



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS DE REALEZA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

ALESSANDRA DA SILVA

**UMA ANÁLISE SOBRE OS CONTEÚDOS DA NATUREZA DA LUZ E DA MATÉRIA
NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA APROVADOS PELO PNLD 2015**

REALEZA

2015

ALESSANDRA DA SILVA

**UMA ANÁLISE SOBRE OS CONTEÚDOS DA NATUREZA DA LUZ E DA MATÉRIA
NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA APROVADOS PELO PNLD 2015**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do grau de
licenciada em Física pela Universidade Federal da
Fronteira Sul, Campus Realeza.

Orientadora: Prof. Ms. Danielle Nicolodelli Tenfen

REALEZA

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

DGI/DGCI - Divisão de Gestão de Conhecimento e Inovação

Silva, Alessandra da
UMA ANÁLISE SOBRE OS CONTEÚDOS DA NATUREZA DA LUZ E
DA MATÉRIA NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA APROVADOS PELO
PNLD 2015/ Alessandra da Silva. -- 2015.
78 f.:il.

Orientador: Danielle Nicolodelli Tenfen.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Física-Licenciatura, Realeza, PR, 2015.

1. Ensino de Física Moderna. 2. Livros Didáticos do
Ensino Básico. 3. História da Ciência. I. Tenfen,
Danielle Nicolodelli, orient. II. Universidade Federal
da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ALESSANDRA DA SILVA

**UMA ANÁLISE SOBRE OS CONTEÚDOS DA NATUREZA DA LUZ E DA
MATÉRIA NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA APROVADOS PELO PNLD 2015**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do grau de licenciada em Física pela Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Realeza.

Orientadora: Prof. Ms. Danielle Nicolodelli Tenfen

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ms. Danielle Nicolodelli Tenfen - Orientadora

Prof. Ms. Aline Portella Biscaino - Titular

Prof. Ms. Mara Fernanda Parisoto - Suplente

Prof. Ms. Marinês Domingues Cordeiro - Titular

Prof. Dr. Paulo Sérgio de Camargo Filho - Suplente

Dedico este trabalho à meus pais Santo e Rejane que sempre estiveram presentes durante minha formação em todos os momentos, nada disso aconteceria se não fosse por vocês.

AGRADECIMENTOS

Para a concretização desse trabalho, registro aqui a minha manifestação de carinho e agradecimento:

- A Deus, a cada dia de vida, por me guiar neste caminho;
- À minha orientadora, Prof. Ms. Danielle Nicolodelli Tenfen, que durante a graduação me acompanhou, orientou-me durante meu trabalho de conclusão de curso. Agradeço pelo exemplo de pessoa, profissional que és.
- Aos professores da Universidade Federal da Fronteira Sul - Campus Realeza, em especial aos que participaram de minha formação acadêmica, acompanhando-me durante esta etapa de minha vida.
- Aos meus pais, Santo e Rejane, por terem me guiado nestes anos, me apoiado incondicionalmente, lutaram comigo, pelas conquistas, cumplicidades e o respeito. Eu amo muito vocês.
- A toda a minha família que sempre me apoiou em todos os momentos, em especial minha irmã Anandra.
- Aos meus amigos, colegas que tiveram paciência, me incentivaram a continuar nesse caminho, me dando forças quando as minhas cessavam.
- A todos os que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

RESUMO

A História da Ciência, em sala de aula, é conhecida por levar os estudantes a exercitar seu pensamento crítico, a compreender as rupturas e continuidades na construção do conhecimento científico. A Física Moderna é base para diversas tecnologias utilizadas no dia-a-dia pelos alunos, e deve se fazer presente na Educação Básica. A formação dos professores, a falta dos conhecimentos da teoria moderna nos materiais, e a própria organização dos conteúdos curriculares, porém, são dificultadores na inserção da Física Moderna e da História da Ciência nas salas de aula. O presente trabalho consiste na análise de aspectos da Natureza da Ciência que aparecem em três coleções de livros didáticos aprovados pelo Plano Nacional de 2015, quando estes tratam da Física Moderna, mais especificamente, quando vão apresentar a natureza dual da luz e da matéria. Para tal, utiliza-se como referencial de coleta e interpretação dos dados a metodologia da análise textual discursiva. Encontrou-se, a partir desse processo, que os livros didáticos abordam poucos aspectos históricos, reduzindo-se a datas, sem relação com a sociedade, nem ênfase no que levou cientistas a estudar fenômenos físicos, dedicando-se a explanação de conceitos. É importante criar em sala de aula uma linha de raciocínio de como as coisas foram acontecendo no decorrer da História e deixar explícito que a Ciência está em constante construção. Foi possível perceber que há uma tentativa de contar a evolução dos conceitos, porém existe uma fragmentação entre os conhecimentos de Física Clássica e Física Moderna, tratadas de forma isolada em séries e capítulos diferentes. Advoga-se nesse trabalho, que a Física Moderna é, acima de tudo, Física, e que ao abordar, no primeiro ano, os conteúdos de Mecânica, pode-se tratar da Clássica, mas também, por exemplo, da relativística. É necessário trabalhar esses conhecimentos com uma certa continuidade, em termos didáticos, e não como se fossem completamente desconexos.

Palavras-chave: História da Ciência; Livros Didáticos; Dualidade onda-partícula para a luz e para a matéria; Estratégias Didáticas.

ABSTRACT

The History of Science, in the classroom, is known for helping students exercise their critical thinking, understanding the breaks and continuities in the construction of scientific knowledge. Modern Physics is the basis for various technologies used in day-to-day by the students, and should be present in Basic Education. Teacher training, the lack of this knowledge in materials, and the very organization of curriculum content, however, are hindering the insertion of modern physics and the history of science in classrooms. This work consists in analyzing aspects of Nature of Science appearing in three collections of textbooks approved by the National Plan for 2015 when they treat of modern physics, more specifically, when will present the dual nature of light and matter. To do this, it uses as a reference collection and interpretation of data the methodology of discursive textual analysis. , It is found from this process, that textbooks deal with little historical aspects, reducing the dates, unrelated to the company or emphasis on what led scientists to study physical phenomena, prioritando explanation of concepts. It is important to create a line of thought of how things have been happening throughout history and leave explicit that science is constantly building. It could be observed that there is an attempt to tell the evolution of concepts, but there is fragmentation between knowledge of Classical Physics and Modern Physics, treated in isolation in series and different chapters. It is argued in this paper, that modern physics is, above all, Physics, and at the address in the first year, the mechanical content, one can treat the Classic, but also, for example, the relativistic. It is necessary to work this knowledge with a certain continuity in educational terms, and not as if they were completely disconnected.

Keywords: History of Science; Textbooks; Wave-particle duality for light and matter; Teaching strategies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 01 – Quadro sobre as Diretrizes Curriculares do Paraná.....	15
Ilustração 02 – Página da Secretaria da Educação do Estado do Paraná.....	19
Ilustração 03 - Mapa Conceitual sobre corpo negro e quantização de energia.....	21
Ilustração 04 – Analogia do elétron.....	23
Ilustração 05 - Quadro sintetizado das contribuições das estratégias didáticas apresentadas no trabalho.....	28
Ilustração 06 – Categorias e subcategorias para a elaboração do metatexto.....	52
Ilustração 07 - Sumário do livro Ld-3, mostrando a distribuição dos conteúdos de Física Moderna.	54
Ilustração 08 - Recorte do livro Ld-2 referente a sua abordagem sobre a Lei de Stefan – Boltzmann.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Livro escolhido como 1ª opção nas escolas da região.....	43
Tabela 2 - Classificação dos livros didáticos analisados.....	44
Tabela 3 - Total de fragmentos localizados.....	48
Tabela 4 - Unidades de Significado extraídos dos livros didáticos analisados	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	O ENSINO DA FÍSICA MODERNA NA EDUCAÇÃO BÁSICA	14
2.1	CONSIDERAÇÕES SOBRE O ENSINO DA FÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA	14
2.2	O ENSINO DA FÍSICA CLÁSSICA E MODERNA ATRAVÉS DE TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TICS)	18
2.3	FÍSICA ATRAVÉS DE MAPAS E DIAGRAMAS CONCEITUIAS	20
2.4	FÍSICA ATRAVÉS DO USO DAS ANALOGIAS	22
2.5	FÍSICA ATRAVÉS DA EXPERIMENTAÇÃO	23
2.6	UMA ÊNFASE NO USO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA (HC) PARA INTRODUIZIR CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA NA EDUCAÇÃO BÁSICA	25
2.7	SISTEMATIZAÇÃO	27
3	A DUALIDADE DA LUZ E DA MATÉRIA	29
3.1	A RELEVÂNCIA DA NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO DA FÍSICA ...	29
3.2	A HISTÓRIA DOS CONCEITOS DE LUZ E MATÉRIA	34
4	A FÍSICA MODERNA NOS LIVROS DIDÁTICOS DO PNLD 2015	40
4.1	O PLANO NACIONAL DO LIVRO DIDÁTICO (PNLD) 2015	41
4.2	METODOLOGIA UTILIZADA NA ESCOLHA DOS LIVROS DIDÁTICOS À SEREM ANALISADOS	42
4.3	O QUE DIZEM OS LIVROS DIDÁTICOS DO SEGUNDO ANO DAS COLEÇÕES ESCOLHIDAS SOBRE A NATUREZA DA LUZ	44
4.4	A ANÁLISE TEXTUAL DISCURSIVA	46
4.5	A ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS	48
4.5.1	Unitarização e Categorização	48
4.5.2	Metatexto: Origem da Mecânica Quântica e seus vínculos com a Física Clássica	52
4.5.3	Metatexto: Desenvolvimento das ideias da Física Quântica	61
4.5.4	Metatexto: Estabelecimento da concepção dual para a luz e a matéria	65
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
6	REFERÊNCIAS	73

1- INTRODUÇÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi desenvolvido no âmbito da graduação em Física – Licenciatura, do *Campus* Realeza da Universidade Federal da Fronteira Sul. Ele visa uma análise de aspectos da Natureza da Ciência (NdC) presentes em livros de Física aprovados pelo Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2015. Mais especificamente, quer-se identificar as visões de Ciência que são repassadas por uma amostra de livros ao tratar, nas seções de Física Moderna, da natureza da luz, sua característica dual e a extensão desse conceito para a matéria.

Antes de adentrar a análise, logo no capítulo 2 deste estudo, procura-se reconhecer, por meio de uma revisão de literatura, os argumentos da área de Ensino de Física que se referem à inserção da História da Ciência e dos conteúdos da Física Moderna na Educação Básica. A motivação para este levantamento de dados está em identificar estratégias que permitam ao professor desenvolver conteúdos como a dualidade onda partícula em sala de aula, de forma que o estudante entenda tanto esse conhecimento específico, quanto sua construção histórica.

Trazer a Física Moderna para a sala de aula significa aproximar as novas descobertas dos estudantes, conforme as mesmas vão desenvolvendo-se. Compreender que há uma continuidade (porém não uma linearidade ou cumulatividade) na Ciência e que ela está em constante modificação. Se os alunos estudarem somente a Física Clássica terão não mais que a visão do que foi a Física, sem saber que muito se modificou e ainda se modifica.

A revisão de literatura foi realizada através do sistema Web Qualis da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) utilizando como critério as revistas A1 e A2 brasileiras dos últimos cinco anos (2009-2014), além de artigos relevantes para a pesquisa encontrados em periódicos nacionalmente reconhecidos na área, como o Caderno Brasileiro de Ensino de Física, anais de encontros de Física, bem como dissertações e teses selecionadas através de uma busca com palavras-chaves tais como: Ensino de Física Moderna, estratégias didáticas no ensino de Física, natureza da luz, estratégias de levar a Física Moderna para a sala de aula, Física Moderna na Educação Básica e Ensino da natureza da luz e da matéria. Além disso foram estudados também trabalhos em que se envolvem abordagens sobre os livros didáticos de Física do Ensino Médio.

Durante tal levantamento percebeu-se que as estratégias mais evidentes para o Ensino da Física Moderna na escola são aquelas que envolvem o uso das tecnologias de informação e comunicação (TICS), de mapas e diagramas conceituais, de analogias, da experimentação e da História da Ciência. A esta última será concedido destaque, uma vez que é esta a que mais se aproxima do objeto de investigação do presente trabalho.

No capítulo 3 apresentam-se duas seções, sendo que a primeira delas destaca algumas visões deformadas sobre o trabalho científico nos termos em que são identificadas por Pérez e colaboradores (2001). É feito um paralelo entre as deturpações da compreensão sobre a Ciência e possíveis implicações em sala de aula, defendendo-se que a forma com que o professor enxerga a formulação do conhecimento científico interfere, mesmo que de maneira implícita, em sua prática pedagógica.

Na segunda seção, apresenta-se uma versão da História que mostra as diversas teorias que tentaram explicar o conceito de luz. O caminho ali traçado retrata os estudos da autora, que servirão de base para a análise dos livros didáticos.

No capítulo 4 encontra-se detalhadamente apresentada a análise dos livros didáticos em que se faz uma breve explanação sobre o PNLD e se delimita a amostra. Uma das principais referências para a construção desse capítulo foi a dissertação de mestrado de Graciela Meggiolaro (2012) e além desta, foi disposto também de estudos em livros e artigos que trazem a História da Ciência, mais especificamente que contemplam a História que envolve a dualidade da luz e da matéria. A metodologia empregada para a coleta e a interpretação de dados foi a análise textual discursiva.

Neste capítulo ainda, se enfatiza a relevância do docente compreender que o livro didático não pode ser o único instrumento utilizado em sala de aula, e que cabe a ele observar as limitações desses materiais e criar alternativas para que os estudantes não sintam essa defasagem presente nos livros.

O presente trabalho parte da perspectiva de que é preciso tentar diminuir os obstáculos entre a Física Moderna e sua inserção no ensino, mas para isso é fundamental compreender que a sua falta nos livros didáticos, o tempo escasso e a própria formação de professores são fatores que dificultam essa aproximação. Mesmo assim, as pesquisas na área de Ensino de Física apontam para a necessidade de mudanças na forma com que os conteúdos estão distribuídos na Educação Básica, mais especificamente no Ensino Médio (URZETTA e CUNHA, 2013; BRANDÃO, ARAUJO e VEIT, 2010; COELHO e NUNES, 2008; OSTERMANN e RICCI, 2005; SAUERWEIN e DELIZOICOV, 2008; OLIVEIRA, VIANNA e GERBASSI, 2007).

É urgente investir em uma atualização curricular, uma reconfiguração dos conteúdos selecionados para as aulas de Física, os quais devem permitir que os estudantes pensem e interpretem o mundo que os cerca. A abordagem didática a partir de situações do cotidiano é fundamental (TERRAZZAN, 1992). Utilizar-se de analogias, por exemplo, facilita a compreensão dos conceitos quando se faz menção ao cotidiano. O aluno constrói um novo olhar sobre o problema a partir de uma relação antes vivenciada, porém não analisada (ZAMBON e TERRAZZAN, 2013).

Atualmente na Rede Pública do Estado do Paraná, no Ensino Médio Regular, a disciplina de Física conta com 80 horas anuais em cada um dos anos do Ensino Médio, salvo algumas escolas nas quais há uma aula a mais no primeiro ano, sendo que, na maioria dos casos essas aulas são distribuídas em apenas dois encontros semanais com duração de quarenta e cinco minutos cada. As ementas do curso são divididas pelas subáreas: Mecânica, Astronomia, Flúidos e Termodinâmica, Óptica, Ondulatória e Eletromagnetismo.

Conforme indicação das Diretrizes Curriculares Estaduais, nas 80 horas de aula de Física do primeiro ano do Ensino Médio, devem ser vistos os conteúdos de Mecânica e Astronomia. No segundo ano, em aproximadamente 80 horas, estudam-se Flúidos e Termodinâmica, Óptica e Ondas Mecânicas. No terceiro ano seguem os conteúdos de Eletromagnetismo, em igualmente 80 horas. Segundo o documento, a Física Moderna estaria contemplada dentro de cada subárea como uma continuidade das explicações da Física Clássica, porém, na grande maioria dos livros didáticos ocorre que o ensino da Física Moderna é o último conteúdo previsto para o terceiro ano.

Cada uma das subáreas mencionadas é extensa, e, na realidade, o número de aulas disponíveis é bastante insuficiente. Na maioria dos casos os conteúdos do final do ano são trabalhados muito rapidamente ou não o são feitos. No terceiro ano, por exemplo, muitas vezes não é possível adentrar ao conteúdo de Física Moderna, levando os alunos a conhecerem somente a Física Clássica, ignorando o fato de que as tecnologias atuais utilizadas pelos estudantes são possíveis devido ao desenvolvimento da Física Moderna.

Se o tempo permite estudar somente alguns conteúdos com mais profundidade, cabe ao professor observar a relevância de cada um deles de acordo com o público-alvo. Quando se cria um projeto, um curso, sendo este ofertado ao professor, é preciso estabelecer oportunidades para discutir novas alternativas metodológicas, melhorando o ensino de Física, além de tratar de uma reconstrução curricular, baseada em novos parâmetros e diretrizes, visando a contextualização do conhecimento, que deve fazer parte do planejamento do professor. (SAUERWEIN e DELIZOICOV, 2008).

