, J. H. **Fundamentos da teoria de erros**. 2. ed. rev. ampl. São Paulo: Edgard Blucher, 1996.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de física**. Porto Alegre: Bookman. 2008. v.1.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física: óptica e física moderna**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v.4.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. v.4.

TAYLOR, J. R. **Introdução à análise de erros: o estudo de incertezas em medições físicas**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

TIPLER, P. A; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros: eletricidade e magnetismo, óptica**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v.2.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Sears & Zemansky: física**. 12. ed. São Paulo: Addison-Wesley, 2008. 4v.

APROVAÇÃO

____ / ____ / ____

Carimbo e assinatura do Coordenador do
Curso

____ / ____ / ____

Carimbo e assinatura do
Diretor da Unidade

(que oferece o componente curricular)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

CÓDIGO:	COMPONENTE CURRICULAR:	
	INTRODUÇÃO À MECÂNICA QUÂNTICA	
UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE:		SIGLA:
INSTITUTO DE FÍSICA		INFIS
CH TOTAL TEÓRICA:	CH TOTAL PRÁTICA:	CH TOTAL:
60	00	60

OBJETIVOS

Compreender os fatores que provocaram o desenvolvimento da física quântica, no contexto da chamada velha mecânica quântica. Compreender as principais diferenças conceituais entre a física clássica e quântica, e examinar os experimentos que colaboraram para esta ruptura.

Estudar o conceito do quanta sob a perspectiva de Planck e Einstein, os indícios da dualidade onda-partícula, e os modelos atômicos. Compreender as contribuições de Bohr, Einstein, de Broglie, Schrödinger e demais cientistas.

Familiarizar-se com o formalismo de Schrödinger e aplicar a equação de Schrödinger a problemas quânticos unidimensionais de uma única partícula.

EMENTA

Tomar contato com os fatos que levaram à necessidade da criação da física quântica.

Compreender as principais diferenças entre as físicas clássica e quântica.

Tomar contato com o formalismo de Schrödinger.

Aplicar a equação de Schrödinger a problemas quânticos unidimensionais.

PROGRAMA

1. RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO

1.1 Radiação térmica

1.2 Corpo negro e radiação de cavidade

1.3 Teoria clássica da radiação e cavidade (Lei de Rayleigh-Jeans)

1.4 Teoria de Planck da radiação de cavidade

1.5 Conseqüências do postulado de Planck

2. COMPORTAMENTO CORPUSCULAR DA RADIAÇÃO

2.1 O efeito fotoelétrico

2.2 Teoria de Einstein para o efeito fotoelétrico

2.3 O efeito Compton

2.4 A natureza dual da radiação eletromagnética

3. COMPORTAMENTO ONDULATÓRIO DA MATÉRIA

3.1 O postulado de de Broglie (ondas de matéria)

3.2 Provas experimentais do comportamento ondulatório da matéria

3.3 A dualidade onda-partícula

3.4 O princípio da complementaridade de Bohr

3.5 Propriedades das ondas de matéria (pacotes de onda)

3.6 O princípio da incerteza

4. O ÁTOMO DE BOHR

4.1 O modelo de Thomson

4.2 O modelo de Rutherford

4.3 O problema da instabilidade do átomo de Rutherford

4.4 Espectros atômicos

4.5 Os postulados e o modelo atômico de Bohr

4.6 Correção para a massa nuclear finita

4.7 O experimento de Franck-Hertz e o estado de energia do átomo

4.8 Interpretação das regras de quantização

4.9 Modelo de Sommerfeld

4.10 O princípio da correspondência

5. A EQUAÇÃO DE SCHRÖDINGER

5.1 Elementos de plausibilidade para obtenção da equação de Schrödinger

5.2 A interpretação de Born para função de onda

5.3 Valores esperados

5.4 As propriedades esperadas das autofunções

5.5 A equação de Schrödinger estacionária

5.6 A quantização da energia na teoria de Schrödinger

6. SOLUÇÕES DA EQUAÇÃO DE SCHRÖDINGER PARA POTENCIAIS UNIDIMENSIONAIS

6.1 O potencial nulo e a partícula livre

6.2 Poço de potencial infinito

6.3 Poço de potencial finito

6.4 O potencial degrau

6.5 A barreira de potencial e o efeito de tunelamento

6.6 O oscilador harmônico simples

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física moderna**: origens clássicas e fundamentos quânticos. Rio de Janeiro:

Campus, 2006.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de física**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**. 4.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. 4 v.

TIPLER P. A.; LLEWELLYN R.A. **Física moderna**. 3.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

NOVAES, M; STUDART, N. **Mecânica quântica básica**. São Paulo: Ed. Liv. da Física, 2016. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/Mecanica_quantica_basica_Novaes-Studart.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2018.

