

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

VINICIUS DE CARVALHO

**PROPOSIÇÕES TEÓRICAS EM UMA ABORDAGEM HISTÓRICA E
TECNOLÓGICA NO ENSINO DE FÍSICA: A ÓTICA E TECNOLOGIAS BASEADAS
EM LUZ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2019

VINICIUS DE CARVALHO

**PROPOSIÇÕES TEÓRICAS EM UMA ABORDAGEM HISTÓRICA E
TECNOLÓGICA NO ENSINO DE FÍSICA: A ÓTICA E TECNOLOGIAS BASEADAS
EM LUZ**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Licenciatura em Física do Departamento Acadêmico de Física – DAFIS – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientadora: Prof. Dr. Marcia Muller

Coorientador: Prof. Dr. João Amadeus Pereira Alves

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Título: Proposições teóricas em uma abordagem histórica e tecnológica no ensino de Física: A Ótica e tecnologias baseadas em luz.

Autor: Vinicius de Carvalho

Orientador: Márcia Muller

Coorientador: João Amadeus Pereira Alves

Este trabalho foi apresentado às 10h00, do dia 09/12/2019, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC2), do curso de Licenciatura em Física, do Departamento Acadêmico de Física (DAFIS), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Curitiba. A comissão examinadora considerou o trabalho aprovado.

Comissão examinadora:

Dr.ª Márcia Muller

Dr. João Amadeus Pereira Alves

Dr. José Luís Fabris

Dr.ª Silmara Alessi Guebur Roehrig

Professor Responsável pelas Atividades de
Trabalho de Conclusão de Curso/
Curso de Licenciatura em Física
(DAFIS/UTFPR)

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Licenciatura em Física.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos orientadores deste trabalho, Professora Marcia Muller e Professor João Amadeus Pereira Alves, pela atenção dedicada a me ensinar. Aprender com vocês foi engrandecedor. Registro também meus agradecimentos a todos os Professores do Departamento Acadêmico de Física, em especial aos membros da banca examinadora, Professor José Luís Fabris e Professora Silmara Roherig, muito obrigado.

Aos colegas de graduação e de laboratório, sou grato por ter estudado com vocês.

Aos meus pais, deixo meu agradecimento devido ao apoio, incentivo e por estarem ao meu lado.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram nessa etapa de minha formação.

RESUMO

O trabalho apresenta a elaboração de conteúdo direcionado ao ensino dos tópicos de ótica geométrica: reflexão, refração e os casos especiais reflexão total e dispersão da luz. Discussões acerca do ensino de ótica e das concepções de ensino relacionadas à história da ciência e da tecnologia conduziram a elaboração do projeto. Em vista do vínculo entre a ótica abordada no ensino médio e os fenômenos físicos envolvidos no funcionamento de tecnologias associadas à luz, a proposta busca abordar ótica de modo historicamente contextualizado e associando o conhecimento científico ao desenvolvimento tecnológico. Para isso o material elaborado apresenta alguns estudos iniciais da teoria ótica, publicados em 1637 e também descreve momentos fundamentais do progresso da fibra ótica e da espectroscopia, ao longo do século XX. São detalhadas sugestões de demonstrações experimentais relacionadas às descrições históricas. Além do material desenvolvido, o trabalho contempla as orientações metodológicas resultantes da pesquisa a respeito da produção de material historiográfico voltado ao ensino de ciências, essas orientações guiaram a elaboração da proposta.

Palavras-chave: Ensino de Física; Ótica; Material de ensino; História da ciência.

ABSTRACT

This work presents the development of a proposal that aim to approach geometric optics. Discussions about optics teaching and concepts related to the science and technology history led the elaboration of the project. Because of the connection between the optics present in high school and the physical phenomena related to light-based technology, the proposal aims to present historically contextualized and associate the scientific knowledge to technology development. Thereby the elaborated material presents some initial studies of optical theory published in 1637 and describes fundamental moments of the optical fiber and spectroscopy progress throughout the XX century. Suggestions for experimental demonstrations related to the historical descriptions are detailed. Besides the developed material, the work introduces the methodological orientations resulted in the research about the production of historical material to teach science, these orientations guide the proposal.

Keywords: Physics teaching; Optics; Teaching proposal; History of science.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
1.1	JUSTIFICATIVAS.....	7
1.2	OBJETIVOS.....	8
1.2.1	Objetivo geral.....	8
1.2.2	Objetivos específicos.....	8
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
2.1	CARACTERÍSTICAS DO ENSINO E DA APRENDIZAGEM DE ÓTICA.....	9
2.2	A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA.....	11
2.3	A ABORDAGEM HISTÓRICA E A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO.....	12
2.4	A CONSTRUÇÃO DE CONTEÚDO DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA.....	15
3	METODOLOGIA.....	16
3.1	CONCEPÇÃO DE PESQUISA.....	16
3.2	ETAPAS DA ELABORAÇÃO DE CONTEÚDO HISTORIOGRÁFICO NO ENSINO DE FÍSICA.....	17
4	RESULTADOS.....	18
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES HISTÓRICAS.....	19
4.1.1	The Cambridge Descartes Lexicon.....	19
4.1.2	City of Light: The Story of Fiber Optics.....	19
4.1.3	The Early History of Spectroscopy.....	20
4.1.4	The history of spectroscopy as illustrated on stamps.....	20
4.2	DESCRIÇÃO DO MATERIAL ELABORADO.....	20
4.3	MATERIAL HISTORIOGRÁFICO VOLTADO AO ENSINO DE ÓTICA.....	22
4.3.1	A propagação da luz por Descartes.....	22
4.3.2	A criação e o desenvolvimento da fibra ótica.....	26
4.3.3	A criação e o desenvolvimento da espectroscopia.....	34
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
	REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

O material de ensino elaborado neste trabalho fundamenta-se em textos com conteúdo a respeito do desenvolvimento histórico de duas tecnologias associadas à luz: a fibra ótica e a espectroscopia. O texto elaborado cita sugestões experimentais relacionadas aos temas que são historicamente abordados e podem auxiliar na construção de atividades voltadas ao ensino. Os conteúdos específicos de Física relacionados à proposta constam na ótica geométrica apresentada no Ensino Médio, são eles: reflexão, refração e os casos especiais de reflexão total e dispersão da luz.

Ao longo do trabalho serão apresentados argumentos teóricos do ensino por abordagem histórica e defendidas concepções e metodologias de ensino em vista de um material com perspectivas de ensino complementares. Se propõe a contextualização dos conteúdos de Física relacionando o conhecimento científico de base às aplicações tecnológicas. Para isso serão debatidas concepções de aprendizagem que prezam pela abordagem da cultura da ciência em meio ao ensino.

1.1 JUSTIFICATIVAS

Uma das motivações para o desenvolvimento deste trabalho resultou da atuação em iniciação científica no LabLaser, laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, onde são realizadas pesquisas na área de Fotônica aplicada à Engenharia. Um projeto de extensão, promovido em comemoração do Dia Internacional da Luz, resultou na participação da elaboração de um artigo que propôs sensores baseados em fibra ótica para apresentar tecnologias de sensoriamento ótico e características da atividade de pesquisa científica e acadêmica (DE CARVALHO et al., 2019 p. 045005).

Tanto o desenvolvimento de um material voltado ao ensino de ótica relacionado a tecnologias quanto a construção de análises referentes ao ensino e aprendizagem podem auxiliar na construção de uma trajetória acadêmica coerente com duas áreas que pretendo pesquisar, o ensino de Física e a ótica aplicada.

No que se refere ao ensino, Galili e Hazan (2000) percebem a ótica como palco comum de dificuldades de aprendizagem e o conteúdo explorado nesse campo constitui base para o entendimento de outros tópicos do currículo de física.

Silva e Tavares (2005) defendem a incorporação de novos conhecimentos científicos na educação, isso indica a necessidade de desenvolvimento de novas estratégias para o ensino que sigam diferentes modelos didáticos e possibilitem associar os conceitos científicos às suas aplicações, permitindo abordagens diversificadas (AYDIN, 2012).

Os conteúdos escolares e os materiais didáticos são apresentados de modo excessivamente artificial, resultado de escolhas ocorridas no processo de transposição didática, que procuram satisfazer mais questões de ordem prática do que didática. Isso leva os alunos à não reconhecerem a física fora da escola. (RICARDO, 2010, p. 7)

Nesse sentido, Silva e Tavares (2005) apontam que o ensino de ótica abordado com uma metodologia ultrapassada implica em falta de compreensão da relação entre o que é ensinado e os fenômenos físicos do cotidiano. Por isso, propostas tradicionais no ensino e aulas descontextualizadas podem resultar em dificuldade no processo de vinculação entre o conteúdo escolar e comportamentos físicos observáveis. Lopes (2014) descreve o cenário geral do ensino de ótica geométrica indicando um sistema convencional de ensino concentrado em aspectos quantitativos da teoria, esse panorama conduz à formação de estudantes que não interpretam observações qualitativas de fenômenos óticos. Sob essa perspectiva torna-se adequado um ensino com abordagens complementares, descrevendo tanto aspectos conceituais quanto de formalismo matemático.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Elaborar um material com conteúdo voltado ao ensino de ótica, sob enfoque histórico, científico e tecnológico.

1.2.2 Objetivos específicos

Determinar o método de seleção das fontes históricas utilizadas no desenvolvimento do material.

Esquematizar etapas para a elaboração de conteúdo com abordagem historiográfica no ensino de ciências.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A presente seção apresenta pressupostos que orientaram a elaboração do material. Em primeiro lugar, serão comentadas análises das características do ensino e da aprendizagem de ótica, identificando as peculiaridades desse campo da Física e a importância dos tópicos de ótica geométrica. Além disso, a investigação pretende localizar pesquisas que foram realizadas a respeito das abordagens utilizadas para os conteúdos específicos.

Um segundo tópico será direcionado a caracterizar a história da ciência e da tecnologia no sentido de examinar propriedades do desenvolvimento da ciência e apontar sugestões da historiografia para a elaboração de um relato com viés histórico.

