



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG
CENTRO DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES – CFP
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA – UACEN
CURSO LICENCIATURA EM FÍSICA

RANNYEL ÂNDERSON DOS SANTOS

**ONDA OU PARTÍCULA: CONCEPÇÕES SOBRE A NATUREZA DA LUZ E AS
IMPLICAÇÕES DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NA EDUCAÇÃO
BÁSICA**

CAJAZEIRAS

2023

RANNYEL ÂNDERSON DOS SANTOS

**ONDA OU PARTÍCULA: CONCEPÇÕES SOBRE A NATUREZA DA LUZ E AS
IMPLICAÇÕES DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NA EDUCAÇÃO
BÁSICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura em Física, do Centro de Formação de Professores (CFP) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Física, sob orientação do Prof. Dr. João Maria da Silva.

CAJAZEIRAS

2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação -(CIP)

S237o Santos, Rannyel Ânderson dos.
Onda ou partícula: concepções sobre a natureza da luz e as implicações da História e Filosofia da Ciência na educação básica / Rannyel Ânderson dos Santos. – Cajazeiras, 2023.
55f. : il.
Bibliografia.

Orientador: Prof. Dr. João Maria da Silva.
Monografia (Licenciatura em Física) UFCG/CFP, 2023.

1. Óptica. 2. Luz na antiguidade. 3. Fenômenos ópticos. 4. Ciências - História e Filosofia- HFC. 5. Dualidade da luz. I. Silva, João Maria da. II. Título.

UFCG/CFP/BS

CDU – 535

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Denize Santos Saraiva Lourenço CRB/15-046

RANNYEL ÂNDERSON DOS SANTOS

**ONDA OU PARTÍCULA: CONCEPÇÕES SOBRE A NATUREZA DA LUZ E AS
IMPLICAÇÕES DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NA EDUCAÇÃO
BÁSICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura em Física, do Centro de Formação de Professores (CFP) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Física, sob orientação do Prof. Dr. João Maria da Silva.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. João Maria da Silva (UFCG – CFP) – Orientador



Prof. Dr. Douglas Fregolente (UFCG – CFP) – Examinador



Prof. Me. Renato Ramalho (ECI Crispim Coelho) – Examinador Externo

Aprovado em: 27 de novembro de 2023

CAJAZEIRAS - 2023

AGRADECIMENTOS

Em todos os momentos da minha vida fui sustentado por Deus e com Ele consegui seguir firme diante os obstáculos que surgiram no decorrer da minha vida acadêmica dessa forma, agradeço a Ele pela oportunidade de vencer mais um desafio imposto em minha vida.

Aos meus pais e meus irmãos que sempre me apoiam em todas as minhas decisões e me motivam a enfrentar os desafios inerentes do dia a dia. Agradecimento especial a Dona Rozita, Seu João Bento (in memoriam) e tia Rozy que contribuíram para que me tornasse um cidadão íntegro.

Gratidão ao meu orientador Prof. Dr. João Maria que não pensou duas vezes em aceitar o processo de orientação e com paciência contribuiu para a conclusão deste trabalho, mesmo com datas tão apertadas e com trabalho em breve andamento. Aos demais professores que contribuíram com o meu processo de formação e alicerçaram as bases para que possa me tornar um profissional competente e que vai à luta na busca de melhorias para a educação básica.

Agradeço e dedico este trabalho a Anacleide e Raiane, pessoas tão especiais, que estão comigo em todos os momentos e com quem partilho as melhores risadas e os piores anseios. Aqui, também, deixo o meu agradecimento mais que especial aos meus amigos Aldanilo, Verônica e Luana, com quem compartilho uma rotina de trabalho intensa, mas que acaba se tornando extremamente feliz quando estou ao lado deles.

Não posso esquecer de mencionar pessoas que acabei conhecendo no decorrer da vida acadêmica e que se tornaram grandes amigos, entre eles destaco Daniele, Lucas, George e tantos outros. Sem esquecer de Jucilane, que se tornou uma grande amiga e que por um bom período permaneceu comigo na luta diária rumo a tão sonhada colação de grau, sem ela tudo ficaria mais difícil.

Aos meus amigos, que não citarei para não esquecer ninguém, que me acompanham a muito tempo e com quem por muita das vezes partilhei da rotina diária e aqui incluo os meus alunos, com quem construo conhecimento e divido boas risadas. Enfim, agradeço a todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram com meu processo de formação.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.
(Martin Luther King)

RESUMO

Os fenômenos luminosos são frequentes e essenciais em nossas atividades diárias, entretanto, entender a verdadeira essência do que é Luz e como seu conceito se estruturou ao longo dos anos exige uma análise de diversos períodos históricos que muitas das vezes não são mencionados no processo de ensino/aprendizagem da educação básica e nos cursos de formação de professores. Logo, com o auxílio da História e Filosofia das Ciências (HFC) podemos compreender como as controvérsias relacionadas a natureza ondulatória e corpuscular da Luz podem ser aplicadas em sala de aula e contribuir com a percepção de que os fenômenos ópticos não foram explicados e deduzidos em um curto intervalo de tempo. As discussões aqui propostas têm como base a revisão das pesquisas e das argumentações sugeridas por outros autores, sendo que parte dessas pesquisas foram selecionadas por meio do google acadêmico, SciELO, leitura de resumos, palavras-chave e outros sites que oferecem filtros para a seleção de textos convenientes a temática. Após a descrição podemos identificar como anda o estado da arte para essa temática e como ela é extremamente conveniente para aplicação em sala de aula.

Palavras-chave: Óptica, Luz, HFC, dualidade da Luz.

ABSTRACT

Luminous phenomena are frequent and essential in our daily activities. However, comprehending the nature of light and how its concept evolved over the years demands an analysis of various historical periods, often overlooked in the teaching/learning process in basic education and teacher training courses. Thus, with the aid of the History and Philosophy of Science (HPS), we can understand how controversies related to the wave-particle duality can be applied in the classroom and contribute to the understanding that optical phenomena were not explained and deduced in a short period of time. The discussions proposed here are based on the review of research and arguments suggested by other authors. Some of these studies were selected through Google Scholar, SCIELO, abstract readings, keywords, and other websites offering filters for selecting relevant texts. Following this overview, we can identify the state of the art for this topic and its high suitability for classroom application.

Keywords: Optics, Light, HPS, Wave–particle duality

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

A.C – Antes de Cristo

HFC – História e Filosofia das Ciências

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

PNLD – Programa Nacional do Livro Didático

Séc. – Século

PCN+ - Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio

NDC – Natureza da Ciência

LDB – Lei de Diretrizes e Bases

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. BREVES CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA NATUREZA DA LUZ NA ANTIGUIDADE	15
3. BASES HISTÓRICAS DE NEWTON PARA COMPREENSÃO DOS FENÔMENOS ÓPTICOS.....	19
4. IDADE MODERNA E CONTEMPORÂNEA: ALGUMAS DISCUSSÕES SOBRE A LUZ DURANTE E APÓS O SÉCULO XVIII.....	23
5. HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA: DISCUSSÕES E IMPLICAÇÕES PARA A PRÁTICA DOCENTE.....	38
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1. INTRODUÇÃO

O aparecimento de diversos efeitos ópticos são extremamente constantes e desempenham um papel fundamental nosso dia a dia, entretanto, entender como a Natureza da Luz se estruturou em um novo ramo da Física demanda um determinado período, haja vista que muitos Filósofos naturais e Físicos contribuíram para o desenvolvimento dessa área de conhecimento. Assim sendo, Aristóteles, Platão, Fermat, Huygens, Demócrito, Isaac Newton, René Descartes e outros, contribuíram significativamente com a construção de teorias que discutiam como o comportamento da Luz poderia ser explicado. Tantas definições, teorias e princípios que hoje parecem óbvios fizeram com que o desenvolvimento histórico da Óptica se tornasse amplo e nada abstrato.

Diante de tantos pressupostos, embates relativos à natureza da Luz começaram a emergir. Dentre eles, algumas correntes de pensamentos que originalmente surgiram da Grécia antiga e com o intuito de explicar o mecanismo da visão afirmavam que a Luz apresentava características corpusculares, e assim conseguiram explicar definições relativas aos fenômenos da Reflexão e Refração. Todavia, após o séc. XVII, cientistas como Christian Huygens, Thomas Young e Augustin Fresnell, propuseram que a Luz não apresentava, em sua natureza, características corpusculares, e sim ondulatórias. Portanto, duas teorias disputavam o favoritismo dos pesquisadores da época (Pesquisas anteriores ao séc. XVII também já apresentavam a possibilidade de a Luz apresentar características ondulatórias, mesmo sem muito avanço).

Como é amplamente conhecido, os embates épicos e as discussões que levam a construção do conhecimento científico são extremamente importantes, e dentre tais discussões se insere as controvérsias a respeito da natureza da Luz. Entretanto, é muito comum observar que a maioria dos docentes em seu processo de formação e ensino, não buscam aliar os conhecimentos Físicos inerentes a tais embates e como eles foram construídos. Nesse sentido, a ausência de tais fatos nos leva a crer que o processo de ensino/aprendizagem de Física se estruturou de maneira linear e estável, não levando em consideração a quebra de paradigmas existentes em seu processo de construção, pressupõe-se portanto, que fatos como período político, religião, economia e outros não são ponderados quando buscamos entender a construção e formação do conhecimento científico, haja vista que, o ensino das Ciências Físicas

está estruturado em fatores que parecem úteis, práticos, pragmáticos, objetivos e explícitos (FOUREZ, 1995).

Partindo desse pressuposto, a História e Filosofia das Ciências (HFC) cresce como uma das estratégias de ensino/aprendizagem que pode ampliar a construção do conhecimento científico. O que se torna evidente é que a HFC pode ser uma ferramenta importante para o Professor da Educação Básica, pois possibilita uma interligação com as Ciências, em especial a Física, além de se estruturar como uma estratégia motivacional e impulsionar o desenvolvimento de uma visão crítica dos estudantes para conceitos mais amplos e abrangentes (AZEVEDO & JÚNIOR, 2019).

Dessa forma, uma das maneiras de entender a natureza dual (partícula/onda) da Luz seria fazendo o uso da HFC, uma vez que, os fenômenos relacionados a luz datam de muito tempo atrás, e muitas das vezes os conhecimentos envolvendo esse ramo da Física são apresentados de maneira concisa, não despertando o interesse dos estudantes da educação básica e até mesmo dos discentes dos cursos de formação de professores. É incontestável, portanto, que a HFC é essencial para compreendermos a evolução de conceitos Ópticos, despertando a ampliação e amadurecimento de conceitos que já estão presentes na formação acadêmica dos estudantes da educação básica, transformando-se assim, em uma aprendizagem significativa, como proposto por David Ausubel.

Como se sabe, uma ampla classe de fenômenos ópticos foram descobertos e analisados ao longo de vários séculos, desde aqueles que buscavam compreender a verdadeira essência da Luz até o surgimento da atual indústria moderna da Óptica que fornece suporte as observações astronômicas. É nesse sentido que se insere o presente trabalho e, nos capítulos seguintes delimitarei as ideias provenientes a essa temática em três momentos distintos.

No primeiro capítulo deste trabalho apresento a percepção de Luz para Gregos e Árabes, extremamente necessária para a explicação de manifestações Ópticas que até então eram desconhecidas. Perceberemos que a percepção dos árabes e gregos em relação aos fenômenos luminosos eram distintas, mas foram o pontapé inicial para o desdobramento de descobertas e postulados. Os árabes antigos, como Alhazen, acreditavam que a Luz era composta por partículas emitidas pelos objetos, que entravam nos olhos e permitiam a visão, eles também estudaram a refração da Luz e desenvolveram teorias sobre a formação de imagens através de lentes. Por outro lado, os gregos, como Euclides e Aristóteles, consideravam a Luz como um raio emitido

pelos olhos, que iluminava os objetos e permitia vê-los. Eles não tinham uma compreensão precisa da natureza da Luz, mas estabeleceram os fundamentos para futuros estudos ópticos. Ambas as perspectivas contribuíram para o desenvolvimento da Óptica como área de estudo.