Para lidar com essas dificuldades é preciso investir em mudanças na Educação Básica, mas também na formação inicial e continuada de professores de Física. “Não basta introduzir novos assuntos que proporcionem análise e estudo de problemas mais atuais se não houver uma preparação adequada dos alunos das licenciaturas para esta mudança e se o profissional em exercício não tiver a oportunidade de se atualizar” (OLIVEIRA, VIANNA, GERBASSI; 2007, p. 448). Ou seja, somente a atualização desvinculada de uma continuidade na formação docente preserva as lacunas na forma de ensinar.

2 - O ENSINO DA FÍSICA MODERNA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

2.1 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O ENSINO DA FÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Na Educação Básica, de forma geral, a Física Moderna costuma ser deixada de lado pelos professores em prol do estudo dos inúmeros conteúdos da Física Clássica associados às subáreas Mecânica, Termodinâmica, Eletromagnetismo, Ondulatória, Óptica, etc. Os conhecimentos físicos produzidos a partir do século XIX são tratados, por muitas vezes, de forma superficial, como se pouco pudessem contribuir para o entendimento dos aparatos tecnológicos atuais, ou fossem optativos e irrelevantes para que os sujeitos se situassem na complexa sociedade atual.

Segundo Rosa (2012, p. 35) atualmente a Ciência e a Tecnologia andam juntas, e ambas necessitam uma da outra, pois a “Ciência, por exemplo, permite a criação de técnicas e a melhoria das já existentes, enquanto a Tecnologia contribui com instrumentos e máquinas para o desenvolvimento científico”. É preciso compreender que a Física Moderna está presente no dia a dia, e que “o avanço das tecnologias nos mostra que, cada vez mais, necessitamos de conhecimentos avançados. As tecnologias atuais não são mais baseadas tão somente nas leis de Newton, mas também em um conhecimento muito mais profundo” (DOMINGUINI, 2012, p. 2502-6), e é nesse sentido que esse conhecimento se faz cada vez mais necessário aos alunos.

A opção pelo recorte didático que exclui a Física Moderna e Contemporânea das salas de aula corrobora a ideia de que “a própria visão da ciência, e da Física em particular, [é] geralmente entendida e repassada para o aluno como um produto acabado” (BONADIMAN e NONENMACHER, 2007, p. 194). Com isso, o estudante pode entender que não há nada novo a ser investigado, como se a Física não tivesse sua história, suas percepções, seus paradigmas, sua evolução ao longo dos séculos. A história da Física mostra que essa Ciência está em constante construção, que não se produz conhecimento de maneira isolada, e que a sociedade influencia nos estudos científicos.

A inserção da Física Moderna na sala de aula aparece como uma segunda opção aos professores, o que se justifica pelo tempo de aula, pelos materiais didáticos, pela distribuição dos conteúdos por ano de ensino, e pela própria formação desses professores (SANCHES, 2006; DOMINGUINI, 2012).

No estado do Paraná, o Ensino de Física nas escolas públicas é regido pelas Diretrizes Curriculares Estaduais (DCE's). As Diretrizes de Física, analisadas no presente estudo, direcionam como trabalhar em sala de aula, quais conteúdos, metodologias, avaliações de forma com que “professor e estudantes compartilhem significados na busca da aprendizagem que ocorre quando

novas informações interagem com o conhecimento prévio do sujeito e, simultaneamente, adicionam, diferenciam, integram, modificam e enriquecem o saber já existente” (PARANÁ, 2008, p. 63).

Dentro desta perspectiva, o documento sugere que os conteúdos de Física Moderna sejam tratados em sala de aula conjuntamente com aqueles da Física Clássica, ou seja, em cada subárea a proposta é de que se trabalhem as visões dos conceitos tanto na perspectiva Clássica como na Moderna. Por exemplo, dentro da subárea do Eletromagnetismo as diretrizes citam a importância do estudo do efeito fotoelétrico e a compreensão da descoberta dos quanta de luz (PARANÁ, 2008). Ao final do documento, quando são sugeridos ao professor os conteúdos básicos para a disciplina, os quais devem servir como ponto de partida para a preparação do seu Plano de Trabalho Docente (PTD)¹, a Física Moderna não é tratada em espaço separado e sim anexa a cada conteúdo estruturante regido pelas subáreas da Física (Ilustração 01).

Ilustração 01 – Quadro sobre as Diretrizes Curriculares do Paraná.

Conteúdos Básicos	Abordagem teórico-metodológica	Avaliação
A natureza da luz e suas propriedades	<p>O tratamento pedagógico destes conteúdos básicos deverá considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • que o estudo da ondulatória deve se iniciar pelas ondas mecânicas, pois são mais “visíveis” ou perceptíveis no cotidiano. No entanto, as ondas eletromagnéticas, entre elas a luz visível, também estão presentes no dia-a-dia, porém o modelo matemático para ondas não encontra uma correspondência direta com este fenômeno, sendo ótimo para mostrar a diferença entre modelo e fenômeno, diferenciando real do abstrato. • o contexto histórico-social da construção científica entendida como um produto da cultura humana, sujeita aos determinantes de cada época; 	<p>A partir da formulação das equações de Maxwell e a comprovação experimental de Hertz, a luz passou a ser entendida como uma entidade eletromagnética. No entanto, estudos realizados no final do século XIX e início do século XX levaram ao estabelecimento da natureza corpuscular da luz (os quanta). Isso contribuiu para a apresentação da Física como uma ciência construída e em construção. Dessa forma, ao se avaliar o estudante espera-se que ele:</p> <ul style="list-style-type: none"> • entenda o propósito do estudo da luz no contexto do eletromagnetismo; • conceba a luz como parte da radiação eletromagnética, localizada entre as radiações de alta e baixa energia, que manifesta dois comportamentos, o ondulatório e o de partícula, dependendo do tipo de interação com a matéria; • entenda os processos de desvio da luz, a refração que pode ocorrer tanto

¹ O PTD é uma programação de quais conteúdos o professor trabalhará durante o trimestre/ano.

	<ul style="list-style-type: none"> • a Epistemologia, a História e a Filosofia da Ciência – uma forma de trabalhar é a utilização de textos originais, traduzidos para o português ou não, pois se entende que eles contribuem para aproximar estudantes e professores da produção científica, a compreensão dos conceitos formulados pelos cientistas e os obstáculos epistemológicos encontrados; 	com a mudança do meio quanto com a alteração da densidade do meio, além do processo de reflexão, no qual a luz é desviada sem mudança de meio;
--	--	--

Fonte: Elaborado pelo autor de um recorte dos conteúdos estruturante - Eletromagnetismo segundo as Diretrizes Curriculares do Paraná (2008, p. 97).

Percebe-se que no documento há uma interpretação epistemológica sobre a Ciência que é implícita, a qual respeita a ideia de construção e valoriza igualmente todas as áreas da Física.

Segundo Thomas Kuhn (1962), epistemólogo contemporâneo, o desenvolvimento científico pode ser compreendido a partir de três etapas: o período de Ciência Normal, de Revoluções Científicas e mudanças de paradigmas. Na Ciência Normal os cientistas estão operando dentro de um mesmo paradigma, o qual fundamenta a interpretação científica (e não de senso comum) dos fenômenos, e só é compreendido por aqueles já familiarizados com o meio científico. Já as Revoluções Científicas ocorrem com o surgimento de anomalias nos períodos de Ciência Normal, as quais desencadeiam uma crise. Para explicar essas anomalias, buscam-se respostas para além das definições do paradigma, cujas regras não satisfazem mais.

Pode-se pensar, por exemplo, que antes da instauração da quantização da energia a Física Clássica estava bem estabelecida, pois haviam inúmeros conceitos e teorias bem definidas. Com o surgimento da Física Moderna e desses novos fatores, divergências, que seriam as anomalias dentro da clássica, a Física exige mudanças até que esses novos conceitos sejam bem compreendidos e se abandone o antigo paradigma, como, por exemplo, na Física Clássica, em que a energia era considerada com espectro contínuo, surgindo um grande problema para a explicação da radiação térmica. Testemunhando estes problemas, cientistas procuraram explicar este fenômeno chegando à conclusão depois de algum tempo que a mesma não conseguia ser explicada baseada na Física Clássica, que a energia não era contínua e sim tinha apenas alguns valores discretos, ou seja, era quantizada, mudando radicalmente a História da Física.

Retomando as DCE's, é essencial destacar que elas mostram a importância dos conteúdos de todas as áreas da Física a serem ensinados em sala de aula evidenciando essa continuidade didática, mas que não pode ser entendida meramente como cumulatividade do conhecimento. Portanto, não apenas os planos de trabalho dos professores de Física deveriam ser balizados pelas Diretrizes

Estaduais, mas também a escolha e utilização dos livros didáticos, os quais atualmente contemplam conteúdos de Física Moderna e Contemporânea. Diante da possibilidade de renovação dos livros que são utilizados nas escolas a cada Plano Nacional (PNLD), em muitos casos o professor opta por aqueles que se adequam melhor ao que já vinham trabalhando. Assim, por mais que as novas coleções apresentadas no Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) abordem conhecimentos atuais de Física de maneira cada vez mais expressiva, esse conhecimento não é foco no momento da escolha dos professores.