Em vista das particularidades do material que é proposto, também se mostra conveniente relacionar as descrições históricas à utilização de atividades práticas. Portanto, parte desta seção consiste em examinar a articulação entre a abordagem histórica e as propostas experimentais no ensino a partir das reflexões de autores que trabalham com essas temáticas.

Por fim, serão abordados itens de uma análise quanto a elaboração de material historiográfico voltado ao ensino de ciências. As discussões caracterizam recomendações para a seleção e apresentação do conteúdo.

2.1 CARACTERÍSTICAS DO ENSINO E DA APRENDIZAGEM DE ÓTICA

A aprendizagem de ótica é articulada a fatores que não apresentam conformidade com a teoria científica, isto é, a experiência de mundo não sugere o comportamento físico da luz e a linguagem informal utilizada diariamente não apresenta rigor científico. Nesse sentido, Galili e Hazan (2000) defendem que as noções no campo se apresentam desenvolvidas sob influências de percepções visuais, e com esses estímulos, os conhecimentos de construção espontânea tomam o lugar do saber científico. Diante disso, as peculiaridades do conhecimento se mostram como obstáculos para a compreensão de fenômenos e para o desenvolvimento da aprendizagem teórica e conceitual. As premissas a seguir são discutidas pelos autores Galili e Hazan (2000) e justificam impasses de compreensão referentes ao tema:

- a) A experiência humana é falha para detecção de parâmetros associados à luz. Os fenômenos óticos parecem ser instantâneos e a luz parece ser estacionária e contínua, o que não se alinha às teorias científicas elaboradas.
- b) Fenômenos óticos comuns são observados em um meio dispersivo, o que modifica o comportamento da luz em relação ao vácuo, ou seja, o caso generalizado utilizado no estudo de ótica elementar.
- c) O observador tem papel significativo nas análises de fenômenos óticos. Características relacionadas ao observador podem garantir ou não o registro de um determinado fenômeno, com isso dois observadores distintos podem ter detecções contrárias em uma mesma região de observação. Um exemplo é o fenômeno de miragem que pode ser detectado ou não dependendo da posição do observador. Ainda nesse sentido, os autores mostram que há dificuldade de se perceber a real função do detector - como o olho humano - pois a detecção da luz e a visão não exigem esforço físico ou cognitivo.
- d) O desenvolvimento histórico das linguagens, influenciado pela percepção visual humana, direcionou para construções linguísticas que contrariam a teoria ótica. Expressões não são coerentes com fundamentos científicos, por exemplo “o olho brilhou”.
- e) Buscam-se explicações de fenômenos físicos por relações de causa e efeito. Isso conduz à formação de senso comum que são suficientes para o cotidiano. A luz como estática e a visão por raios originados dos olhos são obstáculos para a compreensão do comportamento da luz.
- f) A interdisciplinaridade da ótica. A detecção da luz não é suficiente para a percepção visual: o processo requer a fisiologia do olho e um processo de interpretação das informações óticas para a compreensão dos eventos. Isso implica em uma limitação para trabalhar didaticamente sob perspectiva científica conhecimentos a respeito da luz.
- g) O ensino de ótica por vezes é baseado em simbolismo gráfico, os diagramas são necessários e recorrentes na apresentação da disciplina de modo que a dificuldade de interpretação das representações pode ser obstáculo para a compreensão dos eventos.

O cenário de pesquisa apresentado, que aponta para a criação de concepções alternativas relacionadas à propagação da luz, pode ter conduzido

trabalhos da área centrados em conceitos e que estudam propostas de mudança conceitual para atuar contrariamente aos conhecimentos não científicos desenvolvidos espontaneamente (LA ROSA et al, 1984; GOLDBERG E MCDERMOTT, 1987; GOULART, 1989; PALACIOS et al, 1989; OSBORNE et al, 1993; GIRCOREANO E PACCA, 2001; MOTA E DOS SANTOS, 2018).

Segundo Harres (1993), há possibilidade que a falta de clareza em temas iniciais de ótica geométrica implique em dificuldade nos tópicos avançados. Nessa perspectiva se detecta a necessidade de boa formação introdutória, evidenciando a importância da abordagem de reflexão e refração. Silva e Tavares (2005) percebem a ótica sem atenção necessária no âmbito curricular comparado a outras áreas da Física, que como um todo tem sido apresentada em forma de conceitos, leis e fórmulas desarticuladas e distantes da percepção real dos estudantes. Esses autores defendem que a apresentação da teoria como um produto acabado pode resultar em alunos que não precisam raciocinar.

2.2 A HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA

Segundo Forato, Pietrocola e Martins (2011) todas as narrativas da história da ciência, em algum momento, são moduladas por crenças, valores e orientações metodológicas do autor. Isso alerta quanto a preocupação necessária na elaboração dos argumentos de modo a não distorcer aspectos da construção científica.

O relato histórico da criação de um conceito científico, ou de um debate entre teorias rivais, ou da realização de experimentos, por exemplo, carregam concepções sobre a natureza da ciência e sobre os processos da sua construção (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011, p. 35).

Allchin (2004) defende a minimização dessa influência mediante a compreensão das distorções comuns em um texto histórico problemático. Nesse sentido, Forato, Pietrocola e Martins (2011) alertam quanto a interpretação anacrônica ou mediante normas e padrões atuais, erro corrigido com a adoção de um nível adequado de contextualização ao tratar de outro período histórico - o grau de contextualização é motivo de debate na historiografia.

A apreciação de personagens notáveis e brilhantes não é problemática, porém a sobrevalorização de aspectos específicos das contribuições de cientistas, a omissão

de erros cometidos e desconsiderações das contribuições de pares e equipes promovem a criação de heróis idealizados ao lugar de cientistas reais (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011).

A esse respeito, exige-se olhares para a complexidade e amplitude do desenvolvimento histórico, conforme aponta Martins (2005).

É necessário que a história das ciências ultrapasse também a descrição mítica dos “grandes gênios” e seja capaz de estudar toda a complexidade e riqueza do real desenvolvimento histórico de cada passo (MARTINS, 2005, p. 29).

O desenvolvimento científico ocorre de maneira gradual, e a compreensão da natureza da ciência requer a percepção de momentos de avanços, crises, fracassos e sucessos ao lugar de situações pontuais onde indivíduos, sozinhos, possuem um momento de genialidade e resolvem problemas teóricos ou práticos. Segundo Forato, Pietrocola e Martins (2011) a reconstrução linear dos episódios da história da ciência é defendida por alguns pensadores como útil para ensinar conceitos científicos, apesar de não ser alinhada a historiografia atual. Descrições lineares do desenvolvimento contribuem em favor da ilusão de uma receita infalível para o progresso científico: um gênio seguindo etapas de um método científico exato, certo e único. Busca-se conciliar a compreensão especializada da historiografia atual e o intuito didático que sustenta o desenvolvimento da proposta.

2.3 A ABORDAGEM HISTÓRICA E A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO

Em 1971, Jim Gallager, descrevia a importância da compreensão das relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e os argumentos amparavam um ensino que contemplasse diferentes perspectivas do processo científico. A corrente histórica do movimento de ensino CTS atende o desenvolvimento das ideias científicas e do trabalho do cientista conexo e determinado por fatores socioculturais. Nessa acepção o conteúdo científico ensinado é apresentado de modo interessante e próximo à realidade, mostrando o cientista como alguém passível de falhas e submisso ao contexto em que vive. Sendo assim, compreende-se o ensino sob perspectiva histórica com o potencial de relacionar ciência e tecnologia na contramão de um ensino descontextualizado, e permissivo quanto a compreensão de parte do

desenvolvimento das sociedades modernas - dependentes de tecnologia e do conhecimento científico (PEDRETTI; NAZIR, 2010).

O objetivo de relacionar aspectos do conhecimento científico e tecnológico acessíveis no cotidiano é frequente e direciona para a formação cultural dos alunos. Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002) destacam a necessidade de estimular alunos ao pensamento crítico quanto ao desenvolvimento da ciência e da tecnologia, apresentando o conhecimento como resultado de atividade humana. Isso evidencia a não neutralidade do fazer científico que muitas vezes é norteador por políticas de desenvolvimento específicas, como aponta Hodson (1994): “Os estudantes devem descobrir que a prática científica é uma atividade complexa e construída socialmente” (HODSON, 1994, p. 310).

Batista (2004) discute os ganhos didáticos de propostas histórico-filosóficas defendendo a compreensão de conhecimentos procedimentais além dos declarativos. Em função disso argumenta que em cenários onde a discussão científica contempla aspectos estruturais relacionados a um conteúdo – como um desenvolvimento histórico – o estudante possui melhor condição de debater proposições e conceituações de maneira articulada e com maior criticidade. Para Matthews (1994, p. 50 apud BOSS et al., 1994) a história da ciência auxilia na compreensão dos conceitos científicos.

Portanto, a natureza e a cultura da ciência – como atividade científica e forma de construção de conhecimento – são exploradas para a compreensão de conteúdos de Física. Esses aspectos são acessados mediante a abordagem com enfoque histórico, que discute os cenários do desenvolvimento do conhecimento e das tecnologias, evidenciando o surgimento dos desafios teóricos e empíricos, as trajetórias de cientistas e a cultura do meio científico, isso inclui momentos determinantes da história, as crenças e ideologias dos indivíduos e as exigências das teorias como abertura a críticas, objetividade, formalismo e elegância. Nesse sentido, segundo Silva e Martins (2003) “O estudo cuidadoso da História da Ciência pode ajudar bastante a entender a natureza da Ciência”.

As propostas experimentais permitem aos estudantes o acesso aproximado a fenômenos físicos notáveis, nesse contexto a visualização dos conceitos físicos

estudados possibilita a investigação das relações entre grandezas físicas, promovendo o contato com técnicas de medições e de tratamento de dados. Hodson (1994) alega que quando apresentada em forma de investigação científica, a prática experimental de laboratório de ciências pode conduzir a três decorrências: a compressão conceitual intensificada; a maior percepção sobre as relações entre a observação, o experimento e a teoria; o aumento da habilidade investigadora – que pode implicar em ganhos de aprendizagem de ciência e entendimento sobre a natureza da ciência.