CADERNO BRASILEIRO DE ENSINO DE FÍSICA. Florianópolis: UFSC, 1984- . Quadrimestral. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/index>>. Acesso em: 28 maio 2018.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

SEGRE, E. **Dos raios X aos quarks: físicos modernos e suas descobertas**. Brasília: Ed. UnB, 1980.

ABDALLA, M. C. B. **Bohr: o arquiteto do átomo**. 2. ed. São Paulo: Odysseus, 2006.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da física: óptica e física moderna**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v.4.

KNIGHT, R. D. **Física: uma abordagem estratégica – relatividade e física quântica**. 2. ed. Porto Alegre. Bookman, 2009. v.4.

LOPES, J. L. **A estrutura quântica da matéria: do átomo pré-socrático às partículas elementares**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ed. UFRJ, 2005.

PESSOA JÚNIOR, O. **Conceitos de física quântica**. São Paulo: Liv. da Física, 2006.

PIZA, A. F. R. de T. **Mecânica quântica**. São Paulo: EDUSP, 2003.

REVISTA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA. São Paulo: SBF, 1979- . Trimestral. ISSN 1806-9126. Disponível em:<<http://www.sbfisica.org.br/rbef/>>. Acesso em: 28 maio 2018.

APROVAÇÃO

____ / ____ / ____

Carimbo e assinatura do Coordenador do
Curso

____ / ____ / ____

Carimbo e assinatura do
Diretor da Unidade



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

CÓDIGO:	COMPONENTE CURRICULAR: FÍSICA MODERNA E SEU ENSINO	
UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE: INSTITUTO DE FÍSICA		SIGLA: INFIS
CH TOTAL TEÓRICA: 30	CH TOTAL PRÁTICA: 30	CH TOTAL: 60

OBJETIVOS

Promover a formação de educadores que compreendam a importância do ensino de Física Moderna e Contemporânea em nível médio e a divulgação dos seus conceitos para a população.

Proporcionar espaço para a proposta de estratégias de ensino e divulgação da Física Moderna e Contemporânea, bem como para reflexão dos materiais e métodos disponíveis na literatura.

EMENTA

Física Moderna e Contemporânea na sociedade atual; Materiais Didáticos e propostas metodológicas para o ensino da Física Moderna e Contemporânea; Divulgação Científica e a Física Moderna e Contemporânea: Espaços e Mídias; Propostas de Estratégias para o Ensino e divulgação da Física Moderna e Contemporânea.

PROGRAMA

1. Física Moderna e Contemporânea na sociedade atual

- 1.1. A Mecânica Quântica e o mundo tecnológico;
- 1.2. Reflexões sobre a relação entre a Mecânica Quântica e o misticismo;
- 1.3. A Relatividade e a compreensão do universo.

2. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

- 2.1. Os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea de acordo com os documentos oficiais;
- 2.2. Os livros didáticos e os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea;
- 2.3. Estratégias de Ensino de Física Moderna propostas na literatura;
- 2.4. Proposta de estratégias para o ensino de Física Moderna

3. Divulgação Científica e a Física Moderna e Contemporânea

- 3.1. Artigos de Divulgação Científica;

3.2. Projetos para Feiras de Ciências;

4. Exposições de Museus de Ciências;

4.1. Proposta de estratégia de divulgação de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

TIPLER P. A.; LLEWELLYN R.A. **Física moderna**. 3.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física moderna**: origens clássicas e fundamentos quânticos. Rio de Janeiro: Campus, 2006.

HERNANDEZ, F.; VENTURA, M. **A organização do currículo por projetos de trabalho**: o conhecimento e um caleidoscópio. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2017.

POZO, J. I. **A aprendizagem e o ensino de ciências**: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

CAMPOS, M. C. da C. **Didática de ciências**: o ensino-aprendizagem como investigação. São Paulo: FTD, 1999.

PIETROCOLA. M. (Org.). **Ensino de física**: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Ed. UFSC, 2001.

ASTOLFI, Jean-Pierre. **A didática das ciências**. Campinas: Papirus, 1990.

KNIGHT, R. D. **Física**: uma abordagem estratégica. 2. ed. Porto Alegre. Bookman, 2009. v.4.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 11. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. 4v.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física**: óptica e física moderna. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v. 4.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica**: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as Regras da Transposição Didática Aplicáveis aos Conceitos de Física Moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, 2005. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/512>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

CARUSO, F.; FREITAS, N. Física Moderna no Ensino Médio: O Espaço-tempo de Einstein em Tirinhas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 26, n. 2, p. 355-366, ago. 2009. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2009v26n2p355>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

MARTINS, R. Como distorcer a física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica 2.

Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 15, n. 3, p. 265-300, dez. 1998. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6887>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B. A Sistemática Incompreensão da Teoria Quântica e as Dificuldades dos Professores na Introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 15, n. 3, p. 557-580, 2009. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/2510/251019500007/>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 3, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172007000300016>. Acesso em 6 jun. 2018.

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. Física quântica no ensino médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, n. 3 (2011). Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/22296>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

SILVA, J. R. N.; ARENGHI, L. E. B.; LINO, A. Porque inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 6, n. 1, jan. 2013. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/1170>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

APROVAÇÃO	
_____ / _____ / _____ _____	_____ / _____ / _____ _____



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

CÓDIGO:	COMPONENTE CURRICULAR: LABORATÓRIO DE FÍSICA MODERNA	
UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE: INSTITUTO DE FÍSICA		SIGLA: INFIS
CH TOTAL TEÓRICA: 00	CH TOTAL PRÁTICA: 60	CH TOTAL: 60

OBJETIVOS

Proporcionar um contato com experiências e instrumentos científicos relacionados à física contemporânea.
 Habilitar o aluno a reconhecer a importância de um modelo teórico para interpretar resultados experimentais.
 Identificar experimentos onde a física clássica não explica os fenômenos observados.
 Interpretar dados obtidos de maneira indireta da estrutura da matéria.

EMENTA

Difração de elétrons; Efeito fotoelétrico; Medida da velocidade da Luz; Determinação da relação h/e ; Experimento de Franz-Hertz; Determinação da razão e/m do elétron; Espectroscopia óptica; Determinação da carga específica do elétron (experiência de Millikan); Difração de raio - X; Efeito Compton.

PROGRAMA

1. Difração de elétrons;
2. Efeito fotoelétrico;
3. Medida da velocidade da luz;
4. Determinação da relação h/e ;
5. Experimento de Frank-Hertz;
6. Determinação da razão carga-massa do elétron;
7. Determinação da carga específica do elétron (experiência de Millikan);
8. Difração de raio-X;
9. Efeito Compton.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física moderna**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. Rio de Janeiro: Campus, 2006.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

EISBERG, R. M. **Fundamentos da física moderna**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1979.

KNIGHT, R. D. **Física: Uma abordagem estratégica relatividade e física quântica**. 2. ed. Porto Alegre. Bookman, 2009. v.4.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física: óptica e física moderna**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v. 4.

MELISSINOS, A. C. **Experiments in modern physics**. San Diego: Academic, 1966.

GRIFFITHS, D. J. **Mecânica quântica**. São Paulo: Prentice Hall, 2011.

GASIOROWICZ, Stephen. **Física quântica**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1979.

APROVAÇÃO

<p>____ / ____ / ____</p> <p>_____</p>	<p>____ / ____ / ____</p> <p>_____</p>
--	--



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

CÓDIGO:	COMPONENTE CURRICULAR: METODOLOGIAS PARA O ENSINO DE FÍSICA	
UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE: INSTITUTO DE FÍSICA		SIGLA: INFIS
CH TOTAL TEÓRICA: 60	CH TOTAL PRÁTICA: 00	CH TOTAL: 60

OBJETIVOS

Construir elementos que permitam identificar o significado de ensinar física no ensino médio, reconhecendo sua importância para a formação do estudante como cidadão crítico inserido na sociedade.

Acompanhar as atuais tendências no ensino de física e desenvolver atividades que promovam práticas de reflexão e investigação-ação.

Identificar, analisar, avaliar e fazer uso de diferentes ferramentas metodológicas utilizadas no Ensino de Física.

Refletir sobre estratégias de ensino e teorias de ensino-aprendizagem no ensino de Física.

Identificar temas transversais e sua influência no Ensino de Física.

Avaliar o seu processo de formação como futuro professor, percebendo as aprendizagens desenvolvidas e as deficiências a serem sanadas.

EMENTA

Os conhecimentos contemplados têm como objetivo propiciar reflexões sobre questões de ensino e aprendizagem relacionadas ao ensino de Física, proporcionando instrumentos concretos para a prática docente. A disciplina contempla estudos sobre tendências pedagógicas e suas relações com o ensino e aprendizagem, focando planejamento, execução e avaliação, dentro de uma perspectiva inclusiva e que respeita as diferenças, a fim de preparar os estudantes para o ingresso nos estágios supervisionados.