O fato de ter que vencer uma ementa já amarrada por longos anos dificulta a inserção no ensino da Física Moderna, e, para além disso, o educador enfrenta diversos obstáculos dentro do Ensino de Física, como a falta da:

valorização do profissional do ensino, as precárias condições de trabalho do professor, a qualidade dos conteúdos desenvolvidos em sala de aula, a ênfase excessiva na Física clássica e o quase total esquecimento da Física moderna, o enfoque demasiado na chamada Física matemática em detrimento de uma Física mais conceitual, o distanciamento entre o formalismo escolar e o cotidiano dos alunos, a falta de contextualização dos conteúdos desenvolvidos com as questões tecnológicas, a fragmentação dos conteúdos e a forma linear como são desenvolvidos em sala de aula, sem a necessária abertura para as questões interdisciplinares, a pouca valorização da atividade experimental e dos saberes do aluno (BONADIMAN e NONENMACHER, 2007, p. 194).

Essa acomodação, no sentido de utilizar-se das mesmas metodologias e caminho a ser seguido no livro didático tornando-o guia único na sala de aula, influencia novos profissionais que acabam tornando-se coniventes com essa prática. Segundo as Diretrizes Curriculares da Educação, “o livro didático é uma importante ferramenta a serviço do professor, como é um computador, a televisão, a rede web, etc. Mas, sua eficiência, assim como as de outras ferramentas, está associada ao controle do trabalho pedagógico, responsabilidade do professor” (PARANÁ, 2008, p. 64).

Os licenciados recém-egressos em sua formação inicial se deparam com um fazer escolar desatualizado, e acabam muitas vezes se acomodando com os conteúdos propostos a cada ano que passa. As ementas vão se tornando cômodas e difíceis de modificar, acabando por muitas vezes reprisar sempre o mesmo plano de trabalho docente. A mudança precisa começar desde a preparação desses professores. Estas dificuldades ressaltam que o problema de não ensinar a Física Moderna em sala de aula não parte somente do professor, mas também da estrutura que o cerca. Mudar é um grande passo e essa mudança deve acontecer em toda a educação.

Trabalhar Física no Ensino Médio exige bons livros, pois “seu entendimento aparece como uma necessidade para compreender os fenômenos ligados a situações vividas pelos estudantes seja de origem natural ou tecnológica” (CAVALCANTE e TAVOLARO, 2001 p. 298). Para além deles, é essencial a autonomia do professor na proposição e implementação de estratégias didáticas

adequadas para lidar com a complexidade desse conhecimento. Cabe ao docente trazer novas estratégias que visem o aluno como centro de aprendizagem, pois a Física Moderna é complexa, exige um bom entendimento do significado dos termos conceituais, uma boa compreensão da matemática, um nível de abstração para compreender contextos impossíveis de serem visualizados. O professor precisa ter autonomia para buscar essas novas metodologias, pois a Física Moderna somente exposta carece da compreensão dos alunos, e sem suporte de um livro adequado, o professor deve buscar alternativas para encontrar uma maneira possível de deixá-la menos complicada.

Existem diversas barreiras que interferem dentro da sala de aula e o Ensino de Física, como sua carga horária, fazendo o professor ter de selecionar conteúdos, optar muitas vezes somente pela Física Clássica, passando os conteúdos de forma superficial, carregada de matemática sem contextualização com a Física, além de outras atividades no horário de aula, como avisos, entre outros (PIRES e VEIT, 2006, p. 241).

2.2 - O ENSINO DA FÍSICA CLÁSSICA E MODERNA ATRAVÉS DE TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TICS)

Muitos recursos didáticos podem ser utilizados nas aulas de Física para melhorar o ensino formal, nesse sentido, as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) vem ganhando espaço de destaque nos últimos anos. A democratização do acesso à internet facilita pesquisas de conceitos bem como a visualização destes por meio das mais variadas ferramentas, dentre as quais estão os vídeos, imagens, simulações computacionais, animações, hipertextos, etc. O uso da internet também pode auxiliar na montagem de experimentos virtuais, na análise de dados experimentais, complementando o ensino em sala de aula. (CAVALCANTE, PIFFER e NAKAMURA, 2001).

A utilização de ambientes computacionais pode funcionar como uma extensão da sala de aula, favorecendo a interação entre o estudante e o conhecimento, abrangendo maior número de alunos, afinal, “softwares educacionais apresentam-se como alternativa para alunos com diferentes graus de desenvolvimento cognitivo e diferentes concepções em relação ao assunto abordado, respeitando as particularidades entre o variado grupo de usuários do software” (RIBEIRO JUNIOR, CUNHA e LARANJEIRAS, 2012, p. 4602-2). As TICs levam o aluno para além da sala de aula, o fazem praticar suas habilidades, podendo explorar no seu tempo o ambiente virtual de aprendizagem organizado pelo professor.

No que tange à Física Moderna, tanto os fenômenos microscópicos, associados às partículas elementares, quanto os macroscópicos, relacionados a grandes dimensões e distâncias no Universo,

são bastante abstratos. TICs podem tornar esses mundos palpáveis, traduzindo-os através do desenvolvimento computacional.

Segundo Pires e Veit (2006, p. 247), que tentaram introduzir o uso das TICs para abordagem dos conteúdos de Física, “o ensino usando TICs exige do professor muito mais tempo de trabalho extra-aula, agravando fortemente o problema de baixa remuneração do professor”. O próprio professor poderia criar um ambiente virtual para interagir com os estudantes, ou um blog, por exemplo, fazendo com que os alunos discutissem entre eles e com o docente, assuntos referentes à aula, sendo uma opção de complementação das atividades.

Cabe também ressaltar que as tecnologias atuais, conhecidas dos alunos, como celulares, LEDs, tablets, são desenvolvidas graças ao avanço da Física Moderna. Assim sendo, o aluno pode ter curiosidade em saber mais sobre o assunto, pois ele carrega consigo, vinte e quatro horas por dia, o celular no bolso e não tem consciência de quanta Física foi necessária para produzi-lo. Vendo que há uma necessidade de compreender os fenômenos ligados ao dia-a-dia dos estudantes, como, as situações que vivenciam, sua origem, a utilização das tecnologias a favor do desenvolvimento da Física ao auxiliar na explicação de fenômenos, a introdução da Física Moderna pelo professor em sala de aula passa a ter cada vez mais importância. (CAVALCANTE e TAVOLARO, 2001).

No Estado do Paraná, o professor pode contar com uma série de ferramentas disponíveis no site da Secretaria do Estado da Educação do Paraná (SEED). No portal “Dia a dia educação” é possível encontrar materiais como textos, animações, simuladores, vídeos, que podem ser acessados também pelos alunos, a partir de qualquer local (Ilustração 02).

Ilustração 02 – Página da Secretaria da Educação do Estado do Paraná.

The image shows a screenshot of the website 'Dia a dia educação' from the Paraná State Education Secretariat (SEED). The page features a search bar with 'Física' entered, a navigation menu with 'ALUNOS', 'EDUCADORES', 'GESTÃO ESCOLAR', and 'COMUNIDADE', and a main content area titled 'O Ensino de Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica'. The content includes a text introduction, objectives, and a list of resources: Debates, Artigos, Áudios, Simuladores, Sugestão de leitura, and Vídeos. A sidebar on the left lists various educational resources like 'Calendário Escolar 2015' and 'Física Experimental'.

Fonte: Página da Secretaria da Educação do Estado do Paraná. Disponível em: <<http://www.fisica.seed.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=134>> Acesso 13 de abril de 2015.