Andrade, et al. (2009) sugerem que na apresentação cultural do conhecimento científico há dependência por fatores sociais e, portanto, reconhecem como uma construção humana afetada por aspectos econômicos, políticos e relacionada à conjuntura em que é desenvolvida. Nesse sentido, destaca-se a importância da experimentação no ensino de Física em vista que ela oferece suporte para a percepção da epistemologia da ciência além da compreensão de aspectos relacionados às teorias, portanto, é defendido a busca por:

[...] uma educação científica que seja capaz de proporcionar o conhecimento do mundo natural como elemento para a compreensão do todo complexo denominado como cultura científica. (ANDRADE, 2009, p. 3)

Alinha-se a proposta da tese de doutorado de Zanetic (1989) que argumenta em conformidade com um ensino de Física que demonstre aspectos culturais da ciência diante dos malefícios que o enfoque na matematização e limitação a conceitos implicam na aprendizagem. Não se pretende marginalizar o caráter matemático e algorítmico do estudo, pois esse desempenha papel fundamental na compreensão da ciência. Entretanto, defende-se a expansão das possibilidades de ensino diversificando as abordagens ao passo que se propicia uma apresentação temática, contextualizada e motivadora aos estudantes.

Sob essa perspectiva, torna-se relevante um ensino de Física temático que considere aspectos da estrutura dinâmica da ciência e da tecnologia no lugar de propostas centradas univocamente em conceitos. Um enfoque que contemple as características do desenvolvimento e as aplicações do conhecimento científico coadunando com as propostas de ensino via abordagem histórica, principalmente pela possibilidade de discussão a respeito do desenvolvimento histórico das teorias e das

tecnologias. Isso relaciona a produção científica a fatores socioculturais em paralelo com o ensino de conteúdos específicos. Articula-se a isso a utilização de propostas experimentais que possibilitam a percepção da natureza da construção do conhecimento científico e a verificação de conceitos e fenômenos físicos.

2.4 A CONSTRUÇÃO DE CONTEÚDO DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Serão apresentados alguns itens da análise teórica realizada por Forato, Pietrocola e Martins (2011) quanto ao desenvolvimento de conteúdo abordando a história da ciência em contexto educacional. As descrições visam contornar impasses no ensino e fundamentam a delimitação do tema e a redação do trabalho, ou seja, as escolhas realizadas para a elaboração do conteúdo utilizando texto histórico. Os itens apresentados orientaram o desenvolvimento do material.

- a) A seleção de conteúdo histórico satisfaz os propósitos pedagógicos e epistemológicos, permitindo abordar o conteúdo específico e os aspectos da cultura e natureza da ciência, bem como a utilização por professores, sendo adequado a ambientes de ensino.
- b) A determinação do tempo didático utilizado para o tratamento de questões conceituais, dos episódios históricos e discussões a respeito da atividade científica. O tempo didático é alinhado tanto à duração e ao número de aulas disponíveis para a abordagem dos conteúdos específicos quanto ao tempo necessário para a compreensão das características da ciência tratados no conteúdo histórico selecionado.
- c) Simplificação e omissão, diz respeito ao nível de aprofundamento dos conteúdos históricos. De acordo com os aspectos da ciência que objetivamos abordar, cabe a escolha de eventos, aspectos e detalhes a serem omitidos. É importante que a ausência desses itens não comprometa a narrativa histórica.
- d) A seleção entre extensão ou profundidade na história é feita com o equilíbrio de acordo com os objetivos de ensino e contexto de utilização.

Tal desafio, voltado para a seleção do conteúdo histórico e à forma de abordá-lo, impõe conciliar as prescrições historiográficas e didáticas para não se construir uma HC distorcida e, ao mesmo tempo, favorecer uma compreensão da

construção da ciência em uma perspectiva histórica mais ampla, de modo que o aluno entenda o tema abordado no tempo histórico (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011, p. 51).

- e) Segundo os autores, são necessárias escolhas de simplificação referentes aos conteúdos, caracterizando aspectos a omitir na proposta. Um exemplo é o desenvolvimento matemático utilizado que pode não ser acessível a alunos do ensino médio, nesse caso cabe a escolha de omitir ou simplificar sem que implique em distorção da teoria. A seleção ocorre com base nos objetivos de ensino, nível de escolarização envolvido e pré-requisitos conceituais necessários.
- f) A adequação da compreensibilidade e do rigor histórico é realizada ao elaborar o texto histórico. É necessário que por vezes escolhas sejam feitas no sentido de relatar um material compreensível pelos alunos sem que a história seja alterada. Segundo os autores: “Encontrar o caminho do meio exige persistência, uma dose de criatividade e disponibilidade para ceder, ora de um lado, ora de outro.”

3 METODOLOGIA

3.1 CONCEPÇÃO DE PESQUISA

De acordo com Vilaça (2010), decisões metodológicas devem ser adequadas aos objetivos da investigação e coerentes com as especificidades dos fatores relacionados à pesquisa. Nessa perspectiva a seleção metodológica direcionou a escolha de instrumentos de coleta de dados, orientando o planejamento de procedimentos de tratamento e análise das informações (VILAÇA, 2010).

Para a elaboração do material de ensino foi necessário um trabalho exploratório e descritivo. Frente a isso, se tornou adequado o desenvolvimento da pesquisa com delimitação de critérios e de procedimentos metodológicos que caracterizam um estudo bibliográfico (LIMA E MIOTO, 2007). A pesquisa bibliográfica configurou um conjunto ordenado de procedimentos com o intuito de mediar o estudo de modo articulado a procedimentos e técnicas para a organização e análise das informações referentes aos temas.

Quanto a categorização da bibliografia analisada, Godoy (1995) classifica obras literárias, científicas e técnicas como “documentos”. Quando escritas por autores que não vivenciaram diretamente os eventos descritos na obra, são definidos por “documentos secundários”.

3.2 ETAPAS DA ELABORAÇÃO DE CONTEÚDO HISTORIOGRÁFICO NO ENSINO DE FÍSICA

Com o intuito de definir os temas específicos e as abordagens que foram empregadas no material, bem como auxiliar na organização dos dados coletados, foi elaborado com base na obra de Macedo (1995) um planejamento de análise que guiou o processo investigativo. Como resultado foram definidas etapas que sistematizaram a pesquisa bibliográfica realizada, essas são listadas a seguir.

- Delimitação do tema. Refere-se ao momento de escolha dos assuntos abordados no desenvolvimento. Tópicos foram isolados para que fosse possível o início de estudo de maneira direcionada. Foram levantadas palavras-chave relacionadas à ótica e às tecnologias baseadas em luz para orientar a determinação das fontes históricas. A etapa minimizou a arbitrariedade na escolha dos documentos secundários.
- Seleção de fontes bibliográficas. Etapa de levantamento de material bibliográfico para ser analisado. A busca foi realizada em língua portuguesa e inglesa. Em obras de 1983 a 2015 foram averiguados quais conteúdos específicos de Física poderiam ser tratados a partir das descrições, além disso foi analisado o método de abordagem dos conteúdos históricos em vista que era necessário contemplar aspectos epistemológicos da ciência para a elaboração do texto.
- Registro das fontes. Objetiva a elaboração de uma ficha bibliográfica. O registro das fontes foi realizado mediante a apresentação dos autores, título da obra e ano de publicação. O registro das fontes resultou na caracterização das fontes históricas.
- Anotação dos dados significativos da leitura. Foram registrados os dados selecionados em cada publicação que poderiam ser utilizados na elaboração do material. As palavras-chave intitulavam os registros de cada tópico abordado. A

finalidade foram duas fichas com informações referentes a história da ótica geométrica e ao desenvolvimento das tecnologias baseadas em luz.

- Citações de texto. Transcrições diretas e condensações foram registradas conexas aos dados significativos selecionados. Ao lado das citações constavam a fonte e a página de extração. Etapa que deu continuidade à elaboração da ficha de informações referentes aos dados significativos da leitura.
- Revisão dos dados da ficha de realização e a organização de sumário do trabalho. Com base na ficha elaborada e nos tópicos que definem os conteúdos abordados, foi elaborado um sumário que pôde ser usado como estrutura do material. Os seguintes títulos constituem o sumário elaborado: A propagação da luz por Descartes; A criação e o desenvolvimento da fibra ótica; A criação e o desenvolvimento da espectroscopia.
- Redação do trabalho. Realizada mediante consulta aos dados selecionados e a redação dos textos. O conteúdo elaborado no material foram textos históricos e sugestões de atividade práticas experimentais relacionadas aos temas abordados.
- Listagem de bibliografia geral consultada. Ocorre pela atualização da ficha bibliográfica elaborada na fase de registro das fontes.
- Formalização às normas de apresentação e aprimoramento da comunicação e expressão do texto.

Os resultados da aplicação dessas etapas são apresentados ao longo da próxima seção do trabalho.

4 RESULTADOS

Os termos que foram definidos na etapa de delimitação do tema, descrita na seção 3.2, e que deram início ao processo investigativo foram: História da fibra ótica; História da espectroscopia; Ótica geométrica; Descartes. Com isso foi possível realizar a busca em plataforma digital de busca e a selecionar fontes bibliográficas com conteúdo histórico. As obras selecionadas são caracterizadas a seguir.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES HISTÓRICAS

As fontes selecionadas foram os artigos *The early history of spectroscopy* e *The history of spectroscopy as illustrated on stamps*, o livro *City of Light: The story of fiber optics* e um capítulo da obra *The Cambridge Descartes Lexicon*.

4.1.1 The Cambridge Descartes Lexicon

Descartes' Optics, é um capítulo do livro *The Cambridge Descartes Lexicon* (2015) obra com mais de 800 páginas que reúne trabalhos de 91 autores e tem dados referentes ao trabalho do pensador René Descartes na Filosofia, Ciências e Matemática. O capítulo foi escrito por Jeffrey McDonough, professor no Departamento de Filosofia da Universidade de Harvard, Estados Unidos.