PROGRAMA

1. Contextualização sobre o processo histórico das tendências pedagógicas voltadas para o ensino de Física
2. Abordagens metodológicas e suas compreensões

- 2.1. Ensino tradicional
 - 2.2. Movimento das Concepções alternativas
 - 2.3. Aprendizagem significativa: Teoria de Ausubel
 - 2.4. Sala de aula invertida, *Peer Instruction* (Instrução pelos pares), Ensino sob medida
 - 2.5. Ensino por investigação
 - 2.6. Abordagem CTS(A) – Ciência Tecnologia e Sociedade (Ambiente)
 - 2.7. Contextualização e Interdisciplinaridade Ensino de Física
 - 2.8. Ensino por Projetos
3. Elaboração de práticas reflexivas individuais e coletivas sobre o processo de ensino e aprendizagem

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 47. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2008.

HERNANDEZ, F.; VENTURA, M. **A organização do currículo por projetos de trabalho: o conhecimento e um caleidoscópio**. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2017.

POZO, J. I. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ANDRÉ, M. (Org.). **O papel da pesquisa na formação e na prática dos professores**. 8. ed. Campinas: Papirus, 2008.

GALIAZZI, M. do C. **Educar pela pesquisa: ambiente de formação de professores de ciências**. Ijuí: Ed. da UNIJUÍ, 2003. 285 p.

BAZZO, W. A. **Ciência, tecnologia e sociedade: e o contexto da educação tecnológica**. Florianópolis: UFSC, 1998.

CAMPOS, M. C. da C. **Didática de ciências: o ensino-aprendizagem como investigação**. São Paulo: FTD, 1999.

PIETROCOLA, M. (Org.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Ed. UFSC, 2001.

SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M. (Org.). **A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias**. Ijuí: Ed. UNIJUÍ, 2006.

ASTOLFI, Jean-Pierre. **A didática das ciências**. Campinas: Papirus, 1990.

CADERNO BRASILEIRO DE ENSINO DE FÍSICA. Florianópolis: UFSC, 1984- . Quadrimestral. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/index>>. Acesso em: 28 maio 2018.

E-CURRICULUM. São Paulo: PUC-SP, 2005- . Quadrimestral. ISSN 1809-3876. Disponível em:

<<https://revistas.pucsp.br/curriculum>>. Acesso em: 28 maio 2018.

ENSAIO PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. Belo Horizonte: UFMG-MG, 1999-.

Quadrimestral. ISSN 1983-2117. Disponível em: <<http://www.scielo.br/revistas/epec/paboutj.htm>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

INVESTIGAÇÕES EM ENSINO DE CIÊNCIAS. Porto Alegre: UFRGS, 1966- . Quadrimestral. ISSN 1518-8795. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/index>>. Acesso em: 28 maio 2018.

APROVAÇÃO

____ / ____ / ____

____ / ____ / ____



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

CÓDIGO: FACED31501	COMPONENTE CURRICULAR: Didática Geral	
UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE: FACULDADE DE EDUCAÇÃO		SIGLA: FACED
CH TOTAL TEÓRICA: 60	CH TOTAL PRÁTICA: 00	CH TOTAL: 60

OBJETIVOS

- Refletir sobre o papel sócio-político da educação e da didática em suas múltiplas relações com a escola e para além dela.
- Analisar as principais concepções referentes à educação e à formação do/a educador/a na sociedade contemporânea, em diferentes espaços educativos.
- Compreender os elementos que constituem a organização do trabalho pedagógico: planejamento, avaliação, seus significados e práticas.

EMENTA

Educação, Didática e Formação docente. Teorias Pedagógicas: desafios do processo ensino- aprendizagem na sociedade contemporânea em diferentes espaços educativos. Organização do trabalho pedagógico no processo de planejamento e avaliação.

PROGRAMA

Unidade 1: Educação e didática: as diferentes perspectivas de análise sobre a escola, o ensino e a aprendizagem.

- 1.1. As diferentes concepções de educação, didática e suas implicações na formação e atuação docente.
- 1.2. O papel da escola na atualidade.

Unidade 2: Teorias Pedagógicas: desafios do processo ensino-aprendizagem na sociedade contemporânea em diferentes espaços educativos

- 2.1. Pressupostos teóricos, históricos, filosóficos e sociais da educação, da didática e da escola.
- 2.2. O processo de ensinar e aprender em diferentes contextos formativos/educativos.

Unidade 3- Organização do trabalho pedagógico no processo de planejamento e avaliação.