2.3 - FÍSICA ATRAVÉS DE MAPAS E DIAGRAMAS CONCEITUAIS

A utilização de mapas e diagramas conceituais tem se mostrado como uma estratégia favorável ao aprendizado e a compreensão de conceitos e teorias físicas no âmbito escolar. Para Moreira (2006, p. 09) os mapas conceituais podem ser compreendidos como:

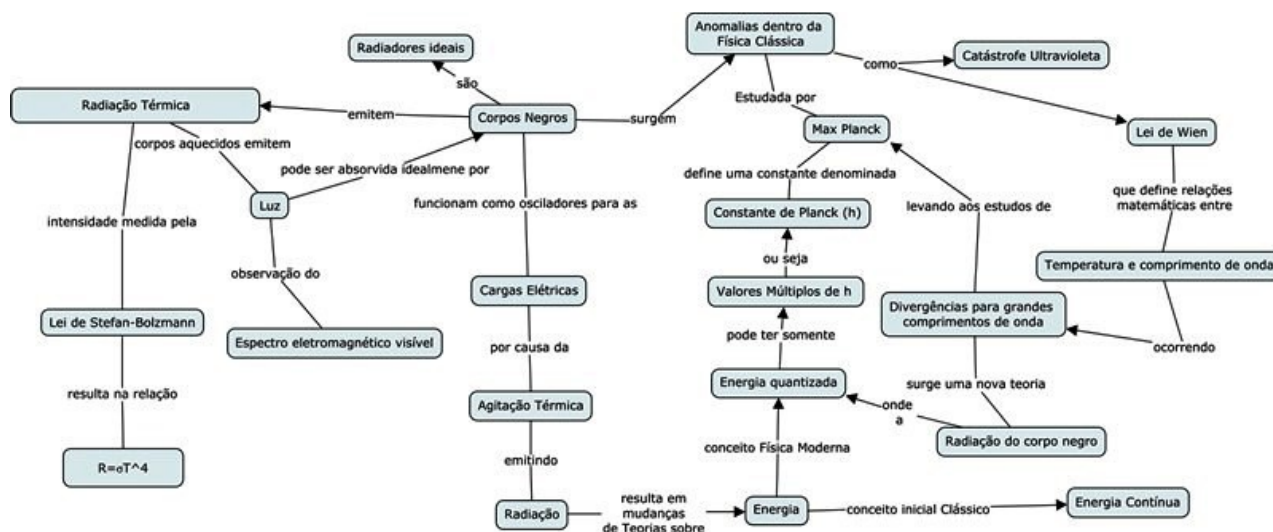
diagramas que indicam relações entre conceitos. Mais especificamente, podem ser interpretados como diagramas hierárquicos que procuram refletir a organização conceitual de um corpo de conhecimento ou de parte dele. Ou seja, sua existência deriva da estrutura conceitual de um conhecimento.

Desta forma, pode-se trabalhar um determinado tema utilizando os mapas como base, representando neles os principais conceitos de uma dada disciplina, de forma que o aluno deve saber interpretá-los. Por meio deles é possível sintetizar o conteúdo a ser visto. Os “mapas conceituais podem ser usados para mostrar as relações hierárquicas entre os conceitos que estão sendo ensinados” (MARTINS, VERDEAUX e SOUSA, 2009, p. 3402-2). O foco desses diagramas está em um conceito principal, geral, a partir do qual diferenciam-se de outros menos abrangentes. Os conceitos são ligados por termos, frases, de modo a formar uma rede sobre o contexto estudado.

Ainda por meio dos mapas, é possível que dois assuntos que se entrelacem, tais como os conteúdos estudados e a visão de ciência dos sujeitos. Por exemplo, pode-se pensar em um mapa que demonstre a história do conceito de luz, identificando sua natureza em certas épocas entendida como onda e em outras como partícula, narrando todo o caminho até o descobrimento da sua natureza dual.

Os mapas conceituais são constituídos ainda por palavras ou termos de ligação, sendo definidos pelos autores Correia, Silva e Romano Junior como um conjunto de conceitos dentro de uma rede de proposições, as quais são constituídas segundo os autores, por três elementos “conceito inicial + termo de ligação + conceito final” (2010, p. 4402-2). Esta estratégia está se tornando cada vez mais popular, representa graficamente o conhecimento e informação sobre um determinado assunto. Conforme sua utilização em sala de aula, o aluno vai se apropriando dessa ferramenta e passa a usá-la mais, porém, se tratados de forma meramente lúdica, podem trazer poucos benefícios, cabe aí ao professor propor estratégias para promoção de uma aprendizagem significativa. (CORREIA, SILVA e ROMANO JUNIOR, 2010).

Ilustração 03 - Mapa Conceitual sobre corpo negro e quantização de energia.



Fonte: Elaborado pela autora durante o desenvolvimento do projeto sobre corpos negros e quantização de energia.

Outra alternativa são os diagramas Vê, propostos originalmente por Gowin e que, segundo Moreira (2006, p. 64), possibilitam a “análise da estrutura do processo de produção de conhecimento (entendida como as partes desse processo e a maneira como se relacionam) ou para ‘desempacotar’ conhecimentos documentados sob a forma de artigos de pesquisa, livros, ensaios, etc”. Cada lado do Vê de Gowin tem um significado, uma condição, veiculando o conteúdo que pode ser interpretado e/ou analisado. Pode ainda ser entendido como:

uma ferramenta que nos ajuda a entender e aprender. Uma vez que o conhecimento não é descoberto, mas construído pelas pessoas, ele tem uma estrutura que pode ser analisada. O Vê nos ajuda a identificar os componentes do conhecimento, clarificar suas relações, e apresenta-los em um modo visualmente compacto e claro. São muitos os benefícios do uso do Vê. (MOREIRA, 2006, p. 87).

Ainda segundo Moreira (2006, p. 69), a avaliação não pode mais ser restrita a provas somativas e diagnósticas, mas sim trazer ideias novas, como mapas conceituais, diagramas V, bem como combinações de instrumentos, avaliando o que o aluno sabe conceitualmente, onde “o aluno procura explicitar o significado das relações entre os conceitos” (MOREIRA, 2006, p. 69).

No Ensino de Física em geral pode-se trabalhar com estas estratégias, assimilando contextos, a história, conteúdos, facilitando a compreensão dos estudantes e na própria avaliação, como citado acima. Dentro da Física Moderna, pode-se trabalhar em sala de aula utilizando-se de mapas e diagramas conceituais na forma de agregar as informações importantes sobre aquele

conteúdo, montar um mapa sobre as ligações essenciais, visto que muitos conceitos desta área são totalmente abstratos ao estudante.

2.4 - FÍSICA ATRAVÉS DO USO DAS ANALOGIAS

As analogias são boas estratégias para se utilizar em sala de aula, principalmente no que se refere à Física Moderna que trata de fenômenos quase impossíveis de se mostrar realmente na escola, como elétrons colidindo, por exemplo. Estas estratégias aproximam o aluno de uma Física menos abstrata, onde ele consegue fazer uma associação com os conceitos. É importante, porém, que sempre se deixe claro que a analogia não pode ser interpretada pelo estudante como objeto real do conceito e sim o que ela representa, onde “o aprendiz atribui significado ao conhecimento ensinado” (ZAMBON e TERRAZZAN, 2013, p. 1505-2).

Uma analogia deve vir acompanhada dos conceitos originais, e na sua produção o professor deve entender que a “intenção explícita de construção de conhecimento não é algo ‘dado’, mas sim o resultado de um ‘caminho’ a ser construído e trilhado pelos alunos” (ZAMBON e TERRAZZAN, 2013, p. 1505-3). O professor precisa mediar o entendimento dos alunos para que fique clara a proposta de ensino e o estudante não confunda a analogia com o real que quer significar. Tem que se considerar que o livro didático, presente em sala de aula, muitas vezes pode ser o único material de apoio ao professor, portanto é necessária uma análise de sua qualidade e também das estratégias de ensino criadas a partir dele, pois se pode propagar nessa sequência um conjunto de analogias pré-existentes no material, as quais podem possuir suas limitações.

Com os devidos cuidados, o uso de analogias em sala de aula representa uma maneira de interpretar um novo conceito, pois “utilizar uma analogia é realizar um mapeamento de uma estrutura conceitual a outra” (SANTOS e NUNES, 2013, p. 2401-2), fazer a ligação entre o que o aluno conhece e o novo conhecimento.

A utilização de analogias no Ensino de Física é uma estratégia que pode ser levada para sala de aula em diversos conteúdos para facilitar a compreensão do estudante. Na Física Moderna, por exemplo, pode-se utilizar ao trabalhar com partículas, bolas feitas de material visível considerando-a dentro da explicação do fenômeno, sempre deixando claro ao estudante o real significado do que se está exemplificando, o que o objeto representa. Pelo motivo de a Física Moderna, à primeira vista, ser um conteúdo muitas vezes incompreensível aos alunos, buscar esta opção pode desenvolver o interesse do discente em imaginar o real, pensar sobre como alguém pode imaginar tal experiência, enxergar algo tão pequeno, por exemplo, como o elétron que não pode ser visto mas se pode criar uma imagem de como este seria (Ilustração 04).

Ilustração 04 – Analogia do elétron.



Figura 2.7: O elétron.

Fonte: Digitalização do Livro: O Discreto Charme das Partículas Elementares (ABDALLA, 2006, p. 38 fig 2.7: O elétron).