Por outro lado, no segundo capítulo, busco discutir sobre o legado de Issac Newton na tentativa de compreensão dos fenômenos luminosos e como ele se debruçou sobre ideias já construídas por outros pesquisadores contemporâneos a sua época. Neste trecho do trabalho, percebemos que Newton tinha uma visão corpuscular da Luz, acreditando que ela era composta por partículas chamadas de corpúsculos luminosos. Ele propunha que esses corpúsculos se moviam em linha reta e explicavam diversos fenômenos Ópticos, como a reflexão e a refração da Luz. Os estudos newtonianos conceberam uma série de experimentos que consolidaram visão corpuscular da Luz, amplamente aceita até o século XVII, tendo apresentado bases fundamentais para o desenvolvimento posterior da Óptica e estabelecer postulados para as descobertas futuras no campo da Física Óptica.

Sequencialmente, no Capítulo 3, me remeto ao recorte histórico que ocorre durante e após o século XVIII, momento em que cientistas se preocupam em entender a natureza da Luz. Em um recorte histórico mais extenso como esse, evidenciamos que as indagações e busca por explicações correlacionadas as manifestações ópticas que pretendiam explicar a real natureza da Luz, surgem nesse momento cientistas como Thomas Young, que ao realizar o experimento da dupla fenda indica que a Luz se comporta como uma onda, além dele temos James Clerk Maxwell que expôs uma série de quatro equações que descrevem a natureza eletromagnética da Luz e unificaram as teorias elétrica e magnética, abrindo espaço para Heinrich Hertz comprovar experimentalmente a existência das ondas eletromagnéticas. Outros nomes como o de Albert Einstein, Louis De Broglie, Michelson, Morley etc. também ganharam visibilidade na corrida que evidenciaria de uma vez qual a verdadeira natureza da Luz, permitindo que muitas dúvidas fossem sanadas.

Por meio desses episódios históricos, podemos perceber o quanto a quebra de paradigmas é importante na construção do pensamento científico e que deve estar aliada no processo de ensino/aprendizagem, para que assim possamos difundir o fato de que a ciência não é construída pelo resultado de um método em que todos os cientistas devem seguir. É necessário que a epistemologia da Ciência passe por rupturas que solidifiquem como o pensamento científico é inerente a fatores sociais,

políticos, econômicos etc., o que para Thomas Kuhn é denominado de Revolução Científica.

Por fim, no capítulo 4, discutiremos como a incorporação da História e Filosofia das Ciências como metodologia que pode enriquecer significativamente o ensino e a aprendizagem de Física, além de apresentar as principais características de um documento que faz a utilização desse artefato. Ao explorar a História e Filosofia da Ciência, os alunos têm a oportunidade de conhecer as descobertas científicas que foram produzidas ao longo do tempo, os desafios enfrentados pelos cientistas e as mudanças de paradigmas que ocorreram. Isso ajuda a contextualizar o conhecimento científico atual e a entender como ele foi construído ao longo dos séculos, promovendo uma compreensão mais profunda da Ciência e desenvolvendo habilidades como pensamento crítico, análise e argumentação.

2. BREVES CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA NATUREZA DA LUZ NA ANTIGUIDADE

A percepção de que a Luz é extremamente necessária para a humanidade é inerente desde o início das civilizações e traz como resultado a busca pela compreensão de como os fenômenos ópticos se manifestavam. Intuitivamente, Gregos e Árabes buscaram entender o que era a Luz e mesmo associando esse acontecimento natural ao mecanismo da visão conseguiram explicar alguns fenômenos associados a ela, e suas explicações, válidas para o período histórico, legitimavam as teorias de conhecimento previstas e elaboradas para este decurso de tempo.

Entre os filósofos gregos, que datam entre os séculos XIV e IX A.C., a convicção de que Luz estava associada a visão era unânime e predominantemente era conveniente afirmar que ela apresentava comportamento corpuscular. Demócrito e Pitágoras entravam em divergências, uma vez que, para Demócrito, a Luz originava-se nos objetos e atingiam o olho humano, causando a sensação de visão, enquanto Pitágoras acreditava que o olho emitia algo, que foi por ele denominado fluxo visual (ROCHA et al, 2002).

Para enfatizar essa associação que os gregos faziam em relação a Luz e a Visão, Salvetti, (2008), afirma que: “A Luz era uma coisa intrinsecamente ligada à nossa capacidade visual, e não uma entidade Física diferente, entidade essa que de alguma forma era absorvida pelos olhos e processada pelo cérebro provocando uma resposta no corpo” (SALVETTI, 2008, p. 17).

Ainda com intuito de explicar e compreender tais fenômenos, Platão (427 – 374 A.C.) afirmava que os raios de Luz eram provenientes do olho, saindo do mesmo e atingindo o objeto que deveria ser enxergado. Além disso, se o objeto fosse luminoso os raios de Luz fariam um encontro com os raios emitidos pelos olhos, não havendo tanta divergência das ideias propostas por Pitágoras, entretanto, escreve sobre o termo Raios de Luz. Por outro lado, Empédocles (490 – 430 A.C.), associa os fenômenos luminosos aos quatro elementos (fogo, água, terra e ar), haja vista que, para os gregos tudo que existia era formado por esses quatro elementos e que os mesmos ocupavam o seu lugar de acordo com a sua composição.

Aristóteles (384 – 322 A.C), tinha uma breve noção de como poderia explicar a ocorrência da visão e explicava que a Luz poderia interagir quando em movimento em

um determinado meio, o que ROCHA *et al* (2002) afirma ser o pontapé inicial para a concepção ondulatória da Luz. Torna-se claro que ele fazia objeções aos modelos explicativos para a Luz vigentes, e questionava-se a respeito dos mesmos e suas validades frente aos fenômenos que ocorriam.

[...] Aristóteles diz que é ilógico supor que um raio de visão chega até as estrelas ou até determinado objeto, e que ali se funde com o objeto. Ele indaga: “que sentido tem a luz fundindo-se com a luz?... e como a luz de dentro do olho se funde com a luz de fora?” Ao refutar as teorias então conhecidas, Aristóteles formula e fundamenta uma nova teoria, a teoria da transparência. A luz era essencialmente a qualidade accidental dos corpos transparentes, revelada pelo fogo (SALVETTI, 2008, p. 19).

Ainda com a mesma visão de Platão, entretanto com a tentativa de esclarecer as propriedades dos espelhos, Euclides de Alexandria (320 – 275 A.C.) fundamenta princípios básicos para a reflexão da Luz, e afirma que a mesma sempre se propaga em linha reta, entretanto essa Luz ainda era provinda dos olhos. Outros filósofos gregos antigos ainda descrevem sobre a reflexão da Luz, entre eles estão Arquimedes de Siracusa (283 – 212 A.C.), em que algumas fontes históricas afirmam que ele conseguiu incendiar navios romanos utilizando grandes espelhos esféricos, todavia não se sabe ao certo se tal episódio histórico realmente aconteceu, e Heron de Alexandria (Século II A.C.), que também sintetiza informações relacionadas a superfícies refletoras.

Torna-se evidente que a percepção da Luz nas atividades diárias impulsionou a produção de trabalhos relativos a Óptica, mesmo que, com ênfase na reflexão e refração, as concepções admitidas pelos filósofos gregos contribuíram significativamente para o amadurecimento de novas leis e princípios que fundamentam esse ramo da Física. Todavia, com o declínio da sociedade grega, entre os anos 338 A.C. à 136 A.C., novas civilizações nasceram e cultivaram a produção do conhecimento científico. Os árabes, por exemplo, grupos nativos do Oriente médio e da África, sempre cultivaram a concepção de ideias e saberes, que por um lado também fomentaram a construção de saberes relacionados a manifestação dos fenômenos luminosos.

Obras como Tesouro da Óptica, escrito por Abu-Ali Al-Hasan Ibn Al Haythan (Al-Hazen), fazem menção à reflexão da Luz, rejeitando a concepção de que raios

surgiam da visão, ideia concebida inicialmente pelos gregos. O livro produzido por Al-Hazen se destaca como um dos livros mais apreciados pelos estudiosos do ocidente, haja vista o tratamento sofisticado ao descrever sobre conceitos ópticos, dentre as obras produzidas e com grande relevância durante o século XI, Tesouro da Óptica perde apenas para “O Almagesto” de Ptolomeu (AZEVEDO, J.S & JÚNIOR, F.N.M., 2019).

Os trabalhos realizados por Alhazen são dignos de nota, sendo considerados, por Crombie (1974), a fonte principal da Óptica no Ocidente medieval. Alhazen configurou-se em notável exceção ao afirmar que a propagação da luz requeria tempo finito, ainda que imperceptível. Contrapôs-se, assim, à visão aristotélica de instantaneidade, prevalece até o século XVII. Além disso, apresenta-se na obra de Alhazen o tratamento mecânico mais completo da reflexão da luz até sua explicação por Descartes, já no século XVII. Alhazen faz uma analogia entre corpos incidindo em superfícies duras ou elásticas e a luz incidindo em superfícies lisas ou rugosas. Mostrou, também, que o ângulo de refração não era proporcional ao de incidência, estudou espelhos esféricos e parabólicos, lentes e o fenômeno da visão (VANNUCCHI, 1996).

Bassalo em seu livro Nascimento da Física, 1996, expõe as características do livro mencionado anteriormente:

Por volta de 1038, o físico e matemático iraquiano Abu-Ali Al-Hasan Ibn Al Haythan (Al-Hazen) (c. 965 – 1038), em seu livro Kitab Al-Manazer (Tesouro da Óptica) – obra de conteúdo puramente geométrico –, afirmou que a fonte de 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. Ainda nesse livro, ele completou a lei da reflexão da luz, afirmando que “o raio incidente, raio refletido e a normal, estão no mesmo plano (BASSALO, J.M.F. 1996, p. 36).

Por outro lado, Kamal al-Din al-Farisi (D.C – 1320) fez uma análise minuciosa no modelo de luz proposto por Al-Hazen, especialmente quando se tratava da reflexão da Luz. Ele examinou cuidadosamente as teorias e experimentos de Al-Hazen, buscando entender e aprimorar o conhecimento sobre como a Luz se reflete em diferentes superfícies, e rejeitou as propostas de analogia a esferas em movimento para a Luz, sugerindo interpretações ondulatórias para os fenômenos luminosos. Os

estudos desenvolvidos por Gregos e Árabes desempenharam um papel fundamental ao estabelecer as bases para concepções posteriores em Óptica, haja vista o surgimento de novos modelos experimentais e a aplicação da Matemática, que acabou tornando-se um grande problema para compreensão dos fenômenos Ópticos.

De fato, existem muitas contradições relacionadas ao desenvolvimento da Óptica e compreensão da natureza da Luz na antiguidade. Todavia, percebemos que todas as oposições existentes, na tentativa de compreender o que é a Luz viabilizaram discussões intrínsecas a essa área de conhecimento e impulsionaram a produção de trabalhos com tratamentos científicos cada vez mais modernas.

3. BASES HISTÓRICAS DE NEWTON PARA COMPREENSÃO DOS FENÔMENOS ÓPTICOS

As contribuições históricas de Isaac Newton não se limitaram apenas a explicações relativas aos movimentos dos corpos. A partir do ano de 1664, aproximadamente, diversos trabalhos foram desenvolvidos por ele na tentativa de explicar o comportamento da Luz, dentre esses trabalhos podemos destacar o *Opticks*, que foi publicado em várias edições. O que mais nos chama atenção é que Newton se propôs a escrever sobre os fenômenos Ópticos anualmente, além de conseguir construir, durante o ano de 1668, o telescópio refletor, utilizando especificamente espelhos parabólicos. Durante esse período, muitas informações sobre a Luz já haviam sido descritas e eram bastante conhecidas, além disso, já se tinha noção que a Luz sempre se propagava em linha reta, quais eram as características e como funcionavam os espelhos planos e esféricos, além dos escritos desenvolvidos pelos Árabes, já mencionados no tópico anterior.

É válido destacar que Newton começou a se interessar por Óptica após a leitura de livros de filosofia natural, além da matemática, analisando e escrevendo rascunhos dos livros lidos por ele, sofisticando seus conhecimentos associados à Luz e a composição da matéria (Átomos)

[...] Dentre os textos que continham partes importantes sobre Óptica, leu nessa época um livro de Walter Charleton, sobre atomismo, uma obra de Robert Boyle, sobre cores e alguns dos livros de René Descartes. Foi pela leitura de Charleton e Boyle que Newton foi levado a uma teoria corpuscular da luz e uma teoria atômica da matéria. [...] (MARTINS, R. A & SILVA, C.C, 2015).