- 3.1. A ação docente no processo de ensino-aprendizagem e em diferentes espaços educativos.
- 3.2. Planejamento no processo de ensino-aprendizagem: limitações e possibilidades

Avaliação no processo de ensino-aprendizagem: concepções e métodos.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

- CANAU, V. M. (Org.). **A didática em questão**. 29. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2009.
- FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 37. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2008.
- GADOTTI, M. **História das ideias pedagógicas**. 8. ed. São Paulo: Ática, 2002.
- HERNÁNDEZ, F.; VENTURA, M. **A organização do currículo por projetos de trabalho: o conhecimento é um caleidoscópio**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- LUCKESI, C.C. **Filosofia da educação**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- LUCKESI, C. C. **Avaliação da aprendizagem escolar: estudos e proposições**. 19.ed. São Paulo: Cortez, 2008.
- MIZUKAMI, M.G. **Ensino: As abordagens do Processo**. São Paulo. Editora Pedagógica Universitária, 1986.
- SACRISTÁN, G e GÓMEZ.A. **Compreender e transformar o ensino**. Porto Alegre, ARTMED, 1998.
- VASCONCELLOS, C. S. **Planejamento: projeto de ensino aprendizagem e projeto político pedagógico**. 18. ed. São Paulo: Libertad, 2008.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- FREITAS, L.C. **Ciclos, seriação e avaliação: confronto de lógicas**. São Paulo: Moderna, 2003.
- MASETO, M. T. **Didática: a aula como centro**. São Paulo: FTD, 1997.
- PORTO, M. R. S. Função social da escola. In: FISCHIMANN, R. **Escola brasileira: temas e estudos**. São Paulo: Atlas, 1987. p. 37-47.
- RIOS, T.A. **Compreender e ensinar: por uma docência da melhor qualidade**. 6. ed. São Paulo: Cortez, 2006.
- ROMÃO, J.E. **Avaliação dialógica: desafios e perspectivas**. 6. ed. São Paulo: Cortez, 2003.
- VEIGA, I. P. A. (Org.) **Aula: gênese, dimensões, princípios e práticas**. Campinas, SP: Papyrus, 2008.

APROVAÇÃO

____/____/____

 Carimbo e assinatura do Coordenador do Curso

26/07/2018

 Universidade Federal de Uberlândia
 Carimbo e assinatura do Diretor da
 Diretoria de Unidade Acadêmica
 PORTARIA SEI/REITO Nº 418, DE 14 DE MAIO DE 2018
 (que oferece o componente curricular)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

CÓDIGO:	COMPONENTE CURRICULAR: EVOLUÇÃO DAS IDEIAS DA FÍSICA	
UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE: INSTITUTO DE FÍSICA		SIGLA: INFIS
CH TOTAL TEÓRICA: 60	CH TOTAL PRÁTICA: 00	CH TOTAL: 60

OBJETIVOS

Ampliar os horizontes e pontos de vista dos conhecimentos específicos e pedagógicos adquiridos ao longo do curso e na experiência cotidiana. Promover uma auto-reflexão sobre os conhecimentos prévios acerca de conceitos científicos.

Discutir a concepção de conceitos físicos fundamentais, seu desenvolvimento histórico, e as relações através de diferentes áreas da física. Refletir sobre a importância da física, da ciência, e de suas implicações e relações socioculturais. Discutir a natureza do método científico, a natureza do conhecimento científico e suas limitações.

EMENTA

Leitura de artigos e trechos de livros que apresentem reflexões sobre os conhecimentos específicos e pedagógicos do curso, bem como sobre a natureza do conhecimento científico. Estímulo a pesquisas bibliográficas e construção do conhecimento de maneira independente.

Estímulo a questionamentos e reflexões sobre os pontos de vistas e conceitos apresentados no curso e dentro da vida cotidiana. Estímulo à discussão de relações entre a física e outras áreas da ciência.

PROGRAMA

1. Evolução da física e seus conceitos ao longo da história

2. Introdução à filosofia e à epistemologia das ciências naturais

O processo da construção do conhecimento científico na história, o método científico, mitos e gênios da ciência, metafísica.

3. Relação da sociedade com a física

Concepções alternativas, pseudociência, religião e ciência, alfabetização científica.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

CHALMERS, A. F. **O que é ciência, afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993.

LATOUR, B. **Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora.** São Paulo: Ed. da UNESP, 2011.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas.** 9. ed. São Paulo: Perspectiva, 2006. 260 p.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

FEYERABEND, P. K. **Contra o método.** 2. ed. São Paulo: Ed. da UNESP, 2011.

POPPER, K. R. **A lógica da pesquisa científica.** 13. ed. São Paulo: Cultrix, 2007.

CREASE, R. P. **Os dez mais belos experimentos científicos.** Rio de Janeiro: Zahar, 2006.

EINSTEIN, A.; INFELD, L. **A evolução da física.** 4. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1980.