2.5 - FÍSICA ATRAVÉS DA EXPERIMENTAÇÃO

A experimentação é uma das estratégias que pode ser utilizada ao trabalhar com os alunos, quando se busca que os mesmos se envolvam com os conceitos estudados. O uso de materiais diferentes do que eles estão acostumados a manusear, faz com que tenham mais curiosidade e vontade de investigar o fenômeno observado. Diversos conceitos da Física Moderna são difíceis de trabalhar com esta estratégia, uma vez que trazem explicações microscópicas, mas ao mesmo tempo é possível recriar montagens de experimentos que levaram a descoberta de diversos fenômenos, pois “a dinâmica das inovações tecnológicas aproxima cada vez mais o indivíduo do mundo atômico, ou seja, da física moderna” (MELHORATO e NICOLI, 2012, p. 3311-1). Quando o indivíduo se depara com diversas tecnologias alimenta o seu espírito investigativo, e com ele a necessidade de compreender mais a fundo se aquilo que estudou/experimentou em sala de aula realmente funciona.

Podem-se citar também os experimentos históricos, que tentam estabelecer, no âmbito do ensino, uma reconstrução de experimentos desenvolvidos pelos cientistas ao longo dos séculos, reconstituindo os passos feitos por seus idealizadores, as hipóteses que estavam em discussão, compreendendo o seu significado apesar das dificuldades inerentes a essa retratação. Segundo

Ribeiro Junior, Cunha e Laranjeiras (2012, p. 4602-2) “os recursos que geralmente estão a disposição dos professores são muito limitados, o que torna a realização desses experimentos praticamente impossível. Isto acaba desestimulando o educador a reconstituir o experimento e demonstrá-lo em sala de aula”. Isso faz com que o professor, infelizmente, encontre diversas dificuldades em trabalhar esse tipo de experimento, seja por falta de material adequado, conhecimento abrangente sobre o assunto, recursos, etc. Uma alternativa seria a simulação desse tipo de experimento de maneira computacional, permitindo ao professor adaptar a experiência dependendo da ocasião, e, oferecendo aos alunos uma possibilidade de visualizar uma situação Física mais de perto (RIBEIRO JUNIOR, CUNHA e LARANJEIRAS, 2012, p. 4602-2).

Dentro da sala de aula de Física na Educação Básica há várias experimentações básicas que podem ser feitas, principalmente envolvendo a Física Clássica. Experimentos que envolvem medição de temperatura e atividades que contenham movimentos uniformes são exemplos. Já ao se tratar de Física Moderna, por exemplo, da Relatividade, seria impossível colocar de verdade uma elefanta grávida girar com quase a velocidade da luz para ver em quanto tempo ocorreria o nascimento de seu filhote e quanto tempo demoraria para chegar esta informação à Terra (TIPLER e LLEWELLYN, 2010). Essa abstração, essa necessidade de imaginação, torna favorável o uso de experimentos computacionais, recriando estas situações não realizáveis na prática.

É importante compreender que a utilização da experimentação traz uma nova visão para o conceito que vai ser estudado, rompendo com a ideia de que o aluno é um mero receptor do conhecimento, pois ele interage com a situação. Segundo Terrazzan, Silva e Zambon (2008, p. 6), em uma análise que fazem dos PCN+ para o Ensino de Física, a experimentação é vista como uma atividade indispensável, que deve:

privilegiar o fazer, o manusear, o operar e o agir em diferentes formas e níveis. Além disso, as atividades didáticas, baseadas neste recurso, devem ser planejadas de modo a garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno e a desenvolver sua curiosidade e o hábito de sempre indagar. Evitando, assim, que o aluno adquira uma visão distorcida do conhecimento científico, acreditando que este é uma verdade estabelecida e inquestionável [...] uma atividade experimental que se propõem a romper com esta visão deformada da ciência, deve ser orientada por um roteiro experimental mais aberto. Este tipo de roteiro é caracterizado por: 1) apresentar uma situação problema que instiga os alunos a elaborar um procedimento experimental, ao invés de apresentar uma lista de procedimentos par ser seguidos pelos alunos; 2) conferir ao professor o papel de mediador das discussões e ações realizadas durante a atividade pelos alunos; 3) permitir aos alunos que tomem conhecimento do processo percorrido para chegar a um resultado experimental.

Assim sendo, o estudante se aproxima do conhecimento de uma forma que o instiga a querer saber mais. Trabalhar com Física Moderna dentro da sala de aula é uma tarefa difícil, existem várias limitações e o professor deve tentar ver qual a melhor estratégia se adequa ao momento. Os

conteúdos da Física Moderna se relacionam a fenômenos físicos de ordem microscópica ou macroscópica, o que impede a experimentação real do que se busca representar dentro de uma sala de aula.

2.6 - UMA ÊNFASE NO USO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA (HC) PARA INTRODUIZIR CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

A História da Ciência, dentro de uma perspectiva internalista, é uma reconstrução de fatos que busca evidenciar como as teorias, conceitos físicos, tecnologias, foram se desenvolvendo ao longo dos séculos. Estudá-la permite entender a natureza da ciência, que consiste em compreender os acontecimentos ao longo da história que levaram ao desenvolvimento de conceitos e teorias.

A natureza da Ciência se deve estudar através de aspectos que a relacionem com o mundo. A “aprendizagem sobre a ciência deveria incluir elementos tais como sua relação com a cultura e a sociedade, o caráter mutável das ideias científicas, a humanização dos cientistas, entre outros. Esses aspectos fazem parte do que os filósofos e epistemólogos chamam de natureza da ciência” (SILVA e MOURA, 2008, p. 1602-1).

Um dos caminhos para compreender a natureza da Ciência dentro da sala de aula, é através de sua história.

O estudo de episódios históricos pode oferecer uma ampla discussão sobre o processo de construção e divulgação de determinadas teorias científicas, suas influências sobre a sociedade da época e a sua eventual rejeição, o que mostra que a natureza da ciência não é simples e tampouco de fácil entendimento, mas rica em detalhes e extremamente fascinante aos olhos de quem a vê. (SILVA e MOURA, 2008, p. 1602-9).

Essa discussão leva os estudantes a exercitar seu pensamento crítico, posicionar-se diante de teorias e tentar compreendê-las a partir de fatos que mostram porque os rumos tomados foram tais, porque se demorou tanto para chegar a uma conclusão satisfatória e que os cientistas não foram isolados da sociedade e sim trabalhavam muitas vezes em função dela e de suas necessidades.

Quando se estuda cada subárea da Física de maneira isolada, faz-se muitas vezes entender que a mesma sempre foi isolada de tudo a sua volta, descobrindo-se uma única coisa de cada vez, como se a Ciência progredisse linearmente. Há necessidade de compreender que a Mecânica estava em estudo ao mesmo tempo em que as demais subáreas, que haviam vários filósofos da natureza estudando um mesmo assunto e que existiam contradições, e não somente ensinar que determinada teoria vigorou durante um determinado tempo.

Trabalhar com a História da Ciência é um dos caminhos para ensinar Ciências, não só em seus conceitos fundamentais, mas a própria Ciência em si (ARTHURY e PEDUZZI, 2013), em que desperte no aluno o significado dos conteúdos, suas conexões, sendo ouvido no processo de ensino-aprendizagem, fazendo parte constantemente das discussões entorno dos temas abordados em sala de aula.

O estudo sobre a natureza da ciência, ilustrada a partir de episódios da história, permite perceber a provisoriedade do conhecimento científico. Quando o estudante do Ensino Médio é estimulado a compreender as mudanças que ocorrem na Ciência, nada mais justo que fazer com que ele se questione o porquê, em sala de aula, de a Física acabar no século XIX. Não há Física sendo desenvolvida a partir disso? Por que o professor ensina os conceitos, a história, os cientistas, até determinada data e não avança na Física atual? Porque se espera até o último ano do Ensino Médio para abordar a Física Moderna? Porque este conteúdo torna-se uma opção que muitas vezes nem chega a ser estudada?

A Física Moderna por muitas vezes é introduzida em sala de aula como uma unidade didática isolada, ou até mesmo como o surgimento de conceitos novos diferentes, como se até o momento fosse de um jeito e passa, magicamente, a ser de outro. Se simplesmente o educador começar a abordar, depois de toda a Física Clássica, um título “Física Moderna” no qual agrega todos os conceitos - relatividade, radiação, dualidade, partículas - como um único conteúdo, não há como se esperar que o estudante associe cada conhecimento com aquele visto na Física Clássica. Deve-se pensar que “o surgimento da física moderna possibilitou a compreensão de muitos fenômenos em que a física clássica falhava” (MELHORATO e NICOLI, 2012, p. 3311-1), sendo de extrema importância serem estudados, mas em continuidade, não como fatos isolados.

Outra possibilidade que é observada em livros é tratar da Física na forma de recortes do que já se estudou, no começo de uma nova unidade, um novo título, sem conexão com o que aluno estudou até o momento. Se o educador não ajudar o estudante a estabelecer ligações entre aquilo que viu e os novos conceitos, o aluno sozinho não consegue conciliar estes conhecimentos. O professor é quem tem o papel de mediar esse conhecimento, levando a Física Moderna não como um conteúdo extra, com pouca importância, e sim como um conteúdo essencial a sua aprendizagem. A História da Ciência dentro do ensino vem com o intuito de selar essa união entre a Ciência e a Sociedade, mostrar que ambas andam juntas, que não existe História da Ciência dispersa da sociedade nem sociedade que vive longe do que a Ciência desenvolve.