O livro *Physiologia Epicuro-Gassendo-Charletoniana*, de Walter Chaleton, descreve em alguns momentos como acontece o funcionamento da visão, características dos átomos, cores dos objetos, afirmando que a natureza das cores se tornou um dos problemas mais difíceis de serem resolvidos por ele. Além de tudo, Charleton quebra paradigmas ao afirmar que a visão não é formada quando os a matéria emite átomos até os nossos olhos. Robert Boyle, contemporâneo de Newton, e com quem muitas das vezes apresentava divergências, é o autor do livro *Experiments and considerations touching colours*, que influenciou o pensamento de

Newton em relação à Óptica. Boyle descreve sobre as características das cores com ênfase nas pigmentações utilizadas pelos pintores de sua época, escreve sobre alguns dos seus experimentos em prismas e afirma que todas as cores se originam por uma modificação que acontece na própria Luz, entretanto não explica como ocorre essa modificação. De todas as suas leituras, Newton levantou questionamentos que ficaram conhecidas como *Quaestiones quaedam philosophicae* (MARTINS, R. A & SILVA, C.C, 2015).

Ainda em 1664, Newton realiza em seus manuscritos os primeiros questionamentos sobre Óptica. Em particular, nas *Quaestiones quaedam philosophicae* comenta sobre reflexão e refração, e até mesmo traz alguns parênteses sobre uma das obras de Descartes na qual ele comenta o que é necessário para que o mecanismo da visão possa existir. Nesse mesmo manuscrito, Newton sugere que a Luz possa apresentar corpúsculos que divergem com as características dos átomos. Ainda com relação às cores concorda com Boyle e depois elabora críticas sobre as suas afirmações, entretanto não apresenta definições mais completas. Posteriormente repete o experimento do prisma, que já havia sido feito e comentado por Charleton e Robert Boyle. O primeiro experimento de Newton com o prisma acontece quando ele observa uma fonte de Luz através desse material, o que não lhe fornece muitas informações, e mesmo assim continua tentando descrever sobre as cores e afirmando que elas são formadas por corpúsculos e com suas leituras e estudos vai observando que a Luz branca pode ser a mistura de todas as cores.

Muitas das vezes, na busca pelo conhecimento, Newton produzia bases experimentais que não são tão apropriadas como pensamos.

Ele fincou um palito pontudo na base do olho, bem embaixo do globo ocular, e o enfiou o mais fundo que pôde. Isso o fez ver vários círculos coloridos, e ele se perguntou de onde vinha à cor (POSKITT, 2001).

Alguns outros historiadores da ciência comentam que ele (Newton) inseriu um objeto de latão e pressionou o olho com o dedo para obter o efeito dos círculos coloridos e posteriormente anotar os resultados obtidos e seguiu realizando mais experimentos não tanto desejados.

O Isaac fez uma coisa ainda mais perigosa do que cutucar os olhos: ficou horas olhando diretamente para o Sol, a fim de ver que efeito isso produzia.

O efeito principal foi que ele quase ficou cego e teve que passar vários dias num quarto escuro até recuperar a visão. Naquele tempo, ninguém como o Sol poderia ser tão perigoso. Não muito antes da época do Isaac, os navegadores, para saber onde estavam, usavam um instrumento chamado 'bastão de Jacó', que exigia que olhassem diretamente para o Sol, o que levou diversos capitães a ficarem caolhos! (POSKITT, 2001).

Nos anos seguintes, Newton segue realizando experimentos e deduções para que assim pudesse entender quais as características e natureza da Luz, e consegue, entre 1665 e 1670, compreender o que acontecia quando a Luz solar penetrava em um prisma, caracterizando a dispersão da Luz e já imaginando que ela era policromática. Além disso, realiza suas primeiras observações dos chamados Anéis de Newton e todas essas informações foram registradas no manuscrito que ele chamou de *Of Colours*.

Em 1670, Newton escreveu o artigo intitulado Dos círculos coloridos entre dois vidros contíguos, no qual descreveu as experiências que realizou sobre os anéis de Newton, anéis esses observados quando uma lente de curvatura conhecida é colocada sobre um pedaço de vidro plano. Por exemplo, em 1666, havia utilizado uma lente com raio de curvatura de 63,5 cm e, nesse ano de 1670, empregou uma lente com um raio de 15 m. com essa lente, conseguiu aumentar de quase cinco vezes os tamanhos dos diâmetros dos anéis (BASSALO, J.M.F. 1996, p.75).

Neste ponto, é interessante esclarecer que, de acordo com a HFC, a Física não foi algo produzido sequencialmente, que tudo deve demandar certo período. Entretanto, com Isaac Newton, os eventos aconteciam de modo aparentemente sequencial, pois após o ano de 1670, ele constrói um novo tipo de telescópio, estuda detalhes sobre a difração da Luz, torna-se Professor Lucasiano da Universidade de Cambridge e publica, em 1672, suas primeiras pesquisas relacionadas aos fenômenos luminosos, após comunicá-la a Royal Society, e intitulada por ele de "Nova teoria sobre Luz e Cores". A partir deste artigo Newton defende a teoria corpuscular da Luz, associando sua teoria principalmente a reflexão e a difração da Luz, até que em 1704, por pressão, publicou o livro *Opticks, or a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Coulours of Light*, que era composto por três partes.

O livro I expõe, sob forma de teoremas, as experiências sobre a reflexão, refração, dispersão e decomposição da luz no prisma; segue-se a teoria do arco-íris; seções particulares são dedicadas aos telescópios catóptricos, à coloração dos corpos, aos fenômenos das lâminas finas e aos anéis de interferência (anéis de Newton). [...] O livro II é dedicado aos fenômenos de interferência e periodicidade, à analogia entre a coloração dos corpos e a irisação das lâminas finas e das bolhas de sabão. O livro III trata das inflexões sofridas por raios luminosos, quando passam rente aos ângulos, e das franjas de interferência (BASSALO, J.M.F. 1996, p.161).

O que é bastante perceptível é que Isaac Newton desenvolveu diversos estudos e manuscritos no campo da Óptica, principalmente relacionados a fenômenos que são descritos quando adotamos a teoria corpuscular da Luz. É interessante notar também, que seus trabalhos são bastante amplos e desenvolvidos quando considera como base os manuscritos de outros autores, mesmo adiante elaborando críticas certeiras a respeito de informações que para ele já não apresentavam mais validade, e além de tudo tendo como base o Principia, onde ele escreve sobre os movimentos em geral e se para ele a Luz era composta de corpúsculos, então a mecânica newtoniana deveria ser aplicada a ela.

4. IDADE MODERNA E CONTEMPORÂNEA: ALGUMAS DISCUSSÕES SOBRE A LUZ DURANTE E APÓS O SÉCULO XVIII

Durante e após o século XVIII muitos trabalhos relacionados a Óptica foram desenvolvidos com o intuito de explicar a verdadeira natureza da Luz e, por conseguinte, compreender fenômenos ópticos corriqueiros e impulsionar o estado da arte desse ramo do conhecimento. Já durante o ano de 1793, Thomas Young propõe as bases teóricas para a acomodação visual do olho humano e continua, no início dos anos de 1800, descrevendo sobre as fendas de interferência e elaborando sua obra intitulada *Princípio da Interferência*, além de, nos mesmos anos, serem descobertos os raios infravermelhos e ultravioletas. O que se torna visível, e traz à tona discussões, são os diversos aparatos experimentais e bibliográficos que alavancaram a produção do conhecimento científico no ramo da óptica, entre eles destacam-se o experimento do Espelho Duplo de Fresnell, incentivado pelas ideias de Thomas Young, o experimento de Fizeau que determina o valor da velocidade da Luz na água, o interferômetro de Michelson-Morley na tentativa de encontrar a existência ou não do sistema do éter ou o referencial absoluto e a publicação do livro *Óptica Geométrica* de Gauss. Muitas produções foram laureadas com grandes premiações, entretanto devemos focar naquelas que têm como objetivo discutir sobre a natureza da Luz, mesmo sabendo que elas impulsionaram discussões que aprimoraram a produção do conhecimento científico em outras áreas.

Já entre os sécs. XVIII e XIX, os trabalhos que explicavam o comportamento da Luz tinham suas origens mais fortemente enraizadas no ramo da mecânica newtoniana, até que em determinado momento insatisfações começaram a surgir à medida em que os novos fenômenos não conseguiam ser explicados. Assim, as concepções que definiam a ideia de Luz deveriam passar, necessariamente, por mudanças significativas. É por meio dessa necessidade que entra nesse contexto de mudanças Thomas Young, médico, que por indicações e por um vasto currículo, passa a atuar como professor e escritor da Royal Society, e por meio de suas aulas passou a escrever artigos direcionados a teoria ondulatória da Luz, que até então encontrava-se engavetada. Nesse contexto social e científico, faz-se necessário

entender que concepções newtonianas e laplacianas¹, influenciavam fortemente as convicções corpusculares para a Luz, e todos os trabalhos que foram produzidos durante este período que iam longe dessa linha de pensamento foram duramente criticados (OLIVEIRA *et al*, 2019).

Na França, os estudos sobre a natureza da luz no início do século XIX estiveram associados ao chamado programa laplaciano de pesquisa. O programa de Laplace era visto, por seus praticantes, como uma culminação dos trabalhos do século XVIII na tradição newtoniana. Entre 1805 e 1815, o programa levantou problemas e estabeleceu princípios gerais para solução, dando unidade em estilo e propósito à física francesa. Um fator importante para o domínio do programa laplaciano se deve à eficácia com que Pierre Simon Laplace (1749-1827) e Claude Louis Berthollet (1748-1822) controlavam os estabelecimentos científicos em ensino e pesquisa da época, na França (FOX, 1974) (OLIVEIRA *et al*, 2020).

As pesquisas de Young tiveram como principal objetivo discutir sobre os aspectos da natureza da Luz, e sua grande sacada foi correlacionar temas de acústica e Óptica da visão. No seu artigo publicado em 1800 e intitulado “*Outlines of experiments and inquiries respecting sound and light*”, Young, comenta sobre a maneira com a qual a teoria corpuscular de Newton influenciou todos os cientistas da época que se dedicavam a entender e explicar sobre os fenômenos luminosos, mesmo assim, estabeleceu contestações e indagações dirigidas a natureza corpuscular da Luz de Newton. Entre essas contestações, Thomas Young se depara com a impossibilidade de a Luz apresentar velocidade constante sem a presença de um meio específico, já que para ele a óptica newtoniana não apresenta explicações plausíveis para a constância das partículas de Luz. Por outro lado, para Young, é conveniente adotar a teoria proposta por um dos seus antecessores, Huygens, que sugere que todas as impressões luminosas são transmitidas através de um meio elástico (OLIVEIRA *et al*, 2019).

É importante salientar que alguns pesquisadores desenvolveram suas pesquisas em períodos que não entram no recorte histórico cujo qual está descrito neste capítulo. Christiaan Huygens, por exemplo, durante o Séc. XVII, também propõe

¹ As concepções laplacianas referem-se às ideias e teorias desenvolvidas por Pierre-Simon Laplace, que envolviam a visão determinista do universo, onde todas as leis da natureza poderiam ser deduzidas a partir de princípios fundamentais.

modelos explicativos para fenômenos com base na teoria ondulatória da Luz, o que fez com que Thomas Young utilizasse das propriedades das teorias desenvolvidas por ele.

Huygens (1629-1695) é conhecido por dar conta da refração segundo um modelo ondulatório. Os livros didáticos perpetuam a homenagem que um dia lhe foi feita, atribuindo seu nome a um princípio – Princípio de Huygens. Em sua obra máxima, *Tratado sobre a luz*, é possível ver sua inventividade na defesa de um modelo ondulatório para a luz em oposição ao alternativo modelo corpuscular. Colocando esse modelo em funcionamento, ele dá explicações para diversas propriedades da luz conhecidas em sua época (KRAPAS *et al*, 2011).