ROSSI, P. **A Ciência e a filosofia dos modernos: aspectos da revolução científica.** São Paulo: Ed. da UNESP, 1992.

ZATERKA, Luciana. **A filosofia experimental na Inglaterra do séc. XVII: Francis Bacon e Robert Boyle.** São Paulo: Humanitas, 2004.

MARTINS, A. F. P.; ZANETIC, J.. O tempo na mecânica: de coadjuvante a protagonista. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 2, p. 149-175, ago. 2002. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6618>>. Acesso em: 30 maio 2018.

BASSALO, J. M. F. Afinal: O que é massa? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 2, p. 433-461, ago. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n2p433>>. Acesso em: 30 maio 2018.

FILHO, K. S. O. O Universo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 27, p. 698-722, dez. 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2010v27nespp698>>. Acesso em: 30 maio 2018.

APROVAÇÃO

____/____/____

Carimbo e assinatura do Coordenador do Curso

____/____/____

Carimbo e assinatura do Diretor da
Unidade Acadêmica
(que oferece o componente curricular)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

CÓDIGO:	COMPONENTE CURRICULAR: MECÂNICA QUÂNTICA	
UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE: INSTITUTO DE FÍSICA		SIGLA: INFIS
CH TOTAL TEÓRICA: 60	CH TOTAL PRÁTICA: 00	CH TOTAL: 60

OBJETIVOS

Apresentar ao estudante as ferramentas matemáticas e os postulados da Mecânica Quântica. Aplicar o formalismo de operadores na solução de problemas quânticos. Compreender os conceitos e abordar problemas quânticos fundamentais (oscilador harmônico, momento angular, átomo de hidrogênio, partículas idênticas).

EMENTA

Ferramentas matemáticas para a Mecânica Quântica. Postulados da Mecânica Quântica. Oscilador harmônico. Momento angular. Átomo de hidrogênio. Matrizes e Spin. Partículas idênticas.

PROGRAMA

1. Ferramentas matemáticas para a mecânica quântica

- 1.1 Espaço vetorial, base e dimensão
- 1.2 Produto interno, norma e ortonormalidade
- 1.3 Notação de Dirac: bras e kets
- 1.4 Operadores lineares e hermitianos
- 1.5 Relação de incerteza entre dois operadores
- 1.6 Autovalores e autovetores de um operador

2. Postulados da mecânica quântica

- 2.1 Estado de um sistema quântico e a função de onda
- 2.2 Interpretação da função de onda como amplitude de probabilidade
- 2.3 Transformada de Fourier e mudança de representação
- 2.4 Observáveis e operadores hermitianos
- 2.5 Princípio da superposição e a expansão da função de onda
- 2.6 Medidas em Mecânica Quântica e autovalores de um operador
- 2.7 Medidas e observáveis compatíveis
- 2.8 A equação de Schrödinger dependente do tempo

- 2.9 Estados estacionários
2.10 Teorema de Ehrenfest e a conexão entre a Mecânica Clássica e a Quântica

3. Oscilador harmônico unidimensional

- 3.1 Operador Hamiltoniano para o oscilador quântico
3.2 Autofunções e polinômios de Hermite
3.3 Operadores de criação e destruição

4. Momento angular

- 4.1 Relações de comutação e operadores J^2 e J_z
4.2 O problema de autovalor para J^2 e J_z
4.3 Funções de Legendre e Harmônicos Esféricos
4.4 Os operadores de levantamento e abaixamento
4.5 Representação matricial dos operadores do momento angular
4.6 Spin e o experimento de Stern-Gerlach
4.7 Matrizes de Spin 1/2

5. Átomo de hidrogênio

- 5.1 O problema da força central
5.2 Separação de variáveis
5.3 O átomo de hidrogênio
5.4 Funções de onda dos estados ligados
5.5 O efeito Zeeman

6. Sistemas de N partículas

- 6.1 A equação de Schrödinger para um sistema de N partículas
6.2 Conservação do momento
6.3 Partículas idênticas
6.4 O princípio de Pauli
6.5 O problema de férmions e bósons em uma caixa
6.6 Condensação de Bose-Einstein

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

GRIFFITHS, D. J. **Mecânica quântica**. 2. ed. São Paulo: Pearson Education, 2011.

PIZA, A. F. R. de T. **Mecânica quântica**. São Paulo: EDUSP, 2003.