Morais e Guerra (2013), em seu artigo sobre como levar História e Filosofia para dentro da sala de aula inserindo a Física Moderna, colocam que os próprios alunos sentem mais vontade em aprender aqueles significados, se são inseridas discussões históricas sobre os conteúdos, como

compreender como os fatos aconteceram, o que levou a cada descoberta, porque a Ciência está sempre em construção e não há um ponto final.

A História da Física Moderna é fundamental para compreender porque ocorre uma ruptura entre a Clássica e a Moderna, o que levou a essa nova Física, o que fez com que não perdurasse os conceitos até então fundamentados em uma teoria sólida, que ruptura faz com que isso ocorra, como se desenvolve o pensamento sobre determinado assunto que se depara com a mudança. Compreendendo que isso não ocorre de um dia para o outro, há um longo processo para quebrar os paradigmas clássicos, como coloca Kuhn (1962), que diz que há um período de revoluções científicas, pois a Ciência não muda de um dia para o outro.

Muitos experimentos realizados pelos cientistas em torno da Física Moderna são experimentos de pensamento, que não são possíveis de serem visualizados como o cientista idealiza no seu pensamento, e muitas vezes são comprovados matematicamente. Tal situação se não é bem articulada pelo professor, leva o estudante em sala de aula a uma enorme confusão, pois ele conhece aquilo palpável, visível aos seus olhos, e compreender o contexto, a história por trás do que o levou a entender que aquilo é real, é determinante para a concepção do estudante.

No âmbito de sala aula, experimentos de pensamento ou mentais demonstram também a história de grandes cientistas que faziam mentalmente seu raciocínio, descrevendo suas potencialidades. É preciso neste caso articular questões epistemológicas destas experiências realizadas pelo pensamento. Criar situações que os alunos reflitam sobre esta forma de desvendar as questões, para que entendam como alguns cientistas trabalhavam, não tendo somente a percepção de que o cientista idealizou em sua mente uma teoria e passou a externalizá-la sem mais nem menos, mas que entendam todo o embasamento teórico deste processo. Os experimentos mentais são importantes para entender a História da Ciência, mostra a relação entre o passado e o futuro, e a mudança de pensamento, onde o indivíduo faz parte dele (KIOURANIS et al, 2010).

2.7 - SISTEMATIZAÇÃO

Em síntese, das estratégias detalhadas anteriormente, pode-se compor o seguinte quadro que representa em linhas gerais, as principais contribuições de cada uma delas para o ensino da Física Moderna na Educação Básica.

Ilustração 05 - Quadro sintetizado das contribuições das estratégias didáticas apresentadas no trabalho.

Estratégia	Principais contribuições no ensino da Física Moderna
1.1 TICs	Uso de simuladores e demonstração com imagens animadas de fenômenos. Observação de ideias/experimentos impossíveis de visualizar em sala de aula. Vídeos exploratórios sobre o assunto.
1.2 Mapas e Diagramas Vê	Sintetização de dados. Hierarquização de conceitos. Construção de uma linha do tempo dos acontecimentos.
1.3 Analogias	Utilização de meios alternativos para explicar experimentações que não há a possibilidade de utilizar o modelo original. Explicação de fatos.
1.4 Experimentação	Demonstração e comprovação de leis. Estudo de como se comprovou conceitos. Investigação científica. Despertar a investigação científica no estudante.
1.5 HC	Compreensão dos acontecimentos dentro da sociedade de cada época. Melhor assimilação do assunto. Compreensão da verdadeira natureza dos fatos. Construção do pensamento da natureza da Ciência, caminhos que levaram a cada paradigma, conceito, reformulações.

Fonte: Elaborado pela autora.

No trabalho pretende-se analisar o uso da História da Ciência nos Livros Didáticos aprovados pelo PNL 2015, que envolvem o conceito de dualidade onda - partícula para a luz e para a matéria, entendendo como a História da Ciência contribui para um estudo melhor em sala de aula, analisando como os autores consideram relevante para o conteúdo apresentar aspectos históricos. Na sequência deste trabalho será feita uma revisão sobre o desenvolvimento, construção e conceito atual da natureza da luz e da matéria.

3 - A DUALIDADE DA LUZ E DA MATÉRIA

No capítulo anterior teceram-se considerações a respeito do ensino da Física - Clássica e Moderna - na Educação Básica. A revisão de literatura mostrou que, na área de Ensino, cinco são as estratégias didáticas mais indicadas para a abordagem dos conteúdos da Física Moderna nesse nível educativo, quais sejam, a utilização de tecnologias, de mapas e diagramas conceituais, analogias, experimentação e da História da Ciência. Essa última foi discutida em mais detalhes, uma vez que o presente trabalho interessa-se pela análise de aspectos da natureza da Ciência contidos em um conjunto de livros didáticos de Física do Ensino Médio.

Mais especificamente, enseja-se compreender como é inserida nos livros a concepção dual da luz e da matéria, a qual é bastante abstrata e precisa ser contextualizada, reconhecendo-se que ela não foi a única ao longo dos séculos. Estima-se avaliar nesses materiais aspectos da natureza da ciência que aparecem, e também aqueles que são omissos, quando se relata, de maneira histórica, a evolução do conceito de luz.

Antes de tratar da análise dos livros didáticos, apresenta-se, no presente capítulo, uma discussão sobre a relevância dos debates acerca da natureza da Ciência no ensino da Física, e por fim, uma reconstrução da história que se pretende analisar nos livros. Essa foi produzida por uma professora – e não uma historiadora – em formação. Foram utilizados no estudo, diversas fontes, como livros que relatam a História da ciência, artigos publicados que abordam fatos históricos relacionados a Ciência e a Física e dissertações e teses sobre o ensino de Ciências e Física. Diferente do olhar do historiador, que relata passo a passo o que vai ocorrendo dentro de uma determinada época, identificando os personagens, o seu redor, o educador dá um olhar didático, de como poderia contar essa história a seus alunos, de que maneira é possível traçar uma linha que faça o estudante compreender quanto a História foi avançando, dando enfoque sob a perspectiva didática para a sala de aula do Ensino Básico.

3.1 - A RELEVÂNCIA DA NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO DA FÍSICA

Encarar o ensino da Física como mera transmissão de conhecimentos ou, de uma forma mais ampla, como processo de mediação, de troca entre sujeitos – aluno, professor e materiais didáticos – é escolha do professor, a qual evidencia uma visão de ciência, ainda que implícita à sua prática. Uma ciência que pode ser transmitida é aquela acabada, que não está aberta a inovações, e que, portanto, pode ser simplesmente reproduzida. Pérez et al. (2001) diria que é essa uma visão deformada acerca do trabalho científico. Segundo os autores, ao mencionarem a visão

aprobemática e ahistórica, compreendem que esta visão transmite conhecimentos que já estão elaborados, sem falar do seu início, sua evolução, se limitando ao passado, sem dar abertura para novos questionamentos e situações. São repassados os conceitos, sem contextos, trazendo uma concepção de que a Ciência é a que está sendo dita, não permitindo construir um novo conhecimento científico. A visão aprobemática não faz menção a problemas que aconteceram na construção do conhecimento, não há uma proposta de investigação, somente a transmissão de conceitos (PÉREZ et al, 2001).

Tomando a natureza da luz como exemplo, muitas vezes se encontra a concepção newtoniana – corpuscular – como aquela que imperou isolada até as primeiras décadas do século XIX. Porém, conforme mostram Silva e Moura (2008),

Uma análise detalhada desse processo mostra que a óptica corpuscular newtoniana passou por, pelo menos, dois períodos distintos no século XVIII. Nas primeiras décadas, as teorias de Newton não foram seguidas completamente em suas formas originais, mas reformuladas e incorporadas em um modelo dinâmico para a óptica. Este modelo era baseado em conceitos que não foram discutidos abertamente por Newton, como a materialidade da luz e sua interação com os outros corpos por forças agindo a uma determinada distância. A situação só mudou a partir da metade do século XVIII, quando outras teorias para a luz começaram a ser aperfeiçoadas e problemas nesse modelo dinâmico tornaram-se evidentes e sem solução satisfatória (SILVA e MOURA, 2008, p. 1602-2).

Uma ciência é, portanto, construída, o que vem a ter espaço para o pensamento divergente. Nela prevalecem hipóteses, modelos, concepções de experiências, não se raciocinam sobre certezas, mas elabora-se o entendimento dos fenômenos da natureza a partir de conhecimentos adquiridos ao longo do tempo. Busca-se respostas a determinados problemas, as quais serão analisadas rigorosamente, a partir do seu teor científico (PÉREZ et al, 2001).