Mesmo insatisfeito com mecânica newtoniana diante da óptica, Thomas Young se utiliza da mesma, para explicar a necessidade de um meio para propagação da Luz, solidificando a vigência do Éter Luminífero como fluido elástico apresentando características fundamentais para a irradiação da Luz em diversos meios, ousando ainda, relacionar os fenômenos luminosos e sonoros com as manifestações elétricas, haja vista que eles também necessitariam do meio etéreo para existirem e propagarem-se. Tudo isso nos levar a crer que Young acreditava que a velocidade da Luz depende do meio em que se propaga, o que instantaneamente faz com que ele busque soluções para quebra-cabeças que surgem diante da teoria ondulatória da Luz. (OLIVEIRA *et al*, 2019)

Como podemos perceber, Young busca resolver três grandes objeções à teoria ondulatória: 1) a existência de um éter luminoso no qual esta teoria se baseava, por meio da analogia com os fenômenos elétricos; 2) a velocidade uniforme da luz, uma vez que, como era conhecido, todas as impressões são transmitidas por um fluido elástico com a mesma velocidade; 3) assume que a luz, assim como o som, tinha pequena tendência a divergir, outra grande objeção à teoria ondulatória (OLIVEIRA *et al*, 2019).

Em um outro escrito, Young tenta suprir a necessidade de informações referentes ao Éter Luminífero. Para tanto, ele elaborou hipóteses pertinentes a esse meio de propagação da Luz que foram usadas sequencialmente em 1802 para formular o Princípio da Interferência, destaque do artigo “*On the Theory of Light and*

Colours”. É interessante notar que ao escrever o Princípio da Interferência, Young não deixa brechas para críticas que possivelmente fossem elaboradas por todos aqueles que eram adeptos da teoria corpuscular da Luz, e sua principal preocupação foi encontrar bases experimentais que demonstrassem todas as argumentações que ele havia descrito no princípio aqui mencionado (OLIVEIRA *et al*, 2019).

Entre os principais aspectos dos trabalhos de Young, podemos concluir que ele: 1) recorre sempre a analogias para explicar os fenômenos luminosos, como a analogia com fluidos, corpos elásticos e, principalmente, a analogia com o som; 2) defende a realização de experimentos para corroborar as conjecturas feitas acerca dos fenômenos luminosos; 3) não se utiliza de formulações algébricas, mas utiliza raciocínios geométricos; 4) cita o nome de outros estudiosos, a exemplo de Huygens, Newton e Euler (OLIVEIRA *et al*, 2019).

Diante do contexto social, político e histórico, as ideias de Thomas Young não foram bem aceitas pela sociedade científica da época, essencialmente pela falta de comprovações concernentes a existência do Éter, além do mais, o uso de muitas hipóteses propiciou o enfraquecimento de seu trabalho.

Neste ponto, é interessante perceber que, o episódio científico-histórico que aqui acabamos de discutir apresenta vastas possibilidades de aplicação em sala de aula, dado que a quebra de paradigmas é evidente, percebendo fundamentalmente o contexto em que os cientistas estão inseridos e desenvolvem seus trabalhos.

O principal fator inerente aos episódios históricos que aqui descrevo, está correlacionado a grande dificuldade de encontrar fontes históricas que retratem os cenários envoltos ao campo de conhecimento da Óptica. Logo, problematizar uma pesquisa que disserta sobre os aspectos históricos que entrelaçam a teoria corpuscular e ondulatória da Luz oferece limitações, à medida que a maior parte dos trabalhos disponíveis na literatura são fontes primárias e secundárias de informações, além de apresentarem uma linguagem sofisticada e de difícil acesso, limitando os professores da educação básica e do ensino superior a não trabalharem sobre essa temática em sala de aula.

Além de Thomas Young, outro filósofo natural trouxe grande impacto na França e nas Academias de Ciências Naturais, Augustin Fresnel que viveu durante os anos de 1788 e 1827, também propôs questionamentos alusivos à natureza da Luz, com

ênfase em mais um fenômeno ondulatório que, a priori, não foi aceito em virtude da grande concentração de associados ao programa laplaciano de pesquisa, até então vigente na França. O programa laplaciano detinha poder sobre as instituições de educação e defendia o modelo corpuscular para a Luz, dificultando a produção de trabalhos que favorecessem argumentos que edificassem bases fundamentais para a teoria ondulatória.

Os primeiros trabalhos de Fresnel buscaram comprovar experimentalmente o fenômeno da difração da Luz, e para isso foi indispensável o uso de um bom aparato matemático e o desenvolvimento de hipóteses que fomentassem a utilização do conceito de ondas para compreensão dos fenômenos luminosos. As características desse fenômeno foram apresentadas inicialmente no ano de 1815, entretanto algumas correções foram primordiais para que essa obra fosse novamente republicada com uma nova roupagem, fazendo com que a teoria ondulatória ganhasse adeptos e viesse à tona as várias tentativas frustradas que tinham como propósito descrever o fenômeno da difração por meio de um modelo corpuscular. Através de um trabalho minucioso sobre a difração da Luz, Augustin Fresnel foi contemplado com um importante prêmio ofertado pela *Academie des Sciences*²(MARTINS *et al*, 2018).

A memória sobre difração da luz, que foi objeto do prêmio, intitulada “Mémoire sur la diffraction de la lumière”, é dividida em três seções gerais: 1) discussão sobre a insuficiência da teoria corpuscular e da visão de Young a respeito de interferência; 2) fenômeno de difração explicado pela combinação do princípio de Huygens com esse de interferência e 3) sobre a interferência da luz polarizada (MARTINS *et al*, 2018).

Percebemos que é justamente na primeira sessão que Fresnel elabora críticas amplamente fundamentadas para convencimento de que o fenômeno da difração, por exemplo, não pode ser explicado pela natureza corpuscular da Luz, além de determinar a falta de informações nos trabalhos de Young, quando ele tenta esclarecer o Princípio da interferência. Com base em observações e correções matemáticas, Fresnel consegue elucidar o fenômeno da difração, e para isso fundamenta-se no Princípio da Interferência e no Princípio de Huygens³, fazendo com

² Instituição científica francesa fundada em 1666, que tem como objetivo promover e desenvolver a pesquisa científica em diversas áreas, como matemática, física, química, biologia e ciências da Terra.

³ Princípio da óptica que afirma que cada ponto em uma frente de onda se comporta como uma fonte secundária de ondas esféricas. Foi formulado pelo físico holandês Christiaan Huygens no século XVII.

que vários cientistas passassem pelo processo de aceitação perante a teoria ondulatória da Luz, abrindo espaço para que pesquisadores adeptos desse campo de conhecimento sentissem o prazer de expor uma diversidade de trabalhos que até então haviam sido deixados de lado (MARTINS *et al*, 2018).

Nesse sentido, Fresnel elabora hipóteses justificando que a luz não é um tipo de onda longitudinal, mas uma onda transversal. Todavia, o maior problema que perdurou diante da Óptica Física deste período está na necessidade de explicação para um novo modelo de Éter, que até então era apenas um meio de propagação para ondas longitudinais. Assim, a nova visão do Éter no modelo ondulatório da Luz, permite que ele seja tratado como um sólido rígido propício para a propagação de ondas transversais uma vez que o modelo de Éter até então admitia-o como um fluido elástico (MARTINS *et al*, 2018).

Ainda no século XIX, a proposta das linhas de forças para o campo magnético, sugeridas por Michael Faraday, alavancam hipóteses explicativas, com o intuito de, através de equações matemáticas, descrever fenômenos que haviam sido formalizados por meio de concepções qualitativas. É nesse contexto de novas ideias no campo da Física, que dois cientistas dedicaram parte do seu tempo na tentativa de compreender e normalizar conceitos que até então eram quase que incompletos, Thomson e posteriormente Maxwell, empenharam-se em unificar a teoria do éter luminífero, com a então proposta do éter magnético, solucionando problemas relacionados a óptica e às linhas de força imaginadas por Faraday (LIMA, 2019).

William Thomson, durante os anos de 1840, foi um dos pioneiros na tentativa de solucionar matematicamente as linhas de força sugeridas por Faraday, e mesmo indagando não obteve as respostas que necessitava. Mesmo assim, Faraday, no mesmo ano, consegue perceber a existência da força magnética e assim compreende que ela pode induzir rotações em um plano polarizado de Luz, resolvendo problemas envolvendo a ação da força de Coulomb e das linhas curvas especuladas por ele mesmo (LIMA, 2019).

Lima, 2019, em seu artigo: Sobre o surgimento das equações de Maxwell, complementa esse período histórico com a seguinte afirmativa:

Na mesma ocasião, Faraday publicou um artigo puramente especulativo sugerindo que as linhas de força poderiam servir de base para um entendimento alternativo da 'ação direta à distância' como, em verdade, uma

'ação contígua' comunicada através do espaço pela linha de força. Se fosse dotada de algo como elasticidade, a linha de força poderia também originar vibrações laterais que, então, comunicadas às linhas de força adjacentes, se espalhariam no espaço, como ondas. Tais vibrações poderiam então ser a origem dos fenômenos de radiação térmica e da luz! (LIMA, 2019).

Thomson segue na busca de respostas para os problemas que atormentavam a sociedade científica e que estavam interligadas às linhas de força de Faraday, efeitos magnéticos sobre Luz polarizada e sobre a ação do éter luminífero. O que se torna perceptível é que o desenvolvimento da teoria eletromagnética impulsionou e induziu o crescimento de publicações relativas a esse ramo da Física, e é nesse contexto que surge as primeiras observações eletromagnéticas feitas por James Clerk Maxwell.

James C. Maxwell, nasceu em Edimburgo, no ano de 1831, e fora inicialmente educado em casa por sua mãe, que infelizmente faleceu muito jovem e não pode acompanhar o desenvolvimento do seu filho. Maxwell estudou em uma das melhores escolas da Escócia, intitulada Edinburgh Academy, e aos 14 anos de idade escreveu seu primeiro artigo explicativo sobre curvas ovais que é apresentado a Royal Society. No ano de 1847, ingressou na Universidade de Edimburgo, onde realizou suas primeiras leituras e pesquisas sobre a composição das cores, e com ajuda e supervisão de James David Forbes obteve dados justificando que as cores azul e verde podem ser ditas como cores primárias. Após ingressar em Cambridge, em 1850, Maxwell teve aulas com os melhores professores da instituição, oportunizando a chance de desenvolver artigos científicos em ramos distintos, mas sempre com um olhar especial aos fenômenos luminosos e eletromagnéticos (LIMA, 2019).

A partir do ano de 1861, Maxwell se propõe a destinar suas pesquisas para a compreensão das linhas de força de Faraday, e escreve um artigo intitulado *On physical lines of force*, que é subdividido em quatro partes. Nos dois primeiros artigos, ele (Maxwell) sugere que o campo magnético é percorrido por vórtices, que surgem devido a uma diferença de pressão e que se caracteriza pelo escoamento giratório, em que as linhas de corrente apresentam movimento espiral. Na terceira publicação indica que as deformações que ocorrem nesses vórtices dão origem ao que ele chamou de corrente de deslocamento e, com base nisso e nos cálculos realizados por outros cientistas, Maxwell consegue quantificar o valor da velocidade de ondas que se propagam entre os vórtices, e acrescenta que alguns tipos de ondas poderiam se

propagar com a mesma velocidade da Luz, que até então havia sido obtida por Fizeau (LIMA, 2019).

Mesmo diante de tantos pressupostos, o Efeito Faraday que estava associado às linhas de força aqui citadas, continuava sendo um impasse, pois novos questionamentos começaram a surgir. Entretanto, devemos ter em mente que Maxwell não desistiu e insistiu na busca de explicações matemáticas para esses determinados fenômenos e assim tentar consolidar as teorias eletromagnéticas, demonstrando, portanto, como a produção do conhecimento científico não é imediato e necessita de pesquisa que permeiam pelos mais variados campos de conhecimento.

[...]Em outras palavras, ele (Maxwell) mostra a importância da reflexão metodológica para a prática científica, o que coloca em questão a separação estrita que certos filósofos da ciência estabelecem entre “contexto de descoberta” e “contexto de justificação”, entre “ciência” e “metaciência”. O trabalho de Maxwell ilustra também, admiravelmente, como as teorias científicas se inserem em uma tradição de pesquisa (ou um programa, na linguagem de Lakatos) ao admitirem pressupostos comuns relativos, por exemplo, à natureza dos fenômenos estudados (pressupostos ontológicos) ou a determinados ideais explicativos (pressupostos epistêmicos), além de conceitos, técnicas matemáticas, instrumentais etc. (ABRANTES, 1988).