COHEN-TANOUDJI, C.; DIU, B., LALOE, F. **Quantum mechanics**. New York: J. Wiley; Paris: Hermann, 1997.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

NOVAES, M; STUDART, N. **Mecânica quântica básica**. São Paulo: Liv. da Física, 2016. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/Mecanica_quantica_basica_Novaes-Studart.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2018.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

KNIGHT, R. D. **Física: uma abordagem estratégica**. 2. ed. Porto Alegre. Bookman, 2009. v. 4.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de física**. Porto Alegre: Bookman, 2008. v. 3.

SHANKAR, R. **Principles of Quantum Mechanics**. 2. ed. New York: Springer, 1994.

GASIOROWICZ, S. **Quantum physics**. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2003.

LANDAU, L. D.; LIFSHITZ, E. M. **Quantum mechanics: non-relativistic theory**. 3 ed. rev. ampl. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1977.

APROVAÇÃO

____/____/____

Carimbo e assinatura do Coordenador do Curso

____/____/____

Carimbo e assinatura do Diretor da
Unidade Acadêmica
(que oferece o componente curricular)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

CÓDIGO:	COMPONENTE CURRICULAR: ELETROMAGNETISMO, ÓPTICA E SEU ENSINO	
UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE: INSTITUTO DE FÍSICA		SIGLA: INFIS
CH TOTAL TEÓRICA: 60	CH TOTAL PRÁTICA: 00	CH TOTAL: 60

OBJETIVOS

Explorar situações problema e/ou assuntos relevantes envolvendo subsídios instrumentais e pedagógicos sobre eletromagnetismo e óptica, tais como experimentos, atividades práticas e simulações.

Formar uma postura crítica, reflexiva e participativa frente às questões pedagógicas e de outros problemas que o professor irá se defrontar ao trabalhar com conhecimentos de eletromagnetismo e óptica e estratégias relacionadas ao ensino desta, contribuindo para uma educação inclusiva.

Entender a Física como uma Ciência dinâmica constituída pelos conhecimentos produzidos pelos seres humanos ao longo de sua história.

EMENTA

Articulação teoria e prática no ensino de conceitos básicos de Mecânica a partir de situações problemas, instrumentos de ensino e metodologias de planejamento da prática do ensino de Física. Discussão sobre concepções prévias sobre eletromagnetismo e óptica.

PROGRAMA

1. Concepções alternativas relativos ao ensino de eletromagnetismo e óptica: identificação e propostas para a mudança conceitual.
2. Revisão sobre pesquisas voltadas para o ensino de eletromagnetismo e óptica.
3. Análise de materiais didáticos relativos ao ensino de eletromagnetismo e óptica.
4. Análise sobre as questões de eletromagnetismo e óptica em processos seletivos para o ingresso no Ensino Superior.

5. Discussões sobre experimentos de baixo custo como auxílio para o processo de ensino e aprendizagem de mecânica.
5. Discussões sobre a utilização de tecnologias (simulações virtuais, remotas, animações, entre outras) para o ensino de eletromagnetismo e óptica.
6. Discussões sobre o ensino de eletromagnetismo e óptica dentro de uma perspectiva inclusiva.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 11. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

WALKER, J. **O circo voador da física**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

KNIGHT, R. D. **Física: Uma abordagem estratégica**. 2. ed. Porto Alegre. Bookman, 2009. v. 2 e 3.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

PIETROCOLA, M. (Org.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Ed. UFSC, 2001.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. P.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ANDRÉ, M. (Org.). **O papel da pesquisa na formação e na prática dos professores**. Campinas: Papirus, 2001.

BORTONI-RICARDO, S. M. **O professor pesquisador: introdução à pesquisa qualitativa**. 2. ed. São Paulo: Parábola, 2009.

GALIAZZI, M. do C. **Educar pela pesquisa: ambiente de formação de professores de ciências**. Ijuí: Ed. da UNIJUÍ, 2003.

SILVA, T. M. N. **A construção do currículo na sala de aula: o professor como pesquisador**. São Paulo: EPU, 1990.

CASTRO, A. D.; CARVALHO, A. M. P. **Ensinar a ensinar: didática para a escola fundamental e média**. São Paulo: Pioneira, 2001. 195 p.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v. 3 e 4.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de física**. Porto Alegre: Bookman. 2008. v. 1 e 3.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. CIÊNCIA & EDUCAÇÃO. Bauru: UNESP, 1998-. Quadrimestral. ISSN 1980-850X. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=1516-7313&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 2 jun. 2018.

ENSAIO PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. Belo Horizonte: UFMG, 1999-. Quadrimestral. ISSN 1983-2117. Disponível em: <<http://www.scielo.br/revistas/epec/paboutj.htm>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

ALEXANDRIA: revista de educação em ciência e tecnologia. Florianópolis: UFSC, 2008-. Semestral. ISSN 1982-5153. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/index>>. Acesso em: 28 maio 2018.