Descartes' Optics apresenta a compreensão cartesiana da luz e descreve os fenômenos óticos identificados na obra *Dióptrica* elaborada em 1637 ao passo que analisa a trajetória científica e filosófica de Descartes. Dois dos fenômenos decorrentes da propagação da luz, mecanicamente interpretados por Descartes, são conteúdos específicos de ótica geométrica, a reflexão e refração.

McDonough comenta a existência de outras teorias semelhantes às de Descartes propostas por cientistas da mesma e outras épocas, bem como descreve algumas contribuições cartesianas para o progresso da ciência com a colaboração ao trabalho de outros cientistas.

4.1.2 City of Light: The Story of Fiber Optics

City of Light é obra do escritor e pesquisador Jeff Hecht, que trabalha nas áreas de Engenharia Ótica, Ótica e História da Ciência. Grande parte do seu trabalho envolve jornalismo científico, contribuindo regularmente em periódicos. Além dos livros voltados à compreensão de funcionamentos de tecnologias, em duas de suas obras o autor descreve historicamente o desenvolvimento de fibras óticas e lasers.

Em *City of Light* são apresentadas as primeiras pesquisas para guiar a luz e o ambiente onde foram propostos os experimentos, as primeiras utilizações do fenômeno de reflexão total e as sugestões teóricas e experimentais de aprimoramento elaboradas com objetivos diferentes do que passariam a ser utilizadas. São descritas as redes de informação científica e as articulações entre cientistas. Em meio ao

desenvolvimento e aprimoramento tecnológico são relatados alguns fatores sociais, econômicos e situacionais relacionados ao contexto científico e local que permitiram o progresso da tecnologia que atualmente ainda é objeto de estudo e aperfeiçoamento.

O livro que descreve o progresso da fibra ótica, *City of Light*, aborda em 18 capítulos desde os primeiros experimentos de guiamento de luz registrados até os últimos aprimoramentos da tecnologia que é fundamental para as redes de comunicações atuais.

4.1.3 The Early History of Spectroscopy

O artigo escrito por Nicholas Thomas foi publicado no *Journal of Chemical Education*, em 1991. O trabalho descreve a importância e as contribuições da interpretação de dados espectrais, ao passo que aborda o desenvolvimento histórico de quatro técnicas de espectrometria distintas: Espectrometria no Visível e Ultravioleta; Espectrometria no Infravermelho, Espectrometria de Massa e a Espectrometria de Ressonância Magnética Nuclear.

4.1.4 The history of spectroscopy as illustrated on stamps

O trabalho elaborado por Foil Miller, publicado no periódico *Applied Spectroscopy*, em 1983, aborda em sete páginas o desenvolvimento histórico da espectroscopia ao mesmo tempo que cita e exhibe selos que fazem referência a cientistas e propostas científicas.

O artigo é dividido em duas partes. A primeira diz respeito às técnicas experimentais, descrevendo as fundamentais observações espectrais, os sistemas práticos utilizados e aperfeiçoados e os cientistas que colaboraram nos avanços instrumentais. A segunda parte é voltada à compreensão do espectro eletromagnético e da interação entre radiação e matéria. Também sob análise histórica são descritas propriedades físicas da luz, características do espectro eletromagnético e os cientistas que trabalharam no desenvolvimento científico.

4.2 DESCRIÇÃO DO MATERIAL ELABORADO

O material de ensino abordando a história da ótica e de tecnologias baseadas em luz é organizado em três tópicos. O primeiro é referente ao conhecimento teórico

e científico da física no campo da ótica geométrica. Descreve parte inicial do desenvolvimento do estudo da propagação da luz: a contribuição elaborada por René Descartes com a publicação da obra *Dióptrica*, além disso, esse tópico apresenta desenvolvimento conceitual a respeito de reflexão e refração que fundamentam a compreensão das temáticas abordadas na sequência. Por fim, o texto apresenta as condições necessárias para a reflexão total da luz, um caso especial que volta a ser abordado na descrição do funcionamento da fibra ótica.

O segundo tópico promove o desenvolvimento histórico da fibra ótica mediante a apresentação dos cientistas pesquisadores que iniciaram e deram continuidade ao trabalho de inovação tecnológica em cenários históricos distintos. Os trabalhos de contribuição realizados por eles diante dos desafios teóricos e práticos são comentados. Após a descrição histórica que conclui no funcionamento conceitual das fibras, o material indica um experimento de caráter demonstrativo que simula a operação de um sistema de comunicação por fibra ótica.

Em seguida, é descrito o fenômeno físico relacionado à refração da luz: a dispersão, que além de sua conceituação, faz-se a apresentação sob ponto de vista histórico. Aborda-se parte do desenvolvimento da espectroscopia, apontando avanços específicos quanto ao avanço da tecnologia a partir do experimento de dispersão. Destaca-se a contribuição experimental de diversos cientistas, conduzindo a descobertas científicas importantes e que relacionam teoria à prática.

Ao descrever a contribuição de Descartes, expressa-se que cientistas alcançam resultados semelhantes a partir de abordagens diferentes de um mesmo problema. Nesse sentido, o aspecto da ciência que diz respeito ao trabalho semelhante ou complementar entre cientistas pode ser identificado. Além disso, o texto indica a percepção de fenômenos físicos de ótica em aplicações tecnológicas, propondo exemplos diferentes em relação ao que normalmente é comentado quanto a aspectos de Física que impactam em situações do cotidiano.

Os textos referentes à criação e o desenvolvimento da fibra ótica e da espectroscopia, respectivamente presentes no segundo e no terceiro tópico do material elaborado, promovem o debate quanto a aspectos da natureza e da cultura da ciência ao relacionar o desenvolvimento científico a:

- a) Aspectos de cenário político e econômico influenciando nas escolhas de cientistas, como quando Narinder Kapany optou por ir aos Estados Unidos desenvolver sua pesquisa em um período de investimento em ciência.
- b) Trabalho desenvolvido em equipes como nas contribuições propostas por Maurer, Schultz e Keck nas fibras óticas e por Kirchhof e Bunsen nas análises espectrais. Outra proposta relacionada a trabalho em conjunto e que pode ser identificada é a continuidade ao trabalho de outros pesquisadores evidenciado em todo desenvolvimento da fibra ótica e da espectroscopia, quando cientistas se baseiam em contribuições de outros para a elaboração das técnicas de aprimoramento experimental.
- c) Pesquisa científica em ambientes acadêmicos, quando comenta trabalhos que foram realizados por professores pesquisadores como Colladon na Universidade de Genebra, Faraday e Tyndall no Royal Institute britânico, e Hopkins e Kapany na Royal Society.
- d) O surgimento de desafios a serem superados. Por exemplo diante da necessidade de aperfeiçoamento das fibras para viabilizar a utilização em comunicações óticas.
- e) Por último, podemos citar os indicadores do caráter experimental na prática científica e no desenvolvimento das tecnologias associadas à luz. Ao longo dos textos são descritos experimentos que foram realizados e contribuíram tanto para o início quanto para o progresso das tecnologias. Por exemplo, nos experimentos de condução e dispersão da luz e nos aperfeiçoamentos dos aparatos experimentais elaborados por Wollaston e Fraunhofer.

4.3 MATERIAL HISTORIOGRÁFICO VOLTADO AO ENSINO DE ÓTICA

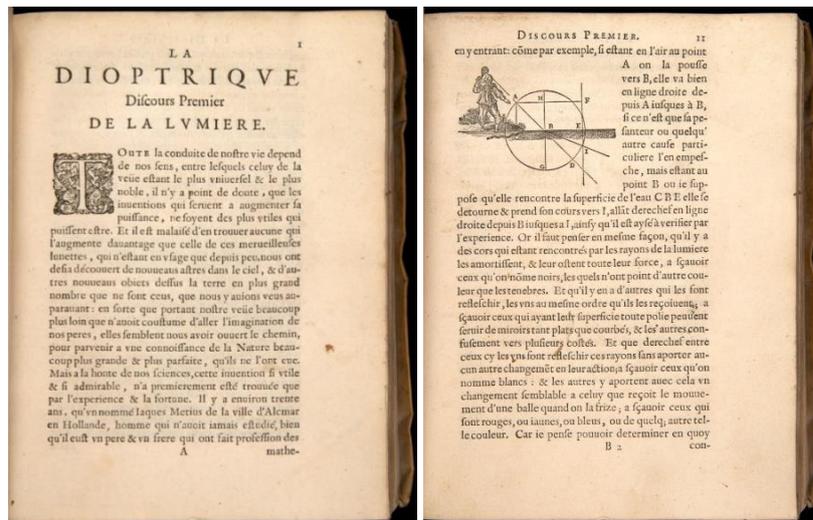
4.3.1 A propagação da luz por Descartes

A seguir é apresentado o texto referente ao desenvolvimento do trabalho de Descartes em sua teoria para a propagação da luz. O conteúdo é direcionado à contextualização do conteúdo e a descrever aspectos conceituais necessários para a compreensão da reflexão e refração da luz, tópicos fundamentais para os casos especiais de reflexão total e dispersão que serão abordados em seguida.

Em 1637, René Descartes expressou propriedades da luz no trabalho Dióptrica, figura 1, a obra apresentou contribuições para o desenvolvimento da teoria

ótica, principalmente nas propostas a respeito da propagação luminosa. Entre os temas tratados, há dois tópicos que constam na ótica geométrica: a reflexão e a refração da luz. A abordagem de Descartes utiliza analogias com o movimento de objetos para a compreensão conceitual da propagação da luz e desenvolvimento da descrição matemática. Willebrord Snell, também cientista da época, propôs um modelo com resultados semelhantes para a refração da luz, mas apesar do debate não há evidencia definitiva de plágio nos trabalhos. Além de Snell, Pierre Fermat cerca de 20 anos depois demonstrou resultados equivalentes ao de Descartes a partir da acepção que ao se propagar de um ponto ao outro a luz percorre a trajetória de menor tempo.

Figura 1 – Páginas da obra Dióptrica de Renée Descartes.