Depois de muitos artigos e publicações, revisando métodos e aplicando conceitos, Maxwell, na terceira parte do seu artigo “On physical lines of force”, consegue unificar, o Eletromagnetismo com a Óptica, utilizando de abordagens que até então não haviam sido manuseadas. Com efeito, Maxwell obtém um conjunto de quatro equações que preveem que a Luz apresenta caráter eletromagnético, haja vista que ela seria formada por campos magnéticos e elétricos oscilantes que unidos formam uma onda eletromagnética que pode se propagar através do espaço.

A terceira parte do artigo “On physical lines of force” é a que aponta para a consequência mais espetacular da abordagem de Maxwell: a unificação do eletromagnetismo e da ótica. Tudo indica que tal resultado não era esperado nem mesmo por Maxwell, pois essa terceira parte foi pensada e escrita após as duas primeiras, nas quais não há qualquer referência a tais desenvolvimentos. Para alcançar esse resultado revolucionário, Maxwell teve que introduzir novos elementos no mecanismo de vórtices moleculares e

partículas, que ele passa a aplicar aos fenômenos eletrostáticos (ABRANTES, 1988)

Como já mencionado, essa unificação, que ocorreu durante o ano 1860, permite que a teoria do éter se torne cada vez mais sólida e permite que a Luz apresente um caráter eletromagnético. Desse modo, o éter deixa de ter natureza mecânica e passa a ser o meio de propagação de ondas eletromagnéticas que sustenta, acima de tudo, a então teoria proposta por Maxwell, exigindo assim que a comunidade científica, em especial os físicos, se adaptem às teorias propostas. Entretanto, durante o ano de 1887 os primeiros abalos relacionados a existência do éter começaram a surgir, entre eles destaca-se o experimento do interferômetro proposto por Albert A. Michelson (1852-1931) e posteriormente executado por Edward W. Morley (1838-1923), tornando-se um dos experimentos mais significativos para o desenvolvimento da Física, o que ficaria conhecido como Experimento de Michelson-Morley (ROCHA *et al*, 2002).

O experimento de Michelson-Morley, foi uma tentativa de detectar o éter, um suposto meio através do qual a Luz se propagava, para isso eles usaram um interferômetro para medir a diferença no tempo de percurso da Luz em duas direções perpendiculares. Surpreendentemente, o resultado do experimento foi negativo, não revelando nenhuma variação significativa na velocidade da Luz, tendo que ser repetido inúmeras vezes os resultados desafiaram a teoria do éter e apresentou implicações fundamentais para o desenvolvimento da Física moderna, eventualmente levando à formulação da teoria da relatividade de Einstein. Esse experimento põe em xeque uma possível não existência do Éter, além de fazer com que as Transformadas de Galileu, que estavam definidas desde o século XVII, apresentassem incompatibilidade e incoerência com o eletromagnetismo de Maxwell, haja vista que se o éter não existisse, não ficaria claro sob qual referencial a velocidade da Luz deveria ser medida.

Uma maneira de interpretar o resultado nulo da experiência de Michelson e Morley, é concluir, simplesmente, que a medida da velocidade da luz, é a mesma, isto é, c para todas as direções em qualquer sistema inercial. Pois este fato conduziria a $\Delta N=0$ na experiência (de igual braço), sendo c as velocidades da “corrente para baixo” e “corrente transversal”, ao invés de $|c + v|$, em qualquer sistema. Contudo qualquer conclusão, sendo comparável,

com as transformações galileanas (de velocidade), precisa ser filosoficamente muito drástica para época. Se a velocidade medida da Luz não dependesse do movimento do observador, todos os sistemas inerciais seriam equivalentes para uma propagação da Luz e não poderia haver nenhuma experimental para indicar a existência de um sistema inercial único, isto é, o éter. Por conseguinte, “para salvar o éter” e ainda explicar o resultado de Michelson-Morley, os cientistas sugeriram hipóteses alternativas (RESNICK, 1971).

Tendo em vista a negativa do experimento de Michelson-Morley em relação a inexistência do éter, o conceito de campo vai se destacando na comunidade científica, logo, a Luz passaria a se propagar sem a presença de matéria e seria, portanto, autossustentável, abandonando definitivamente as características de uma onda mecânica. As previsões das Equações de Maxwell são validadas experimentalmente durante o ano de 1887, por Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), e nesse experimento, ele, consegue detectar a semelhança entre as ondas eletromagnéticas e a Luz, verificando ainda que ambas são susceptíveis aos fenômenos da polarização, interferência e difração, abrindo caminhos para a descoberta de um novo fenômeno que viria a ser intitulado Efeito fotoelétrico.

De fato, é perceptível que a compreensão sobre a natureza da Luz mobilizou a comunidade científica, de modo que muitos físicos voltaram-se para a resolução de problemas que foram potencializados com as novas descobertas. Rocha *et al*, 2002, complementa com uma breve afirmativa, o percurso histórico para assimilação dos fenômenos luminosos: “Como vimos, a controvérsia sobre a natureza da Luz era puramente filosófica até aproximadamente, o início do século XVII. Em meados daquele século, entretanto, essa controvérsia tomou outro rumo, deslocando-se do campo filosófico para o campo científico.”

Em 1905, Albert Einstein (1879-1955), dando continuidade aos estudos de Hertz, conseguiu elucidar a natureza de um fenômeno periférico originalmente observado por Hertz que mais tarde ficaria conhecido como Efeito Fotoelétrico, o qual renderia o prêmio Nobel a Einstein em 1926 e que havia ficado em aberto após Hertz não conseguir explicações plausíveis para esse caso em particular. Agora sem a necessidade do Éter para a existência de determinados fenômenos, Einstein apresenta soluções para o Princípio da Relatividade, que fora assim intitulado por ele, afirmando que as leis da Física, tanto as da Mecânica quanto as do Eletromagnetismo,

deveriam ser as mesmas em qualquer referencial inercial, discussão que deve ser aprofundada em outras circunstâncias, mas sempre levando em consideração que sua origem acontece com o surgimento das teorias eletromagnéticas. Ainda em seu ano “*miraculoso*”⁴, Einstein toma como base uma nova teoria corpuscular para a Luz e declara que ela é constituída e partículas, que inicialmente foram chamados de Quanta de Energia e posteriormente nomeados de Fótons. De acordo com essa nova ideia, a Luz pode apresentar características ondulatórias, dotada de um determinado comprimento de onda, e características corpusculares, que são definidas por um determinado momento linear. Portanto, a partir deste momento deve-se levar em consideração o caráter dual da Luz para a compressão de determinados fenômenos físicos (ROCHA *et al*, 2002).

De certa maneira, podemos sintetizar boa parte das argumentações aqui apresentadas com a seguinte afirmativa de ROCHA *et al* (2002):

O ponto mais elevado no desenvolvimento do Eletromagnetismo foi obtido quando Maxwell e Hertz unificaram esta disciplina com a Óptica, demonstrando que a luz era um fenômeno ondulatório eletromagnético. Este êxito teve como consequência trazer para o âmbito do Eletromagnetismo certos problemas que se acumularam na Óptica ao longo do século XIX. Estes problemas podem ser sintetizados do seguinte modo: a afirmação do modelo ondulatório para a luz, a partir dos trabalhos de Young e Fresnel, implicou em supor a existência de um meio mecânico no qual se propagassem as ondas luminosas. Os efeitos deste meio, no qual a luz ondulava, deveriam ser pequenos, pois as velocidades dos fenômenos que conhecíamos eram muito pequenas, quando comparadas à velocidade da luz, mas poderiam ser mensurados, dependendo principalmente do desenvolvimento de técnicas bastante sensíveis. Este hipotético meio recebeu inicialmente o nome de éter luminífero e, em seguida, desde a identificação da luz como um fenômeno eletromagnético, éter eletromagnético. Note-se que a necessidade de um meio no qual as ondas pudessem se propagar era uma consequência da crença sem limites que os cientistas haviam estabelecido em relação à Mecânica (ROCHA *et al*, 2002).

⁴ O "ano miraculoso" de Einstein refere-se ao ano de 1905, quando Albert Einstein publicou quatro artigos científicos revolucionários que tiveram um impacto significativo na física. Esse período foi um marco na carreira de Einstein e mudou drasticamente nossa compreensão do universo.

Considerar o caráter dual da Luz foi o ponto forte da comunidade científica durante os anos de 1900, todavia alguns empasses permaneceram e quando solucionados abriam lacunas para novos questionamentos. Já em 1924, Louis De Broglie, propõe a solução para alguns desses problemas ao desenvolver bases científicas para o que hoje chamamos de Teoria Quântica⁵.

Nascido na França, no ano de 1892, Louis-Victor-Pierre-Raymond De Broglie, dedicou parte de sua vida estudantil ao interesse particular em aprender Física, buscando conhecimentos relacionados a Teoria da Relatividade e em especial pela Física Quântica. Por meio dos trabalhos do seu irmão, que era formado em Física, Louis de Broglie, observou algumas atividades experimentais relacionadas a espectroscopia e a difração de Raios-X. Mesmo familiarizado com a Física, De Broglie havia se graduado primeiramente em História e somente em 1913 concluiu o curso de Licenciatura em Ciências, e após isso, trabalhou em uma companhia de telegrafia, possibilitando o manuseio de aparelhos que emitiam ondas eletromagnéticas, aprofundando assim seus conhecimentos nos fenômenos ondulatórios (SANTOS, 2010).

Paulo Vicente Moreira dos Santos (2010), complementa:

Em 1920, (de Broglie) dedicou-se ao trabalho experimental com raios X, no laboratório particular de seu irmão. Seu interesse pelo tema foi tão grande que o levou a frequentar, na condição de ouvinte, alguns dos cursos ministrados por Paul Langevin, no Collège de France, que já ensinava a seus estudantes a hipótese dos quanta de luz de Einstein. Além disto, frequentou também os cursos de Matemática ministrados por Emile Borel. Ele estudou também os trabalhos de Bohr, Sommerfeld, Einstein, dentre outros. Baseado nestes estudos, de Broglie se convenceu de que era necessária a elaboração de uma teoria que fosse capaz de descrever simultaneamente as naturezas ondulatória e corpuscular da radiação (SANTOS, 2010).

Durante os anos de 1922 e 1924, Louis De Broglie apresentou seus primeiros artigos relacionados a teoria quântica, descrevendo sobre os movimentos ondulatórios realizados pelos elétrons, quanta de Luz e outras partículas, associando-os a um regime relativístico. Com base nisso, constatou que ondas eletromagnéticas possuíam como base fundamental o caráter dual, observou, portanto que Raios-X, por exemplo,

⁵ Ramo da física que descreve o comportamento das partículas subatômicas e a interação entre elas usando conceitos como superposição, entrelaçamento e probabilidades.

realizam movimento ondulatório, operando fenômenos como a interferência e difração, e ao mesmo tempo que detêm características corpusculares quando interagem com a matéria e arrancam elétrons constituintes de chapas metálicas. Dessa maneira, de Broglie, expande a teoria ondulatória também para a matéria, em especial para o elétron, baseando-se principalmente no modelo atômico de Bohr, e publica em uma série de artigos que foram reunidos e incorporados em sua tese de doutorado “Pesquisa sobre a teoria quântica”, em tradução livre (SANTOS, 2010).

Algo que chama atenção é que De Broglie destaca a importância da evolução histórica da Óptica para a compreensão dos novos fenômenos luminosos.

De Broglie chama a atenção para o desenvolvimento da Óptica, a partir do século XVII, que despertou a atenção de muitos pesquisadores. Com o objetivo de explicar os fenômenos ópticos observados estes pesquisadores foram capazes de elaborar duas teorias completamente distintas entre si. Por um lado, Huygens defendia um modelo ondulatório para a luz, enquanto Newton, defendia um modelo corpuscular. Porém, no início do século XIX, os trabalhos de Young e Fresnel estabeleceram que a luz possuía um caráter ondulatório (SANTOS, 2010).

Santos, 2010, ainda menciona que Louis De Broglie destaca a relevância dos outros cientistas para a formalização e institucionalização da Física Quântica:

Em seguida ele apresenta as principais contribuições para o desenvolvimento da teoria quântica citando Einstein, Bohr, Sommerfeld, Compton, Maurice de Broglie, Zeeman, Stark, dentre outros. Trabalhos estes que, para de Broglie, davam uma clara evidência de que a natureza exibia os aspectos ondulatório e corpuscular e de que seria necessário o desenvolvimento de uma teoria que fosse capaz de unificar estes dois aspectos antagônicos e revelar a natureza fundamental do quantum. Alguns destes trabalhos já haviam sido produzidos por ele nos anos anteriores, e a tese de doutorado tinha o objetivo de apresentar e discutir os resultados que foram obtidos com sucesso, bem como as possíveis deficiências de sua proposta (SANTOS, 2010).