INVESTIGAÇÕES EM ENSINO DE CIÊNCIAS. Porto Alegre: UFRGS, 1966-. Quadrimestral. ISSN 1518-8795. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/index>>. Acesso em: 28 maio 2018.

REVISTA BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO ESPECIAL. Rio de Janeiro: ABPEE. Trimestral. 2005-. ISSN 1980-5470. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=1413-6538&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 28 maio 2018.

CADERNO BRASILEIRO DE ENSINO DE FÍSICA. Florianópolis: UFSC, 1984-. Quadrimestral. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/index>>. Acesso em: 28 maio 2018.

REVISTA TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO. Viçosa: UFV, Semestral. 2009-. ISSN: 1984-4751. Disponível em: <<http://tecedu.pro.br/>>. Acesso em: 28 maio 2018.

APROVAÇÃO	
<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">____/____/____</div> <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p style="text-align: center;">Carimbo e assinatura do Coordenador do Curso</p>	<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">____/____/____</div> <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p style="text-align: center;">Carimbo e assinatura do Diretor da Unidade Acadêmica (que oferece o componente curricular)</p>



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FICHA DE COMPONENTE CURRICULAR

CÓDIGO:	COMPONENTE CURRICULAR: HISTÓRIA E EPISTEMOLOGIA DA CIÊNCIA	
UNIDADE ACADÊMICA OFERTANTE: INSTITUTO DE FÍSICA		SIGLA: INFIS
CH TOTAL TEÓRICA: 60	CH TOTAL PRÁTICA: 00	CH TOTAL: 60

OBJETIVOS

Discutir a natureza do conhecimento científico, do método científico e suas limitações. Discutir a concepção de ideias físicas em perspectiva histórica. Introduzir noções de filosofia e epistemologia da ciência, discutindo relações com a física.

EMENTA

Discussão de tópicos de história da física, conceitos físicos fundamentais e seu desenvolvimento histórico. Reflexão sobre a natureza do conhecimento e do método científico, e de problemas atuais, como interpretações da mecânica quântica.

PROGRAMA

1. Empirismo

- 1.1 astronomia antiga
- 1.2 conhecimento antigo sobre eclipses, forma da terra
- 1.3 descoberta do magnetismo, bússolas
- 1.4 francis bacon e o controle da natureza
- 1.5 galileu, brahe e kepler
- 1.6 faraday e a indução magnética

2. Ideias centrais da física em perspectiva histórica

- 2.1 determinismo
- 2.2 acaso e probabilidades
- 2.3 partículas e campos
- 2.4 conservação da energia
- 2.5 aproximações e relações entre teorias (clássica x quântica, ótica geométrica x física, mecânica newtoniana x relatividade, gravitação clássica x relatividade geral, termodinâmica x estatística)

3. Epistemologia e filosofia da ciência

- 3.1 o método científico
 3.2 popper e a verificabilidade
 3.3 kuhn e as mudanças de paradigma
 3.3 feyerabend, latour, o método científico
 3.4 geocentrismo x heliocentrismo
 3.5 aristotelismo x galileu e newton
 3.6 criacionismo x lamarquismo x darwinismo
 3.7 gênios e seu contexto histórico
4. Atualidades
 4.1 ciência e pseudociência
 4.2 as interpretações da mecânica quântica e problemas em aberto

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

- SILVA, C. C. (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências**: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Liv. da Física, 2006.
- LATOUR, B. **Ciência em ação**: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora. São Paulo: Ed. da UNESP, 2011. 422 p.
- CHALMERS, A. F. **O que é ciência, afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993. 225 p.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- FEYERABEND, P. K. **Contra o método**. 2. ed. São Paulo: Ed. da UNESP, 2011. 372 p.
- KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 9. ed. São Paulo: Perspectiva, 2006. 260 p.
- POPPER, K. R. **A lógica da pesquisa científica**. 13. ed. São Paulo: Cultrix, 2007. 567 p.
- ZATERKA, Luciana. **A filosofia experimental na Inglaterra do séc. XVII**: Francis Bacon e Robert Boyle. São Paulo: Humanitas, 2004. 298 p.
- ROSSI, P. **A Ciência e a filosofia dos modernos**: aspectos da revolução científica. São Paulo: Ed. da UNESP, 1992. 389 p.
- EINSTEIN, A.; INFELD, L. **A evolução da física**. 4. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1980. 237 p.

APROVAÇÃO

____/____/____

 Carimbo e assinatura do Coordenador do Curso

____/____/____

 Carimbo e assinatura do Diretor da
 Unidade Acadêmica
 (que oferece o componente curricular)