Fonte: Wikipédia (Acesso em 22/10/2019. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Dioptrique>)

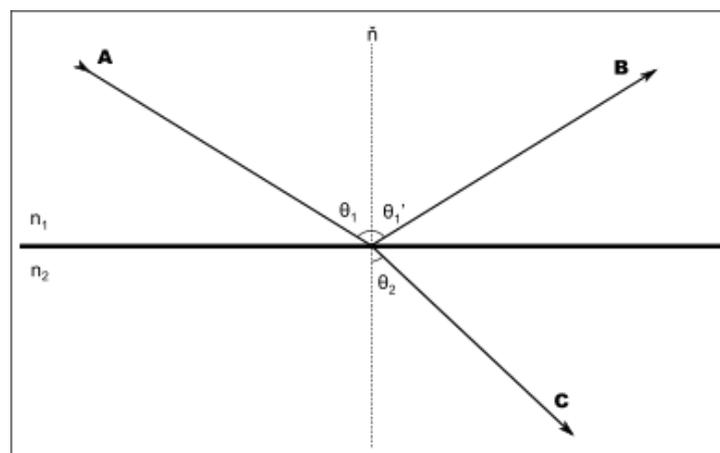
Na obra, Descartes propõe semelhança entre o movimento descrito por uma bola de tênis sendo atirada em uma superfície rígida e a luz quando refletida. A geometria dos fenômenos é analisada sob leis da Mecânica. O ângulo que a luz e bola são refletidos é objeto de análise e a conclusão, em conformidade com o conhecimento Grego, é de que os ângulos de incidência e de reflexão são iguais.

A interpretação mecânica do fenômeno também foi utilizada para modelar uma situação onde a superfície deixa de ser rígida e intransponível. Nessa acepção a bola é capaz de continuar sua trajetória perdendo parte da componente normal de sua

velocidade na interface dos meios. Ao contrário do que é verificado na mecânica, o resultado experimental para o caso de refração da luz indica que há a aproximação à reta normal, implicando no aumento da componente normal da velocidade da luz. Descartes verificou que a razão entre o seno do ângulo de incidência e o seno do ângulo de refração é uma constante determinada pela razão entre as velocidades de propagação nos meios. Dessa maneira, a “resistência” que os meios materiais apresentam para a propagação da luz, determina a direção de refração do feixe. Esta “resistência” do meio está relacionada com a maneira como a luz interage com os átomos e moléculas do material e é representada por uma grandeza macroscópica denominada índice de refração (n) absoluto do meio.

O índice de refração absoluto do meio está relacionado com a velocidade de propagação da luz no meio e é calculado pela expressão $n=c/v$ onde c é a velocidade da luz no vácuo e v a velocidade de propagação da luz no meio, sendo que cada material possui um valor de n específico. Portanto, quanto maior a velocidade de propagação da luz, menor o valor de n . Na figura 2 é representada a trajetória da luz se propagando através de meios materiais homogêneos e transparentes de índice de refração distintos (n_1 e n_2). Ao atingir a descontinuidade que separa os meios (1 e 2), um feixe incidente (A) é parte refletido (B) ao meio 1 e parte refratado e transmitido ao meio dois (C).

Figura 2 – Representação de feixe incidindo em interface.



Fonte: Autoria própria (2019)

As leis de reflexão e refração da luz são enunciadas como: i) Os feixes A, B e C estão no mesmo plano. Esse plano contém tanto o raio incidente quanto a normal à interface \tilde{n} no ponto de incidência e é denominado plano de incidência. ii) O ângulo θ_1 entre o feixe incidente e a normal \tilde{n} , é igual ao ângulo θ_1' entre o refletido e a normal \tilde{n} , ou seja, $\theta_1 = \theta_1'$. iii) A lei de Snell-Descartes: O ângulo θ_1 e o ângulo θ_2 , são relacionados pelos índices de refração dos meios 1 e 2, chamados de n_1 e n_2 , de modo que: $n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$.

Ainda com base na figura 2, nesse momento será comentado o caso especial que ocorre caso o meio 1 seja mais refringente do que o meio 2 ($n_1 > n_2$) e o feixe A tenha ângulo de incidência cujo o seno é maior do que a razão n_2/n_1 , ou seja, $\sin(\theta_1) > n_2/n_1$. Nessa situação, a lei de Snell-Descartes aponta que $\sin(\theta_2)$ deve ser maior do que 1. Para ângulos reais sabemos que a função seno assume valor máximo 1, então a condição descrita não é satisfeita pois o ângulo de incidência trata-se de um ângulo real. O que ocorre nesse caso?

Experimentalmente, esses são casos caracterizados pela reflexão total da luz, ou seja, não há raio refratado, toda a energia associada à luz é devolvida ao meio 1. Portanto, para luz indo de um meio mais refringente a um meio menos refringente podemos definir um ângulo crítico, o qual incidências com inclinações maiores do que ele, serão totalmente refletidas. A partir das condições comentadas definimos o ângulo crítico (θ_c) como: $\theta_c = \sin^{-1}(n_2/n_1)$.

Por exemplo, analisando a luz incidindo em uma interface vidro e ar, a velocidade de propagação da luz no vidro comum é de aproximadamente 200.000 quilômetros por segundo, já no ar a luz tem velocidade próxima a da luz no vácuo, 300.000 quilômetros por segundo. Esses dados indicam (pela expressão $n=c/v$) índices de refração que são aproximadamente 1,5 e 1,0, respectivamente. Portanto, se tem como ângulo crítico $\theta_c = \sin^{-1}(1/1,5) \cong 41,8^\circ$.

A reflexão e refração descrevem a trajetória da luz viajando em meios transparentes, esse tipo de evento é facilmente perceptível no cotidiano: quando vemos o reflexo em superfícies metálicas ou na água, também ao ver através de um líquido ou material transparente. Mas além disso, as leis da ótica também estão presentes no funcionamento de lasers, radares, fibras óticas e outras tecnologias que

temos acesso diário. A compreensão física dos fenômenos possibilita a manipulação dos parâmetros e a utilização da luz para fins tecnológicos.

4.3.2 A criação e o desenvolvimento da fibra ótica

O próximo texto diz respeito ao desenvolvimento histórico da fibra ótica. Serão descritos eventos que foram notáveis para o progresso da tecnologia, partindo de registros iniciais da utilização do fenômeno de reflexão total até os últimos aprimoramentos que possibilitaram a utilização em sistemas de comunicação via fibra ótica.

Em 1841, na Universidade de Genebra, Suíça, o professor Daniel Colladon, demonstrou a luz sendo guiada em uma corrente de água. O experimento foi descrito como “um dos mais lindos e mais curiosos experimentos que podem ser realizados em um curso de Ótica”. O sucesso da exibição científica ocorreu utilizando um sistema em que a luz solar era coletada e levada por uma conexão feita por tubo até uma lente responsável por focalizar a luz em um furo dentro de um tanque de água. O feixe de luz incidente no furo era guiado pela corrente e não se propagava como um feixe retilíneo. Um experimento análogo à demonstração de Colladon consta a seguir.

Figura 3 – Demonstração guiamento da luz



Fonte: A autoria própria (2019)

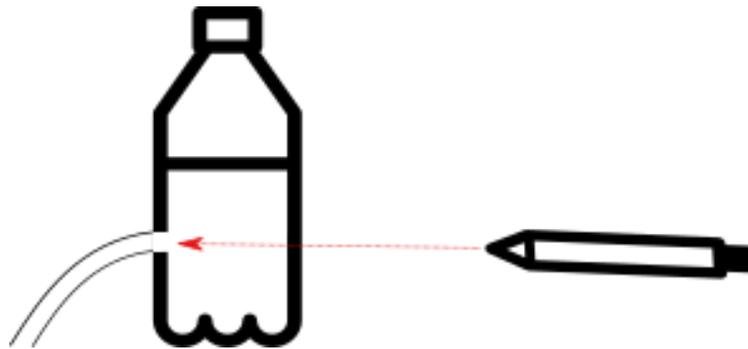
A prática demonstrativa, figura 3, é análoga à primordial apresentação realizada por Daniel Colladon em 1841. A realização possibilita visualizar o guiamento da luz por consecutivas reflexões totais.

A realização requer uma garrafa de água transparente com um furo, ela será o reservatório de água e responsável pelo fluxo de água que guiará a luz, e um laser

que irá produzir o feixe luminoso. A atividade quando realizada em local com baixa iluminação é mais notável.

A garrafa, completa com água, é posicionada sobre uma superfície estável e o feixe de luz do laser é direcionado ao furo da garrafa, onde inicia a corrente de água. A figura 4 demonstra a montagem experimental utilizada.

Figura 4 – Esquema experimental para demonstração de guiamento da luz



Fonte: Autoria própria (2019)

No mesmo período de Colladon, Jacques Babinet, especialista em ótica fazia demonstrações experimentais semelhantes na França para guiar luz em hastes curvadas de vidro. Apesar de que o guiamento somente era possível por pequenas distâncias devido à baixa qualidade dos vidros da época, Babinet sugeriu a aplicação do efeito para a iluminação de cavidades bucais.

Colladon também participou do início das aplicações para feixes guiados de luz quando em 1854 ajudou a Opera Paris a aprimorar os efeitos especiais da obra de ballet “Élias et Mysis” utilizando sistemas de luz guiada. Outras operas e alguns brinquedos de alto custo tiveram sistemas de iluminação que se baseavam nas reflexões totais da luz.

Na Inglaterra utilizaram fontes de água com luz guiada para simbolizar o progresso tecnológico e grandes fontes ganharam destaque pelas exibições promovidas em eventos como a International Health Exhibition e a Royal Jubilee Exhibition. Os sistemas de iluminação e as estruturas das apresentações foram aperfeiçoadas para espetáculos de maiores escalas. Em Paris, após da exibição das fontes na Exposição Universal de 1889 (figura 5), Colladon foi reconhecido como o pai das fontes iluminadas.

Figura 5 – Fontes iluminadas na exposição universal de 1889, em Paris.