De Broglie possibilitou que muitos cientistas, entre eles Schrödinger, escrevessem acerca de novos fenômenos associados a natureza ondulatória e corpuscular da Luz, exigindo que novas concepções fossem adotadas pelo próprio de

Broglie, a exemplo da interpretação probabilística para o movimento ondulatório de partículas como os elétrons.

O grande mérito dos trabalhos iniciais de Louis de Broglie foi a previsão do comportamento ondulatório das partículas materiais, particularmente para o elétron, que permitiu o desenvolvimento da mecânica ondulatória. No entanto, a teoria desenvolvida foi completamente diferente daquilo que de Broglie tinha em mente, pois não produziu uma síntese entre os atributos onda e partícula. O abandono da causalidade e do determinismo, inerentes à mecânica clássica, constituiu o maior obstáculo para que de Broglie aceitasse a Mecânica Ondulatória e a interpretação puramente probabilista. Porém, a consistência matemática da teoria e a sua concordância com os dados experimentais obrigaram o autor a reconhecer a superioridade da teoria quântica em seus diversos formalismos matemáticos (SANTOS, 2010).

Ainda de acordo com SANTOS (2010), a insatisfação de de Broglie em relação a interpretação probabilística

As críticas apresentadas em relação à interpretação puramente probabilista, em aspectos fundamentais, nos indicam que de Broglie nunca aceitou completamente esta interpretação. Quando resolveu retomar seu programa de pesquisa em busca de uma interpretação causal para a teoria quântica, ele tinha 60 anos. [...] (SANTOS, 2010).

Mesmo insatisfeito com a interpretação puramente probabilística para o movimento ondulatório de partículas, de Broglie, propõe uma nova teoria, a qual viria a ficar conhecida por “Teoria Onda Piloto”, nome escolhido para sua apresentação no Congresso de Solvay, entretanto de Broglie não usou muitos artefatos matemáticos para definir as bases teóricas para suas novas concepções, se limitando a breves discussões puramente filosóficas. Para essa teoria devemos levar em consideração que a mesma interpretação probabilística deve ser mantida, contudo, não deve ser aplicada de forma isolada, o que não foi o suficiente para explicação dos fenômenos associados a mecânica ondulatória, o que de fato estava interligado a falta de artefatos matemáticos que permeassem por meio de equações diferenciais não lineares (SANTOS, 2010).

Ao longo destes capítulos, notamos uma gama de episódios incomparáveis que nos fornecem informações intrínsecas ao contexto histórico e filosófico em que muitos

pesquisadores estavam inseridos e essas informações nos revelam como as ideias evoluíram ao longo do tempo e como diferentes perspectivas filosóficas influenciaram nossa compreensão da dualidade da Luz. Dessa maneira, por meio da História e Filosofia das Ciências podemos demonstrar como a natureza da ciência é volátil e passa por constantes transformações, o que verdadeiramente pode se tornar uma abordagem de ensino que envolve os alunos de forma ativa e participativa no processo de aprendizagem, promovendo o seu envolvimento, autonomia e construção do conhecimento.

Nesta perspectiva, o capítulo seguinte discorre a necessidade da inserção da HFC em sala de aula, uma vez que aplicada de maneira correta pode facilitar o ensino-aprendizagem da Física e promover uma compreensão mais profunda e significativa dos princípios científicos, além de estimular o pensamento crítico, a investigação e a reflexão sobre a natureza da ciência, especialmente quando mencionamos o caráter dual da Luz.

5. HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA: DISCUSSÕES E IMPLICAÇÕES PARA A PRÁTICA DOCENTE.

Toda a construção do pensamento científico passa por determinados períodos que muitas das vezes não são inseridos no contexto e compreensão de teorias, leis e princípios que corroboram para que a Física se estruture como uma das áreas de pensamento que abrange distintos ramos do conhecimento. De fato, concepções que levam em consideração o período histórico, filosófico, político, religioso, entre outros, podem contribuir com a compreensão de fatos específicos, neste caso particular, a Teoria Ondulatória e Corpuscular da Luz, além de reconhecer que embates que norteiam a construção do pensamento científico provocam debates que permeiam a prerrogativa de que a ciência é construída por todos aqueles que desejarem ingressar nesta respectiva área, rompendo paradigmas associados a determinados fenômenos.

Seguindo essa perspectiva, Tais Cyrino, Maurício Pietrocola e Roberto de Andrade, 2011, completam que:

Qualquer narrativa da HC traz, implícita ou explicitamente, os valores, as crenças e as orientações metodológicas do seu autor. 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. Não é possível separar essas concepções pessoais (em maior ou menor grau) do trabalho de qualquer profissional ligado à ciência, inclusive do historiador da ciência (CYRINO et al, 2011).

O que se percebe é que a HFC deve ser considerada aliada do professor e assim permear diante dos conteúdos propostos em sala de aula, passando a ser considerada como uma metodologia ativa que impulsiona o desenvolvimento de habilidades cognitivas que ainda não foram despertadas nos estudantes da educação básica.

A introdução da história da ciência tem sido recomendada na educação científica, pelo menos desde o século XX, como estratégia pedagógica que permite alcançar diversos propósitos formativos (LEDERMAN, 2007). Há ampla bibliografia que aponta vários objetivos educacionais propiciados pela interface gerada entre a ciência e sua história. A história da ciência pode

ampliar a cultura geral do aluno, admitindo-se que há um valor intrínseco em compreender certos episódios fundamentais que ocorrem na história. Adequadamente contextualizada, a história da ciência permite uma reflexão crítica sobre a ciência como um produto dinâmico do conhecimento humano criado por indivíduos em um dado contexto cultural e histórico revelando a face humana da ciência [...] (FORATO, 2009).

Por meio desse pressuposto, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN+), 2000, asseguram que a HFC pode contribuir com a formação de uma cultura científica. A seguir apresentaremos algumas das competências específicas dos PCN+, associadas a HC, que estruturam esse documento e norteiam o professor na demanda de atividades diárias.

Tabela 1 – Competências específicas de Física para o Ensino Médio, fornecidas pelos PCN+, associadas a HC.

INVESTIGAÇÃO E COMPREENSÃO	
Na área	Em Física
Ciência e tecnologia na história	
<ul style="list-style-type: none"> Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social. 	<ul style="list-style-type: none"> Compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época. Compreender, por exemplo, a transformação da visão de mundo geocêntrica para a heliocêntrica, relacionando-a às transformações sociais que lhe são contemporâneas, identificando as resistências, dificuldades e repercussões que acompanharam essa mudança; Compreender o desenvolvimento histórico dos

	<p>modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, sem dogmatismo ou certezas definitivas;</p> <ul style="list-style-type: none">• Compreender o desenvolvimento histórico da tecnologia, nos mais diversos campos, e suas consequências para o cotidiano e as relações sociais de cada época, identificando como seus avanços foram modificando as condições de vida e criando novas necessidades. Esses conhecimentos são essenciais para dimensionar corretamente o desenvolvimento tecnológico atual, através tanto de suas vantagens como de seus condicionantes. Reconhecer, por exemplo, o desenvolvimento de formas de transporte, a partir da descoberta da roda e da tração animal, ao desenvolvimento de motores, ao domínio da aerodinâmica e à conquista do espaço, identificando a evolução que vem permitindo ao ser humano deslocar-se de um ponto ao outro do globo terrestre em intervalos de
--	--

	<p>tempo cada vez mais curtos e identificando também os problemas decorrentes dessa evolução;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perceber o papel desempenhado pelo conhecimento físico no desenvolvimento da tecnologia e a complexa relação entre ciência e tecnologia ao longo da história. Muitas vezes, a tecnologia foi precedida pelo desenvolvimento da Física, como no caso da fabricação de lasers, ou, em outras, foi a tecnologia que antecedeu o conhecimento científico, como no caso das máquinas térmicas.
--	---

Fonte: PCN+ Ensino Médio, 2000.

Infelizmente na BNCC, que é um documento que define quais são as aprendizagens essenciais que todos os estudantes devem adquirir ao longo da educação básica no Brasil, pouco menciona a necessidade de inserção da HFC em sala de aula, minimizando a importância dessa estratégia metodológica diante a necessidade de compreensão da natureza da Ciência (Observação realizada nas competências específicas e nas habilidades pertinentes a cada competência na área de Ciências da Natureza). Especificamente, a BNCC menciona apenas uma vez o termo “História da Ciência” quando comenta o que é a Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias e como essa área de conhecimento deve ser contextualizada, menciona ainda, também uma única vez, o termo “história e filosofia da ciência” quando descreve a competência específica número dois⁶, que está relacionada a

⁶ Competência específica dois: Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.

necessidade de usar interpretações científicas para realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo.

Por outro lado, a Lei de Diretrizes e Bases da educação básica (Lei nº 9394/1996), que define os princípios e as normas para a organização do sistema educacional, desde a educação infantil até o ensino superior, faz uma pequena referência à História da Ciência no currículo. Ela destaca a importância de abordar o desenvolvimento científico ao longo da história, proporcionando aos alunos uma compreensão mais ampla do conhecimento científico e sua evolução. Mesmo não fazendo uma citação direta à História da Ciência, ela menciona a importância de abordar o desenvolvimento científico ao longo da história, o que inclui a História da Ciência, como parte integrante do currículo escolar.

Intuitivamente, os documentos que estruturam a educação básica do nosso país não fazem muitas menções a necessidade da inserção da História e Filosofia das Ciências como fator crucial para o entendimento da Natureza da Ciência e quando apresenta referências sugere como uma complementação para o currículo, o que difere de alguns países que aplicam diretamente a HFC como integrante obrigatório dos cursos secundários.

Na última década, a integração entre História e Filosofia da Ciência e educação científica foi proposta em diversos países. Nos EUA, pela American Association for the Advancement of Science (AAAS) nos relatórios Project 2061 (1989) e The Liberal Art of Science (1990); na Inglaterra, pelo British National Curriculum Council (NCC 1988); pelo Science Council of Canada (SCC 1984); na Dinamarca, com o Danish Science and Technology Curriculum, e na Holanda, com o PLON curriculum materials (VANNUCCHI, 1996).

Ainda assim, faz-se necessário o professor juntamente com a instituição de ensino, escolher conteúdos específicos que podem contemplar episódios históricos que impulsionem a produção do conhecimento científico. Contudo, o que fica desmascarado, é que, em sua maioria, a História e Filosofia da Ciência (HFC) não é aplicada em sala de aula como uma metodologia ativa que pode contribuir com a efetivação de um determinado conceito. De fato, professores da educação básica não mencionam sobre os antecedentes históricos e filosóficos que permeiam conceitos científicos estruturados ao longo dos anos, haja vista que, currículos dos cursos de

formação de professores não oferecem disciplinas associadas a essa área de conhecimento, ou até mesmo, professores não se sentem confortáveis ao ministrar aulas com essa metodologia tão eficaz. Tais afirmativas não significam que o professor deve inserir tal estratégia de ensino todos os dias em sua prática pedagógica, mas sempre que possível deve aliar o conteúdo proposto com a supracitada metodologia, sempre na tentativa de explorar temas que muitas das vezes são deixados de lado.

As ideias relacionadas ao parágrafo anterior se confirmam quando as pesquisadoras Rilavia Almeida e Ana Paula Bispo identificam em seu texto *História da Ciência e Ensino de Física: Uma análise meta-históricográfica*, que a História da Ciência não é aplicada em sala de aula.

Em trabalho anterior (OLIVEIRA; SILVA, 2011), buscamos nos anais dos eventos de Ensino de Física – Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) e Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF), as pesquisas sobre HC e NDC que haviam se materializado em intervenções em sala de aula. O resultado não foi muito satisfatório, já que grande parte dos trabalhos concentrou-se nas discussões teóricas sobre as vantagens, desvantagens e possibilidades da HC e NDC, mas poucos fizeram intervenção em sala de aula.