Fonte: Abebooks (Acesso em 22/10/2019. Disponível em <https://www.abebooks.fr/livres/livre-tisse-paris-1889-exposition/index.shtml>)

Em 1854 Michael Faraday sugeriu a John Tyndall a demonstração do guiamento da luz em corrente de água para a conclusão de uma palestra no Royal Institute. Tyndall foi um cientista popular e descreveu o fenômeno como: “a reflexão total da luz na superfície comum entre dois meios de índices de refração diferentes”. Em suas publicações ele não atribuiu o experimento a outro cientista, entretanto em seus manuscritos se desculpou por não ter apresentado algo inteiramente novo. A falta de creditação ocorreu pois Faraday, seu mentor, teve problemas de memória e não informou a ele quem teria proposto o experimento pela primeira vez.

O fenômeno já era bem compreendido quando demonstrado por Tyndall, mas devido à grande circulação de um de seus livros que apresentava a demonstração da luz sendo guiada, os pioneiros da fibra ótica atribuíram a ele a descoberta.

Durante o final do século 19 as fibras de vidro, utilizadas para decoração em espetáculos passaram a ser sugeridas por cientistas norte-americanos e europeus para a transmissão de imagens, um projeto de destaque foi desenvolvido em 1910 pelo francês Saint-René. O sistema proposto utilizava um agrupamento de hastes de vidro para a transmissão de imagens remotamente, entretanto o projeto não era factível devido a limitações de ordem prática da época.

A criação da fibra ótica é atribuída a Narinder Kapany, ele nasceu em 1927 em Moga, na Índia e após a graduação realizada em seu país completou estudos avançados em Ótica no Imperial College of Science and Technology em Londres. Em 1952, Harold Hopkins que era professor na Royal Society deu oportunidade e pagou Kapany para trabalhar como assistente na instituição Britânica até que em 1954 publicaram na revista Nature uma proposta de desenvolvimento de um equipamento com o objetivo de transmitir imagens utilizando agrupamento de fibras.

A autoria pela invenção da fibra ótica foi motivo de debate entre os cientistas, Hopkins defendeu que Kapany não contribuiu em nada para as reflexões a respeito do projeto, e que teria apenas sido um “par de mãos”. Por outro lado, Kapany argumentou que o professor era muito teórico para apreciar as habilidades práticas realizadas por ele.

Após a conclusão da sua tese de doutorado em 1955, Kapany continuou as pesquisas de desenvolvimento das fibras óticas nos Estados Unidos, país que realizava investimento em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia. Nesse período cientistas que pesquisavam a respeito de fibras óticas iniciavam projetos com o intuito de reduzir as perdas de intensidade ótica na transmissão. Os vidros utilizados para a fabricação das fibras passaram a ser aprimorados com estudos tratando técnicas de revestimento, limpeza e purificação do material.

O trabalho de maior destaque voltado ao aperfeiçoamento das fibras óticas foi realizado por Charles Kao em 1965 quando em publicação descreveu a perda ótica máxima de 20 decibéis por quilômetro, necessária para que a tecnologia pudesse ser utilizada em sistemas de comunicação. Cientistas em laboratórios nos Estados Unidos, Japão e países da Europa desenvolviam técnicas para que a meta proposta por Kao fosse verificada experimentalmente. Isso ocorreu no início de 1970 quando na Corning Glass Works, três cientistas: Robert Maurer, Peter Schultz e Donald Keck (figura 6), desenvolveram uma fibra ótica com perda de 16 decibéis por quilômetro, suficiente para comunicações óticas, como proposto por Kao.

Figura 6 - Robert Maurer, Peter Schultz e Donald Keck ao lado de um cabo de fibra ótica.

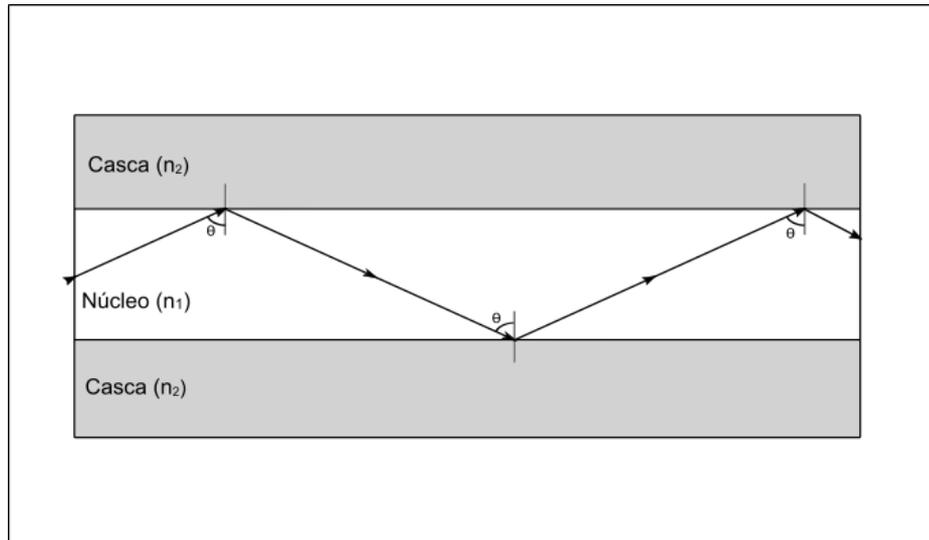


Fonte: Engineering and Technology History Wiki (Acesso em 22/10/2019. Disponível em https://ethw.org/Milestones:World%27s_First_Low-Loss_Optical_Fiber_for_Telecommunications,_1970)

Em uma de suas palestras, Kao, que ganhou um prêmio Nobel de Física em 2009 pelas contribuições no aperfeiçoamento das comunicações óticas disse: “Ideias nem sempre surgem como um flash, mas sim por experimentos diligentes de tentativa e erro que necessitam de tempo e reflexão”.

Atualmente os sistemas de comunicação óticos utilizam fibras em que o núcleo é dopado com um elemento responsável por proporcionar o aumento do índice de refração em relação à camada externa, chamada casca. Isso possibilita que as reflexões totais consecutivas ocorram na interface entre núcleo e casca e guiem a luz originada de uma fonte ótica até um detector que traduza a informação que se pretende transmitir. A figura 7, apresenta uma transmissão em fibra ótica, a luz no interior é guiada através de seguidas reflexões totais quando incidem com ângulo θ na interface núcleo e casca.

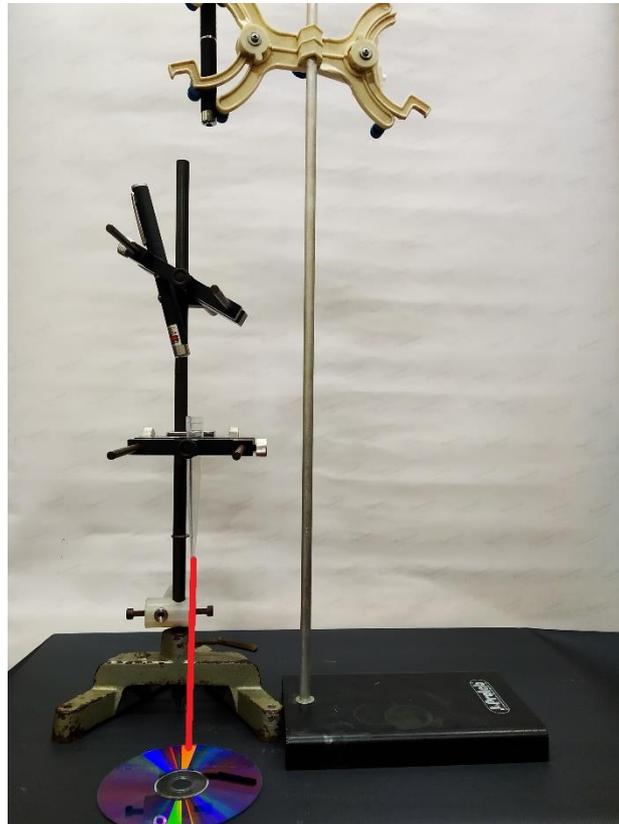
Figura 7 – Representação da propagação de feixe em fibra ótica.



Fonte: Autoria própria (2019)

Num sistema de comunicação ótica, cada comprimento de onda (cor) da luz transmitida pela fibra ótica “carrega” uma dada informação. Como são inúmeros os comprimentos de onda que podem ser transmitidos ao mesmo tempo, a capacidade de transmissão de informação destes sistemas é aumentada. No entanto, nos sistemas de recepção dos sinais, estes comprimentos de onda precisam ser separados para que as informações possam ser lidas. A montagem experimental proposta a seguir, figura 8, demonstra o acoplamento, a transmissão e a recepção de sinais em uma fibra ótica.

Figura 8 – Montagem experimental para demonstração de transmissão em fibras óticas. Sobre a fibra ótica foi traçada uma linha vermelha para possibilitar a visualização.



Fonte: Autoria própria (2019)

Dois lasers que emitem em cores diferentes, verde e vermelha, são utilizados como fontes de luz, cada cor supostamente carrega dados referentes a uma informação que se pretende transmitir. Os feixes são acoplados à fibra ótica e são transmitidos pela mesma até a outra extremidade da fibra. A luz que sai da fibra é formada pela mistura dos dois feixes originais e, portanto, as cores não são mais visualizadas individualmente. Para a separação das cores componentes, o feixe é direcionado a um CD que atua como rede de difração. As redes de difração utilizam o fenômeno de interferência, semelhante ao que ocorre com ondas sonoras, e é estudo da ótica física ondulatória. Tal fenômeno é responsável pela separação espacial das cores componentes do feixe dando origem aos pontos luminosos de cores diferentes (vermelho e verde) que podem ser vistos na figura 9.

Figura 9 – Sinais óticos que incidiram no mesmo feixe sendo separados.

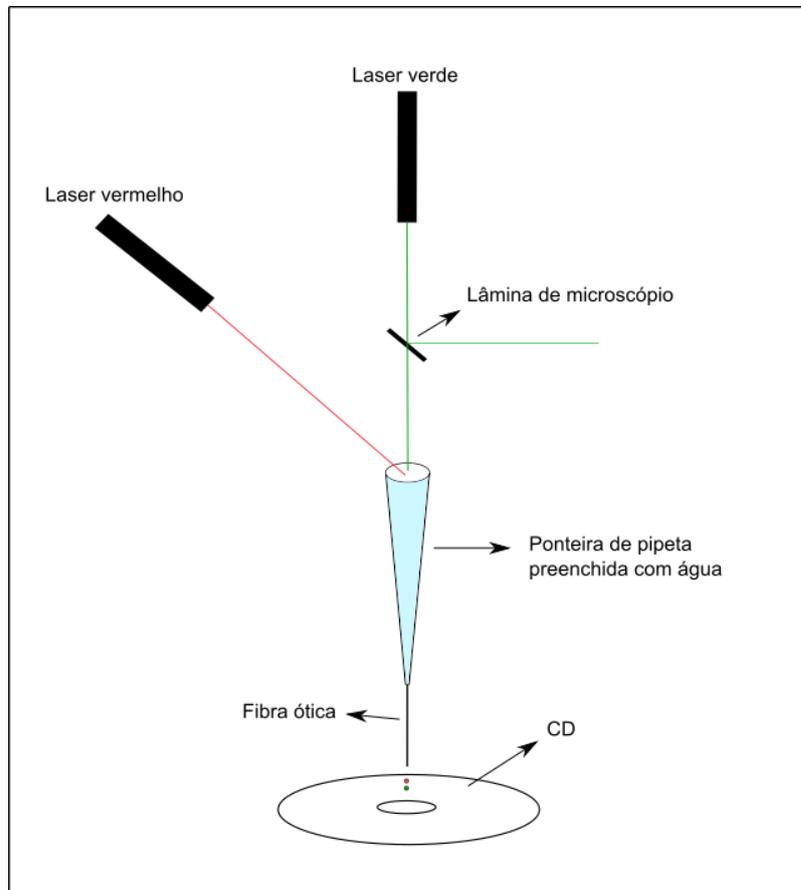


Fonte: Autoria própria (2019)

Para a realização da demonstração, é necessário fixar uma fibra ótica de plástico (POF) na extremidade menor de uma ponteira de pipeta. Isso foi feito utilizando cola quente. A ponteira é utilizada para acoplar a luz na fibra, pois consecutivas reflexões totais ocorrem no interior da ponteira preenchida com água fazendo com que a luz que incide em uma extremidade seja conduzida até a ponta da fibra ótica posicionada na outra extremidade da ponteira.

A montagem sugerida e que pode ser adaptada, fundamenta-se em dois lasers que operam em comprimentos de onda diferentes, sendo direcionados para a ponteira de pipeta preenchida com água. Entre o laser que incide com 90° e a ponteira é posicionado uma lâmina de microscópio à 60° para refletir parte da luz e transmitir a outra até o sistema acoplador, diminuindo a intensidade do feixe que incide perpendicularmente. O sistema deve transmitir a luz dos dois lasers até a outra extremidade da fibra. A ponta da fibra ótica é posicionada acima de um CD, que separa as cores formadoras do feixe incidente, figura 9. A demonstração requer local com baixa iluminação. A figura 10 apresenta montagem para a prática.

Figura 10 – Esquema experimental para prática de acoplamento, transmissão e decodificação de sinal ótico.



Fonte: Autoria própria (2019)

4.3.3 A criação e o desenvolvimento da espectroscopia

O texto a seguir refere-se à história da espectroscopia, o conteúdo apresenta o início e o aprimoramento de técnicas experimentais que conduziram o desenvolvimento da tecnologia. Nele são descritos momentos que demonstram aspectos da atividade científica e que podem ser abordados durante o ensino de Física.

A história da espectroscopia começa com a verificação do fenômeno ótico de dispersão da luz, analisado pela primeira vez por Isaac Newton em 1666 quando observou um feixe de luz solar incidindo em um prisma de vidro e sendo decomposto em uma série de cores que eram desviadas com ângulos diferentes. Isso possibilitou a compreensão de que a luz branca incidente era formada por outras cores. A montagem experimental apresentada a seguir, é análoga à observação de Newton.

Figura 11 – Demonstração da dispersão da luz em um prisma



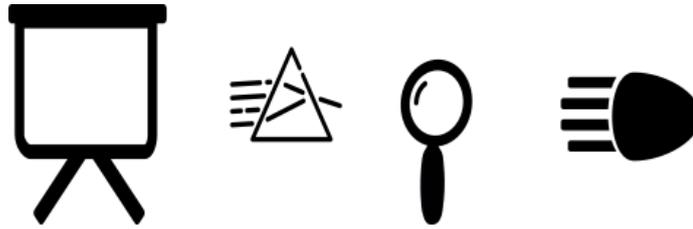
Fonte: Autoria própria (2019)

A demonstração, figura 11, é similar ao que Isaac Newton verificou em 1666 em seu laboratório. Atribuem a esse experimento a primeira análise da composição da luz branca e a visualização de um espectro solar, portanto é um experimento notório na história da ciência.

Para a visualização da dispersão o aparato experimental é apresentado na figura 12. A montagem requer uma fonte de luz branca, uma lente convergente, um prisma de vidro e um anteparo onde o feixe disperso é projetado. O local de realização com baixa iluminação permite a melhor visualização do fenômeno.

Em uma superfície plana e estável, o prisma de vidro deve ser posicionado próximo ao foco da lente convergente. A luz branca, ao atingir a lente é focalizada no prisma, que refrata as cores que formam a luz branca em ângulos diferentes, caracterizando a dispersão. Em um anteparo posicionado atrás do prisma há a projeção de um espectro de luz.

Figura 12 – Esquema experimental para demonstração de dispersão.

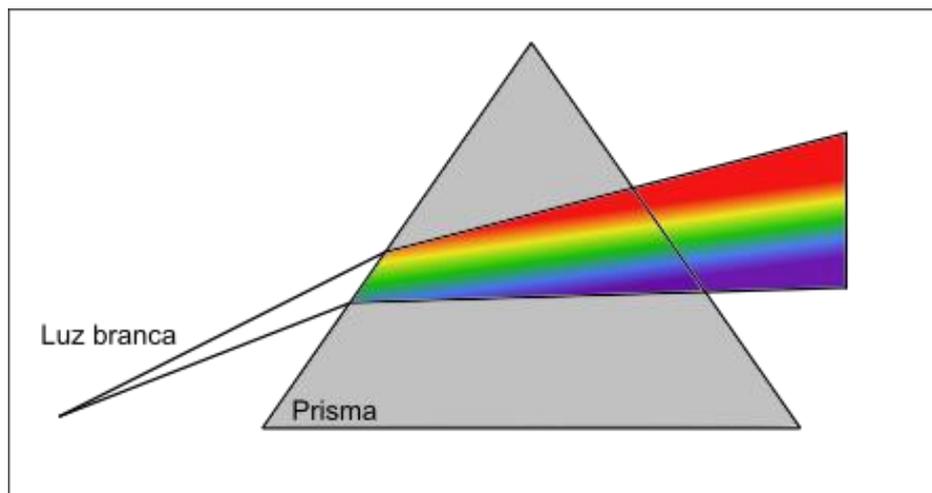


Fonte: Autoria própria (2019)

O estudo de Newton que apresentava a descoberta foi publicado em 1672 sob o título “A nova teoria sobre luz e cores”. Esse trabalho é importante na história da ciência e introduz a palavra espectro. Newton escolheu *spectrum* em referência a fantasmas, pois ao mover ligeiramente o prisma, a imagem formada pulava de posição em um movimento que lhe parecia fantasmagórico.

A dispersão, figura 13, ocorre pois o índice de refração do meio material varia de acordo com o comprimento de onda da luz incidente, isso implica que cores diferentes são refratadas com ângulos distintos, ou seja, em um prisma a luz incidente é refratada com cada cor sendo transmitida em um ângulo próprio, projetando separadamente as cores que formam o feixe inicial.

Figura 13 – Diagrama de dispersão de luz branca em prisma



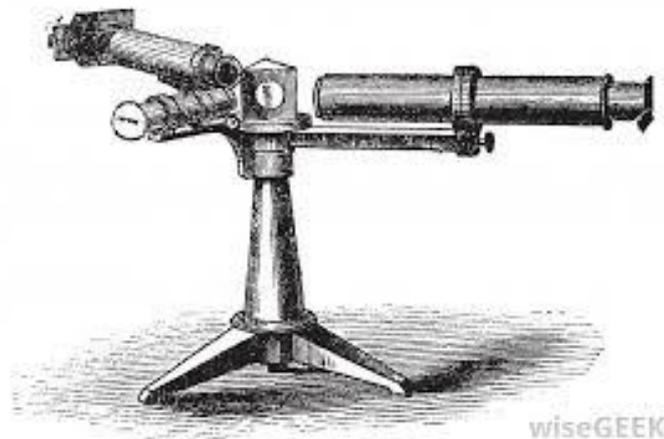
Fonte: Autoria própria (2019)

Um próximo estudo relevante de espectroscopia seria em 1802 quando William Wollaston aperfeiçoou o experimento proposto por Newton utilizando uma fenda

estreita ao lugar de uma abertura circular para a formação do raio luminoso, a projeção do feixe quando dispersado foi um espectro com o formato da fenda e contínuo. Esse avanço experimental foi fundamental para facilitar as análises dos espectros.

Joseph von Fraunhofer modificou o sistema experimental colocando uma lente convexa como colimador entre a fenda e o prisma, além disso conectou um telescópio para analisar o espectro transmitido. Assim desenvolveu um instrumento mais complexo: o espectroscópio, figura 14, que possibilitou a análise do espectro solar e de outras estrelas.

Figura 14 – Desenho de espectroscópio de Fraunhofer



Fonte: WisegEEK (Acesso em 22/10/2019. Disponível em <https://www.wisegEEK.com/what-is-a-spectroscope.htm#>)

Em 1822 o astrônomo John Herschel, utilizando um espectroscópio examinou a luz emitida pela queima de diferentes objetos, com isso constatou que era possível detectar quantidades pequenas de um material analisando as linhas espectrais verificadas, essa realização marca o início das análises espectrais que futuramente seriam desenvolvidas por Paul Kirchhof e Robert Bunsen.