Mesmo assim, devemos perceber que:

A HFC abriu muitas possibilidades de ensino e aprendizagem envolvendo tópicos das Ciências Naturais e, em particular, da Física. Martins (2007) aponta a importância do tratamento histórico-filosófico de temas do ensino médio que podem ser explorados como recurso didático pelos professores de ciências (Raicik, 2019; Ortega & Moura, 2020) (JACSON SANTOS & FRANCISCO NAIRON, 2019)

Mesmo sabendo que a HC é uma importante aliada do professor, necessitamos de muito cuidado ao escolher fontes históricas que serão utilizadas em sala de aula, uma vez que, muitas das vezes os documentos historiográficos trazem consigo uma bagagem de informações errôneas que foram construídas no decorrer da formação acadêmica do então historiador da ciência (OLIVEIRA *et al*, 2019). Faz-se necessário, então, escolher fontes históricas que não reforcem lendas sobre os sujeitos que desenvolveram bases teóricas e experimentais para o progresso da ciência uma vez

que, é pertinente ao estudante perceber que este ramo de conhecimento pode sofrer transformações diárias, fato esse que pode ser reafirmado com a seguinte citação:

Elas transmitem a visão do desenvolvimento da ciência como sendo fruto do acaso, produzido por pessoas que “descobrem verdades universais” observando fatos corriqueiros, por meio de insights. Com isso, são ignorados todos os fatores conceituais da ciência e os elementos contextuais de cada cultura que estiveram envolvidos no desenvolvimento de um determinado conhecimento científico. Inúmeros fatores, como, por exemplo, o papel dos erros e das controvérsias, a contribuição do debate entre diferentes teorias, os diversos pensadores que trabalharam no assunto, a influência de fatores sociais, políticos, econômicos, ou quaisquer outros que possam ter contribuído para o desenvolvimento da ciência, são simplesmente ignorados. Não raro, a história se resume a um tipo de calendário, repleto de datas, nomes e descobertas geniais. É fácil perceber que a imagem de ciência e de sua construção, fomentada por lendas e anedotas, conflitam diretamente com a visão perseguida como adequada pelas pesquisas em ensino de ciências (FORATO *et al*, 2011).

Diante de um panorama em que o aluno deve desejar aprender e que materiais didáticos devem ser potencialmente significativos, a HFC se estrutura como um fator extremamente necessário para compreensão dos fenômenos naturais, pois ela demonstra a quebra de paradigmas e reforça a ideia de que a Ciência é uma construção humana que foge de uma linearidade, e pondera períodos históricos, políticos e religiosos. Assim, a HFC se interliga com os conhecimentos prévios que os alunos e professores carregam consigo, promovendo o amadurecimento de ideias científicas (MARQUES, 2015). De fato, oferecer estratégias que ocasionem o desenvolvimento de habilidades cognitivas na educação básica exigem que o professor utilize métodos práticos e interativos de ensino, estimulando a curiosidade e o levantamento de hipóteses e questionamentos que estejam relacionados com o cotidiano do público que deve ser atendido pelas instituições de ensino, além de incentivar a participação ativa nas atividades científicas. Temos que notar que por meio da HFC podemos estimular a participação ativa dos docentes em debates educacionais que elevam a Ciência a um patamar de ascensão cultural, somos capazes ainda de promover uma melhor compreensão científica sem utilizar somente formalismos matemáticos, além de facilitar o planejamento de atividades que induzem

a imersão do estudante no contexto social, político e científico de determinada época, essenciais para o estímulo a investigação e experimentação.

De acordo com essa afirmativa, MARQUES (2015) ainda considera que:

Nesta linha de pensamento, Matthews (2002) considera que a inclusão da história e filosofia da ciência é fator intrínseco à boa educação científica, pois pode contribuir com exemplos históricos de investigação, experimentação, hipóteses, consolidação, teorias e modelos. Além disso, essas disciplinas contribuem para minimizar a fragmentação intelectual e conseguem relacionar, por exemplo, a ciência e a ética, religião, economia e política, entre outras (MARQUES,2015).

Além disso, o pesquisador da UFRN, prof. André Ferrer P. Martins, em seu trabalho História e Filosofia da Ciência no ensino: Há muitas pedras nesse caminho, 2007, completa que:

Ao longo das últimas décadas, a pesquisa em ensino de ciências tem evidenciado a relevância do papel desempenhado pela HFC no ensino e aprendizagem das ciências. Há um número grande de artigos publicados em revistas especializadas da área que, nos eventos e congressos, destina espaços específicos para essa temática. (MARTINS, 2007).

O que de fato devemos entender é que a comunidade de pesquisadores, especialmente aqueles ligados mais diretamente à área de ensino de Física, apoiam a inserção da HFC na sala de aula como uma metodologia de ensino, e ainda defendem que a Filosofia da Ciência deve andar interdependente com a História da Ciência. Entretanto devemos ter cuidado na escolha dos episódios históricos que retratarão um determinado momento da ciência, para que não ajam distorções e assim não tratarmos como uma breve caricatura de um curto intervalo de tempo (COELHO & AMÉLIA, 2018). Muitas das vezes, os materiais didáticos que apresentam narrativas de episódios históricos não refletem de forma precisa ou completa os princípios e processos que circundam a construção do pensamento científico, logo transmitem a falsa ideia de uma ciência que se estrutura como um passe de mágica. Thaís Cyrino, endossa essa preocupação com a escolha dos episódios históricos que devem ser utilizados e que estão presentes nos materiais didáticos, pois em sua

maioria carregam consigo os traços e o perfil de um pesquisador que reafirma a linearidade e construção evidente dos conceitos científicos.

Em oposição a uma reconstrução racional, Whitaker (1979) critica as distorções presentes nos materiais didáticos, denominando-as *quasi-history*, em que seções históricas incluem erros sobre fatos científicos. Algumas vezes, os episódios históricos são reconstruídos em um encadeamento lógico de como teriam sido elaborados ou descobertos alguns conceitos científicos. Tais reconstruções acabam fornecendo simples moldura histórica, em que realizações científicas ganham sentido e são facilmente lembradas. A construção desse tipo de narrativa da história da ciência poderia ser decorrente do uso da história com o objetivo de ensinar conceitos das ciências e traz implícita a ideologia científica dos autores de livros didáticos e sua visão sobre a natureza da ciência [...] (FORATO, 2009).

Faz-se necessário observar que a História e Filosofia da Ciência deixou de ser desconhecadora das modificações que ocorrem desde o século XX na construção do pensamento humano, e o romantismo científico pregado desde o renascimento precisou passar por adaptações e se apropriar de diferentes perspectivas e transformações historiográficas que em geral necessitam levar em consideração a influência dos elementos culturais das mais diversificadas civilizações promotoras do conhecimento. É conveniente, portanto, levar em consideração os fatores sociais que influenciaram e influenciam princípios, leis e teorias, e para isso é pertinente que as atividades dos historiadores não acabem se tornando uma pseudo-história e ocasionem distorções que são extremamente comuns a alguns episódios históricos (FORATO, 2009).

Todas essas análises não obrigam que o professor se transforme em um historiador da ciência, mas ao preparar uma aula com essa metodologia deve ter em mente que existem grandes versões de episódios históricos que destoam da realidade e reafirmam as concepções errôneas do fazer científico. As principais distorções estão correlacionadas ao que chamamos de Anacronismo científico, esse tipo de distorção ocorre quando eventos, ideias ou tecnologias de uma época posterior são erroneamente atribuídos a um período anterior, fazendo com que haja uma distorção da compreensão do desenvolvimento científico ao não levar em conta o contexto histórico correto. Por meio do Anacronismo percebemos que outros problemas podem

manifestar-se na validação dos episódios históricos, entre eles destaca-se a História Pedigree e o Whiggismo (FORATO, 2009).

O Whiggismo é uma abordagem historiográfica que interpreta o desenvolvimento científico como um progresso linear e inevitável, atribuindo um sentido de superioridade às ideias e descobertas mais recentes. Essa perspectiva tende a ignorar o contexto histórico e as complexidades envolvidas no avanço científico, enfatizando apenas os aspectos positivos e desconsiderando as controvérsias e limitações do passado (FORATO, 2009). Por outro lado, relatos históricos que associam uma paternidade a uma determinada pessoa que debruçou-se sobre um campo de conhecimento específico classifica-se como História Pedigree, neste caso, toda a narrativa tende a vangloriar e estabelecer uma espécie de santificação à todo aquele que escreveu sobre uma definida área de conhecimento (ALFONSO-GOLDFARB, 1994).

A História e Filosofia da Ciência tornou-se uma fonte rica de informações, que nos permite compreender o desenvolvimento do conhecimento humano ao longo do tempo e por se tratar de um estudo meta-científico⁷, exige uma análise crítica e reflexiva sobre o método científico, necessitando especificamente de uma metodologia própria que requisita do pesquisador conhecimento sobre a epistemologia da ciência, sobre o conteúdo que está pesquisando e sobre o período histórico que está lidando. Com todos esses detalhes devemos perceber que a formação de um historiador da ciência requer uma longa e cuidadosa preparação e para isso deve evitar inicialmente assuntos que já foram demasiadamente explorados ao mesmo tempo que não deve selecionar conteúdos que não apresentam nenhuma documentação para ser examinada, de modo que a sondagem de referências pode permear por fontes primárias e secundárias (MARTINS, 2005).

A utilização da história e filosofia das ciências como parte integrante do currículo escolar traz consigo uma série de benefícios e oportunidades para os educandos. Ao explorar o contexto histórico e filosófico por trás das descobertas científicas, os alunos têm a chance de compreender o processo de construção do conhecimento científico, bem como as diferentes visões e abordagens que moldaram o desenvolvimento das ciências ao longo do tempo. Assim, é fundamental que os

⁷ Um estudo meta-científico é uma análise ou investigação sobre a própria ciência, seus métodos, práticas, limitações e implicações filosóficas. É uma reflexão crítica sobre como a ciência é conduzida e como o conhecimento científico é produzido.

educadores reconheçam o potencial da história e filosofia das ciências como uma ferramenta pedagógica poderosa. Ao integrar a HFC a práticas de ensino, eles proporcionam aos alunos uma visão mais ampla e aprofundada do mundo científico, capacitando-os a se tornarem cidadãos críticos e participativos na sociedade atual, onde o conhecimento científico desempenha um papel cada vez mais central.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A natureza da Luz foi motivo de muitas especulações e conclusões que ampliaram o repertório científico da Óptica, além de estabelecer bases históricas e filosóficas para extensas discussões. Entretanto o estado da arte para investigações relacionadas a história da Luz ainda apresenta poucas pesquisas abrangentes e aprofundadas disponíveis, haja vista que a compreensão da Luz ao longo dos séculos tem sido um tema de interesse para cientistas, filósofos e historiadores.

Durante a pesquisa do referencial teórico, constatou-se que poucos estudos apresentavam de forma adequada o perfil pertinente à História e Filosofia da Ciência. A maioria das fontes encontradas abordava superficialmente o tema, não explorando de maneira aprofundada os aspectos históricos e filosóficos. Essa lacuna na literatura ressalta a necessidade de um maior enfoque nessa área, a fim de compreendermos melhor como a Óptica se desenvolveu ao longo do tempo e como as questões filosóficas influenciam seu progresso. Por exemplo, encontrar artigos científicos que discutissem sobre as diferentes perspectivas da natureza da Luz para os Árabes e Gregos tornou-se uma tarefa de mineração entre os sites e livros, uma vez que muitos desses trabalhos limitam-se a escrever teoricamente os conceitos Físicos por trás de determinado fenômeno luminoso, não se importando com os fatores sociais que o permeavam, além disso não se apropriavam de estratégias metodológicas essenciais para elucidação da História e Filosofia das Ciências.

Por outro lado, torna-se notório que diversos artigos científicos tenham se dedicado a explorar os aspectos históricos e filosóficos das obras de Newton, especialmente no que diz respeito à sua contribuição para o estudo dos movimentos dos corpos, mesmo sabendo que essas publicações muitas vezes se concentram exclusivamente na descrição matemática e empírica desses movimentos, deixando de lado outras dimensões igualmente relevantes. Explorar tais aspectos nos artigos científicos poderia proporcionar uma visão mais holística e contextualizada, especialmente quando analisamos os relatos históricos de Newton em relação a natureza corpuscular da Luz, uma vez que seus trabalhos são abrangentes e desenvolvidos com base nos manuscritos de outros autores. De todas as leituras e observações feitas com base na HFC e levando em consideração os aspectos epistemológicos newtonianos merece destaque o artigo *As pesquisas de Newton sobre a luz: Uma visão histórica*, de Roberto de Andrade Martins e Cibelle Celestino

Silva, publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física. Por mais que se trate de um texto científico e que utiliza artimanhas da história da ciência, possui uma ótima fluidez e fácil compreensão.