Kirchhof elaborou a teoria que relaciona a absorção e a emissão de luz, segundo ele uma substância que tem emissão em um determinado comprimento de onda, também deve absorver luz de mesmo comprimento. Ainda nessa área de pesquisa em 1859, em conjunto com Bunsen, que era professor de química em Heidelberg, desenvolveram experimentalmente um espectroscópio para analisar a emissão de amostras de substâncias puras e concluíram mostrando que cada átomo

é responsável por produzir uma série de linhas espectrais únicas. Com isso era possível identificar átomos e substâncias químicas através da análise espectral na região visível. A teoria teve grande sucesso, possibilitando a análise química da atmosfera solar e sendo diretamente responsável pela descoberta de elementos nos anos seguintes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As etapas de elaboração do material podem ser aplicadas na criação de conteúdos voltados ao ensino com viés histórico e científico, não direcionadas apenas ao ensino de conceitos, mas a viabilizar uma visão crítica a respeito do desenvolvimento da ciência e da tecnologia, como defendido no trabalho.

A escolha da abordagem utilizada na elaboração do material foi articulada às propostas e sugestões de inclusão da história da ciência no ensino para que o conteúdo seja voltado à apresentação de questões epistemológicas da ciência e apresente o desenvolvimento tecnológico associado à pesquisa e ao progresso dos métodos científicos. Nesse sentido, o texto desenvolvido apresenta tanto elementos específicos do conhecimento em ótica como peculiaridades dos temas abordados que demonstram sutilmente aspectos do progresso científico e tecnológico. Durante a elaboração do material se objetivou prudência para que as implicações da falta de compreensão dos diferentes períodos históricos abordados, bem como opiniões e concepções prévias fossem minimizadas em vista de uma proposta baseada em fatos.

É desejável e deve ser considerada uma meta a atingir (ou, pelo menos da qual procuremos nos aproximar ao máximo), que nossa reconstrução seja feita da forma mais imparcial possível e que nos familiarizemos com o contexto histórico, científico, social etc. que estamos estudando e que procuremos deixar nossos preconceitos de lado. (MARTINS, 2005, p. 316)

A pesquisa por documentos secundários como fontes históricas demonstrou que a produção do conteúdo nessa área é feita maior parte em língua inglesa. As descrições históricas necessárias para que o material seja alinhado às orientações presentes na literatura foram encontradas em livros e artigos sob análise de conteúdo e forma previamente ao desenvolvimento metodológico ser aplicado.

As montagens experimentais descritas no material podem ser adaptadas e fundamentar atividades de ensino em vista que proporcionam a visualização dos

fenômenos relacionados aos temas apresentados. Além disso, a prática de simulação de sistema de comunicação por fibra ótica introduz a ótica física ondulatória por relacionar a interferência da luz e redes de difração a partir das observações decorrentes da montagem.

Para continuidade do trabalho propõe-se a aplicação do material em contexto de ensino, em aula, visando possibilitar a análise do resultado educacional, bem como a receptividade de estudantes quanto à abordagem proposta.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. A. N. de; LOPES, N. C.; CARVALHO, W. L. P. Uma análise crítica do Laboratório Didático de Física: a experimentação como uma ferramenta para a cultura científica. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: UFSC, 2009. Disponível em: <<http://axpfep1.if.usp.br/~profis/arquivos/viiienpec/VII%20ENPEC%20-%202009/www.foco.fae.ufmg.br/cd/pdfs/1161.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2019.
- AULER, D. Alfabetização científico-tecnológica: um novo "paradigma"? **Ensaio pesquisa em educação em ciências**, v. 5, n. 1, 2003.
- ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. **Science & Education**, v. 13, n. 3, p. 179-195, 2004.
- AYDIN, S. Remediation of misconceptions about geometric optics using conceptual change texts. **Journal of Education Research and Behavioral Sciences**, v. 1, n. 1, p. 001-012, 2012.
- BATALHÃO, T. B. et al. (Org). **Laboratório de Física IV**: livro de práticas. São Carlos: Ed. IFSC/USP, 2013. Disponível em: <<http://granada.ifsc.usp.br/labApoio/images/apostilas/fisicaiv-200815.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2019
- BATISTA, I. de L. O ensino de teorias físicas mediante uma estrutura histórico-filosófica. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 461-476, 2004.
- BOSS, S. L. B. et al. Contribuições da história da ciência para o ensino do conceito de carga elétrica - Os princípios de Du Fay para eletricidade. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18., 2009, Vitória. **Anais eletrônicos...** Vitória: UFES, 2009. Disponível em: <http://www.ciencia.mao.usp.br/dados/snef/_contribuicoesdahistoriad.trabalho.pdf>. Acesso em: 19 out. 2019.
- DELIZOICOV, D. et al. **Ensino de Ciências**: fundamentos e métodos. São Paulo: Cortez, 2002.
- DINIZ, Leandro Araújo. Dificuldades no processo de ensino-aprendizagem de Ótica: um estudo de caso. 2015.
- FORATO, T. C. de M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. de A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.
- FOUREZ, G. **Alfabetización científica y tecnológica**: acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias. Buenos Aires: Colihue SRL, 1997.

GALILI, I.; HAZAN, A. Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 1, p. 57-88, 2000.

GHATAK, Ajoy; BHADRA, Shyamal Kumar. Wonders of the optical fiber. **Science and Culture**, v. 81, n. 11-12, p. 298-308, 2015.

GIRCOREANO, J. P.; PACCA, J. L. A. O ensino da óptica na perspectiva de compreender a luz e a visao. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 18, n. 1, p. 26-40, 2001.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de empresas**, v. 35, n. 3, p. 20-29, 1995.

GOLDBERG, F. M.; MCDERMOTT, L. C. An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. **American journal of physics**, v. 55, n. 2, p. 108-119, 1987.

GOULART, S. M.; DIAS, E. C. N.; SOUSA B. S. de. Conceitos espontâneos de crianças sobre fenômenos relativos à luz: análise qualitativa. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 6, n. 1, p. 9-20, 1989.

HARRES, J. B. S. Um teste para detectar concepções alternativas sobre tópicos introdutórios de ótica geométrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 10, n. 3, p. 220-234, 1993.

HECHT, J. **City of light: the story of fiber optics**. Oxônia: Oxford University Press, 2004.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las ciências: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 12, n. 3, p. 299-313, 1994.

LA ROSA, C. et al. Commonsense knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into the properties of light. **European Journal of Science Education**, v. 6, n. 4, p. 387-397, 1984.

LIMA, T. C.S; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katálisis**, v. 10, n. 1, p. 37-45, 2007.

LOPES, E. B. **Refração e o Ensino de Óptica**. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MACEDO, N. D. de.. **Iniciação à pesquisa bibliográfica: guia do estudante para a fundamentação do trabalho de pesquisa**. São Paulo: Loyola, 1995.

MARTINS, R. de A. Física e história. **Ciência e Cultura**, v. 57, n. 3, p. 25-29, 2005.

MARTINS, L. A. P. História da ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MATTHEWS, M. R. **Science teaching**: The contribution of history and philosophy of science. Londres: Routledge, 2014.

MAZZOTTI, A. J. A. O planejamento de pesquisas qualitativas em educação. **Cadernos de pesquisa**, n. 77, p. 53-61, 1991.

MILLER, F. A. The history of spectroscopy as illustrated on stamps. **Applied Spectroscopy**, v. 37, n. 3, p. 219-225, 1983.

MOTA, A. R. L.; SANTOS, J. B. L. dos. Investigating students' conceptual change about colour in an innovative research-based teaching sequence. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 1, 2018.

NOLAN, L. (Ed). **The Cambridge Descartes Lexicon**. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.

NUSSENZVEIG, H. M. **Ótica, relatividade e física quântica**: Curso de Física básica. São Paulo: Blucher, 1998.

OSBORNE, J. F. et al. Young children's (7-11) ideas about light and their development. **International Journal of Science Education**, v. 15, n. 1, p. 83-93, 1993.

PALACIOS, F. J. P.; CAZORLA, F. N.; MADRID, A. C. Misconceptions on geometric optics and their association with relevant educational variables. **International Journal of Science Education**, v. 11, n. 3, p. 273-286, 1989.

PEDRETTI, E.; NAZIR, J. Currents in STSE education: Mapping a complex field, 40 years on. **Science education**, v. 95, n. 4, p. 601-626, 2011.

PIZZANI, L. et al. A arte da pesquisa bibliográfica na busca do conhecimento. **RDBC: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, v. 10, n. 2, p. 53-66, 2012.

RICARDO, E. C. Problematização e contextualização no ensino de física. **Ensino de Física. São Paulo: Cengage Learning**, p. 29-48, 2010.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. de. A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 1, p. 53-65, 2003.

SILVA, M. A.F. M. da; TAVARES, Jr. A. D. A importância do Ensino da Óptica para o desenvolvimento das tecnologias modernas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16., 2005, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...**Rio de Janeiro: CEFET/RJ, 2005. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=snef&cod=_aimportanciadoens_inodaop>. Acesso em 19 out 2019.

SOUZA, P. H. de; ZANETIC, J. Um diálogo entre a cultura e o perfil epistemológico do conceito de tempo no ensino de física. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 11., 2008, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba: UTFPR, 2008. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=epef&cod=_umdialogoentreaaculturaeo>. Acesso em: 19 out. 2019.

STRIEDER, R. B.. **Abordagem CTS e ensino médio: espaços de articulação.** 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

THOMAS, Nicholas C. The early history of spectroscopy. **Journal of chemical education**, v. 68, n. 8, p. 631, 1991.

VILAÇA, M. L. C. Pesquisa e ensino: considerações e reflexões. **Revista e-scrita: Revista do Curso de Letras da UNIABEU**, v. 1, n. 2, p. 59-74, 2010.

ZANETIC, J. **Física também é cultura.** 1989. 252 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade de São Paulo, São Paulo 1989.