Evidentemente as concepções newtonianas se tornaram um atrativo para todo pesquisador que tentasse descrever qualquer tipo de fenômeno natural, por isso ele passou a ser equivocadamente ovacionado como um gênio e pai de toda a mecânica, consolidando a boa e velha história pedigree. Estas idealizações criadas em torno de Newton fizeram com que todo e qualquer trabalho que descrevesse os fenômenos Ópticos estivesse enraizado em princípios newtonianos, e todos aqueles que não seguissem essa linha de pensamento deveriam ser negligenciados ou tratados como errôneos. Mas como a ciência não segue uma linearidade e é produto de ações humanas especulações começam a surgir de que a Óptica e mecânica newtoniana não fornecem aparatos científicos para todos os fenômenos a eles relacionados, tangenciando fatores inerentes ao pensamento científico até então vigente. Esta quebra de paradigmas estabeleceu a necessidade de uma nova concepção para a Luz e impulsionou o surgimento de novas teorias ópticas, essas novas ideias revolucionaram o campo da Óptica, levando a avanços significativos na tecnologia e na compreensão do universo ao nosso redor.

É neste trecho que desmascara-se ainda mais a necessidade de trabalhos científicos que discutam essencialmente a história da natureza da Luz durante e após século XVIII, uma vez que a maioria dos artigos científicos que abordam a história da luz tende a focar em descrições físicas e em análises puramente matemáticas, esses documentos acadêmicos buscam compreender os fenômenos ópticos e eletromagnéticos relacionados à Luz, explorando suas propriedades, comportamentos e interações com a matéria, logo não elucidam as características pertinentes a história da Ciência. Outro fator inerente a esta dificuldade está no fato de que grande parte desses artigos se classificam como uma fonte de pesquisa primária, o que complica sua aplicação em sala de aula haja vista, a disponibilidade limitada deste tipo de documento, além disso, a interpretação correta dessas fontes requer um conhecimento profundo do contexto histórico e científico em que foram produzidas. Isso exige habilidades especializadas em pesquisa histórica e uma compreensão aprofundada das teorias e práticas científicas da época. Percebemos que a partir deste ponto os fenômenos Ópticos necessitam de uma atenção especial pois carregam consigo um caráter mais sofisticado e de difícil compreensão, repletos

de terminologias técnicas e detalhes específicos que podem ser desafiadores para aqueles fazem uso correto da HFC.

Por fim, devemos perceber que ao incorporar a história e filosofia das ciências na sala de aula, os educadores abrem espaço para que os alunos mergulhem em discussões profundas e reflexivas sobre temas científicos, que neste caso merece destaque a Óptica. Isso estimula o pensamento crítico, promove a curiosidade intelectual e desenvolve habilidades de análise e argumentação. Além disso, permite que os estudantes compreendam as limitações e incertezas inerentes ao conhecimento científico, cultivando assim uma postura mais crítica em relação às informações que encontram no mundo atual. Compreender como a ciência constrói seu conhecimento nos ajuda a avaliar criticamente as teorias, experimentos e evidências empíricas envolvidas nos fenômenos físicos, permitindo-nos ter uma compreensão mais completa e precisa do mundo natural. Espera-se que os professores da educação básica utilizem a HFC em sala de aula como uma ferramenta pedagógica valiosa, pois a integração da História e Filosofia das Ciências enriquece o processo de ensino-aprendizagem, tornando-o mais significativo e envolvente para os estudantes.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COELHO, A; CYRINEU, A. História da Ciência no ensino básico de Física: Quais tópicos fazem parte dessa história? *Revista Internacional de Formação de Professores*, v. 3, n.1, p. 35-44, jan./mar., 2018.
- FORATO, T. C. M. A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da natureza da luz. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo. p. 220. 2009.
- MANGILI, A.I. Heinrich Rudolph Hertz e a “descoberta” do efeito fotoelétrico: Um exemplo dos cuidados que devemos ter ao utilizar a história da ciência na sala de aula. 2012.
- KRAPAS, S. Livros didáticos: Maxwell e a transposição didática da luz como onda eletromagnética. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. v. 28, n. 3: p. 564, 2011.
- SANTOS, P. V. M. O itinerário científico de Louis de Broglie em busca de uma interpretação causal para a Mecânica Ondulatória. Dissertação (Mestre em História e Filosofia das Ciências) – Universidade Federal da Bahia. Salvador. p. 115. 2010.
- BOSE, S. A lei de Planck e a hipótese dos quanta de luz. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 27, n. 3, p. 463 – 465. 2005.
- LIMA, M. C. Sobre o surgimento das equações de Maxwell. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 4. n.4. 2019.
- ABRANTES, P. C. C. A metodologia de J. C. Maxwell e o desenvolvimento da teoria eletromagnética. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. v. 5. p. 58-75.1988.
- ROCHA, J. F *et al.* *Origens e evoluções das ideias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2011.
- PAGLIARINI, C. R. Uma análise da história e filosofia da ciência presente nos livros didáticos de física para o ensino médio. Dissertação (Mestre em Ciências) – Universidade de São Paulo. São Carlos. p. 115. 2007.
- BARROS, M. A & BARROS. A. A. “Uma teoria experimental dos quanta de luz” de Louis de Broglie: uma tradução comentada. *Revista Sustinere*. v. 6. n.1. p. 175-200. 2018.
- GUIMARÃES, T. C. M. Uma breve história da dualidade da luz. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual da Paraíba. Patos. p. 13. 2017.
- MARTINS, R. A & SILVA, C. C. As pesquisas de Newton sobre a luz: Uma visão histórica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37. n. 4. 2015.

- MOREIRA, M. A & MASSONI, N. T. Contribuições da Filosofia da Ciência ao Ensino, aspectos da visão epistemológica de Michel Paty: os momentos conceituais e momentos na prática. *Revista Educar Mais*. v. 3. n. 1. p. 134-153. 2019.
- MOREIRA, M. A. Ensino de física no século XXI: desafios e equívocos. *Revista do Professor de Física*. v. 2. n. 3. 2018.
- MOREIRA, M. A. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. *Caderno Brasileiro do Ensino de Física*. v. 24. n. 1. p. 112-131. 2007.
- BASSALO, J. M. F. *Nascimentos da Física*. Belém: EDUFPA. 1996.
- SILVA, A. P. B; MARTINS, A. F. P; OLIVEIRA, R. A. Thomas Young e a teoria ondulatória da luz no início do século XIX: aspectos conceituais e epistemológicos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 41, n. 2. 2019.
- ORTEGA, D & MOURA, B. A. Uma abordagem histórica da reflexão e da refração da luz. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 42. 2020.
- SEVERINO, A. J. *Metodologia do Trabalho Científico*. São Paulo: Cortez, 2007.
- COELHO, A & CYRINEU, A. História da Ciência no ensino básico de Física: Quais tópicos fazem parte dessa história? *Revista Internacional de Formação de Professores*. v. 3. n.1. p. 35-44. 2018.
- MARQUES, A. A história e filosofia das ciências como fundamento para uma prática interdisciplinar do conhecimento. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://www.necso.ufrj.br/viesocite_br-tecsoc/gts/1440789624_ARQUIVO_ANTONIOCARLOS-ARTIGOhistoriafilosofiaciencias.pdf&ved=2ahUKEwjVIPHwy_f7AhVJqpUCHY1jDG4QFnoECAwQAQ&usq=AOvVaw1K5-o8IIQKM9i9X_Pi4fsH Acesso em 24 de outubro de 2022. 2015
- GARCIA, E. Pesquisa Bibliográfica versus Revisão Bibliográfica - uma discussão necessária. *Revista Línguas & Letras*. v. 17. n. 35. p. 291-294. 2016.
- GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. *Revista de administração de empresas*. v. 35. n. 3. p. 20-29. 1995.
- RIBEIRO, J. "Sobre as cores" de Isaac Newton - Uma tradução comentada. *Revista Brasileira de ensino de Física*, Brasília, 19 maio 2017.
- SILVA, C; MOURA, B. A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. *Revista Brasileira de ensino de Física*, [s. l.], v. 30, n. 1, 18 dez. 2007.

SILVA, F. A teoria da luz de Newton nos textos de Young. *Revista Brasileira de ensino de Física*, [s. l.], v. 31, n. 1, 30 abr. 2009.

MOURA, B; BOSS, S. 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*, [s. l.], v. 37, n. 4, 12 dez. 2015.

MARTINS, L. História da Ciência: Objetos, Métodos e Problemas. *Ciência e Educação*, [s. l.], v. 11, n. 12, 4 out. 2005.

OLIVEIRA, R; SILVA, A. Temas de história e filosofia da ciência no ensino: História da Ciência e Ensino de Física: uma análise meta-histórica. In: BISPO, Ana et al. *Temas de História e Filosofia das Ciências no ensino: História da Ciência e Ensino de Física: uma análise meta-histórica*. [S. l.]: EDUFERN, 2012. v. 1, cap. 2, p. 41-63.

FORATO, T. C; PIETROCOLA, M; MARTINS, R. A. Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 27-59, abr. 2011.

PIETROCOLA, M. O Éter luminoso como espaço absoluto. *Caderno de História e Filosofia da Ciência*, [s. l.], v. 3, n. 1, abr. 1993.

BARROS, M. A.; CARVALHO, A. M. P. D. A História da Ciência iluminando o ensino da visão. *Revista Ciência e Educação*, [s. l.], v. 5, n. 1, abr. 1998.

AZEVEDO, J. S.; MONTEIRO JÚNIOR, F. N. As disputas acerca da natureza da luz: o uso da história e filosofia da ciência para aprendizagem significativa no ensino de física. *Meaningful Learning Review*, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 12-30, 2019.

LIMA, N.; CAVALCANTE, 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*, Porto Alegre - RS, v. 43, 2021.

MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no Ensino: há muitas pedras nesse caminho.... *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Natal - RN, v. 24, n. 1, p. 112-131, abr. 2007.

SILVA, A. C. D.; CYRINEU, A. A. História da ciência no ensino básico de física: quais tópicos fazem parte dessa história?. *Revista Internacional de Formação de Professores*, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 35-44, 2018.

OLIVEIRA, R. A. D.; MARTINS, A. F. P.; SILVA, A. P. B. D. Thomas Young e a teoria ondulatória da luz no início do século XIX: aspectos conceituais e epistemológicos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, [s. l.], v. 41, n. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-014>.

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*, [s. l.], v. 30, n. 1, 2008.

MOURA, B. A.; BOSS, S. L. B. Thomas Young e o resgate da teoria ondulatória da luz: Uma tradução comentada de sua Teoria Sobre Luz e Cores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, [s. l.], v. 37, n. 4, 2015.

OLIVEIRA, R. A. D.; SILVA, A. P. B. D.; MARTINS, A. F. P. Natureza da Ciência através de narrativas históricas: Augustin Fresnel e o debate sobre a natureza da luz. 16º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia, Campina Grande - PB, out. 2018.

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais: Matemática. Ministério da Educação e do Desporto: Secretaria de Educação Fundamental. Brasília, 1997.

BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, LDB. 9394/1996. BRASIL.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.

POSKITT, K. Isaac Newton e sua maçã. 1 ed. São Paulo: Cia das Letras, 2006. (Coleção Mortos de Fomes).

GOLDFARB, A. M. A. O que é História da Ciência. 1 ed. São Paulo: Brasiliense, 1994. (Coleção Primeiros Passos).

SALVETTI, Alfredo. A história da luz. 2. ed. [S. l.]: Livraria da Física, 2008.

KRAPAS, Sonia; QUEIROZ, Glória Regina Pessoa Campelo; UZÊDA, Diego. O TRATADO SOBRE A LUZ DE HUYGENS: COMENTÁRIOS. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, n. 1, 2011.

OLIVEIRA, Rilavia; MARTINS, André Ferrer; BISPO, Ana Paula. Temas de Natureza da Ciência a partir de episódios históricos: os debates sobre a natureza da luz na primeira metade do século XIX. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 37, n. 1, 2020.