No âmbito da Educação, é preciso compreender que o “aprender, em Física, está associado a muitas variáveis, mas uma é fundamental: o gostar, e o gostar tem muito a ver com a forma como a Física é ensinada e, particularmente, com as ênfases veiculadas no fazer pedagógico do professor” (BONADIMAN e NONENMACHER, 2007, p. 199). Abrir espaço para a formulação de hipóteses, para o questionamento, para a curiosidade e para as dúvidas dos estudantes, faz com que o aluno sinta-se protagonista de sua aprendizagem, sujeito ativo na produção de conhecimentos. Não se deseja que os alunos decorem conceitos, mas que os compreendam, estabelecendo relações com seu dia a dia. Também não se deseja que o professor transmita “a” visão sobre a ciência, mas sim que perpetue uma visão, que, igualmente ao conteúdo científico, não seja acabada, não ignore a complexidade de relações sociais, políticas e econômicas que influenciaram e ainda influenciam seu desenvolvimento.

Nesse sentido, cabe ressaltar outra visão deformada apontada por Pérez e colaboradores, a de que a ciência é socialmente neutra. A Ciência não é isolada do restante da sociedade, ela não se desenvolve independentemente do que acontece ao seu redor, e muito do que foi descoberto teve como pano de fundo intenção de uso pela sociedade ou parte dela. Não se pode pensar em uma Física neutra, encerrada em si mesma e livre de um contexto histórico mais amplo. Basta pensar na Física Nuclear, na Física Médica e o avanço na medicina. É preciso compreender o caráter social do desenvolvimento da Ciência, sua contribuição para as instituições, para o trabalho de outros pesquisadores, não considerando somente como ponto de partida o paradigma que está vigente na época, mas as circunstâncias que levaram àquele estudo, suas linhas de investigação, o momento histórico e a realidade dos cientistas (PÉREZ et al, 2001).

Sabendo disso, o ensino da Física não pode mais contentar-se com a mera aplicação de fórmulas, com a exatidão de resultados de problemas desconectados da realidade dos estudantes. Se somente se ensina utilizando o livro didático, por exemplo, podem aparecer diversos problemas, como a descontextualização com o meio, as relações entre a Ciência, tecnologia e a sociedade que fazem parte do desenvolvimento da Ciência. O livro didático é produzido de forma que seus conteúdos englobem uma grande região, mas não há como nele haver fatos relacionados a todas as culturas. Portanto, é importante fazer conexões com os estudantes, pois é “cada vez mais necessário que a população possa, além de ter acesso às informações sobre o desenvolvimento científico-tecnológico, ter também condições de avaliar e participar das decisões que venham a atingir o meio onde vive” (PINHEIRO et al, 2007, p. 72).

O estudo em sala de aula sobre a natureza da luz pode ser um excelente caminho para mostrar aos alunos que há, de certo modo, uma ruptura de pensamento quando sai da Física Clássica e adentra a Física Moderna. Esse percurso histórico pode ser aliado para evidenciar que a produção de conhecimentos científicos não é linear, acumulativa. Conforme Pérez et al (2001), essa seria outra visão deformada sobre o desenvolvimento da ciência. Compreender a conceituação de onda e partícula nos termos clássicos contribui para um entendimento futuro sobre a dualidade da luz certamente, porém não integralmente, ou seja, não se trata de acumular esses conhecimentos pura e simplesmente. Ao tratar da dualidade a noção de onda não equivale à ideia, por exemplo, de ondas mecânicas, da mesma forma que a partícula não se trata de um ponto material, como na mecânica clássica. Agora, propriedades como frequência e comprimento de onda continuam válidas, assim como momento linear continua existindo, mesmo que com nova significação no novo contexto. A luz tem características próprias e é preciso deixar claro o significado de cada conceito dentro do ensino da mesma. Ao deparar-se com a conceituação de dualidade onda-partícula, o aluno é desafiado a compreender melhor todos os conceitos anteriormente vistos. Assim sendo é um

estímulo pensar na luz com característica dual. “Separadamente, ondas e partículas são elementos familiares da nossa realidade. Mas como pode a mesma entidade ser onda e partícula? Em que sentido ela é onda, e em que sentido partícula? Estas questões permeiam qualquer introdução à física quântica” (BETZ et al, 2009, p. 3501-2), e o estudante deve compreender o significado de onda, partícula e dualidade no contexto de luz, suas características e como se chegou a cada definição.

O ensino da Física que enseja um aluno protagonista, não pode ignorar o fato de que este aluno não está sozinho. A sala de aula é um espaço plural, no qual deve fomentar a discussão para que os estudantes aprendam a argumentar, a investigar soluções para problemas que exijam a mobilização de conhecimentos científicos. Também a ciência não é lugar para o individualismo. Diferentemente do que mostram desenhos animados, os cientistas não estão isolados do mundo em seus laboratórios mirabolantes. Essa visão individualista é, segundo Pérez et al (2001), outra visão deformada sobre a ciência, onde existem gênios isolados e estes possuem conhecimentos científicos, e, por isso, são os únicos que aparecem na maioria das obras, ignorando todo o trabalho coletivo que envolveu a explicação de conceitos, estudos por trás de grandes experiências, não dando importância ao trabalho cooperativo, nos levando a entender que os resultados de uma investigação foram obtidos por um só cientista.

Novamente considerando o caso da natureza da luz, cabe ressaltar que o conceito de dualidade foi proposto por Einstein em 1905, quando o mesmo determinou a validade do comportamento corpuscular da luz. Porém ele não tentou refutar a ideia da luz enquanto onda eletromagnética, o que foi comprovado pelas equações de Maxwell, mas, utilizando-se do conhecimento de Hertz e colaboradores sobre a descoberta do efeito fotoelétrico e das ideias de Planck da quantização de energia, conseguiu explicar que a luz também poderia ser descrita por pacotinhos de energia discretos, os quais foram denominados fótons. Nasce aí o termo dualidade onda-partícula, segundo o qual para determinados fenômenos a luz tem comportamento de onda e em outros de partícula.

Essa mesma parte da história mostra também o quão limitada é outra visão deformada apontada por Pérez e colaboradores, a empírico-indutivista ou ateórica. Segundo os autores, esta visão aborda a não consideração de hipóteses, o papel neutro na observação e experimentação, como se não houvessem teorias que norteiam toda a investigação. Na produção de conhecimentos científicos não há um único método possível. Einstein, em seus experimentos sobre o efeito fotoelétrico demonstrou que a luz tinha natureza corpuscular, o que contrariava a teoria ondulatória existente, propondo algo novo.

Houve nessa história da luz, contradições teóricas, concepções divergentes que evidenciam que as mudanças de pensamento não ocorrem instantaneamente. Kuhn (1962) escreve que, quando existe uma anomalia num paradigma vigente, esta instiga à investigação e “atrai” para um novo pensar, um possível novo paradigma, que só vigora quando o anterior é finalmente derrubado. Einstein demonstrou o princípio da dualidade da luz em 1905, mas somente em 1924 Louis De Broglie estendeu esse comportamento para toda a matéria. Para que o conceito de dualidade fosse aplicado à matéria, era preciso comprovar todas as características de onda e partícula para o elétron, por exemplo, que até o momento era tido como partícula. Para provar que as partículas materiais tinham comportamento ondulatório foi preciso mostrar que fenômenos como interferência e difração ocorriam nessas partículas.

Nota-se assim, quão ingênuo é pensar que a ciência pode ser feita em bases neutras. Qualquer análise que será realizada é baseada em um referencial teórico. Não há como partir de um estudo totalmente isolado dos demais, seja por um método científico, uma visão coerente, uma investigação, até mesmo partindo de um paradigma. Quando se parte de um problema, é necessário apresentar um método e um objetivo para abordá-lo, considerando que partimos do que já conhecemos, do que já está pré-estabelecido, começando assim uma nova pesquisa.

No ensino da Física, muitas vezes, os experimentos são utilizados como meros apêndices e se ignora o fato de serem tão relevantes (respeitada a discussão anterior, especialmente sobre a visão empírico-indutivista) no desenvolvimento científico. Não há como negar a importância do experimento do efeito fotoelétrico, por Einstein, na estruturação de sua concepção dual da luz. Mas, em sala de aula, quando experimentos são trabalhados, o são usualmente por meio de roteiros fechados, resumindo-se em perguntas com respostas prontas, procedimentos dados para obtenção de um único resultado final. Dessa forma, aos alunos se transmite uma – e última – visão deformada da ciência, que, segundo Pérez et al (2001), enfatiza o método científico com sequência rígida e única de passos para atingir conhecimentos científicos verdadeiros. Não basta introduzir diversos roteiros de atividades para os alunos desenvolverem em sala, resumindo-se em mera pergunta e resposta, desenvolvendo de maneira algorítmica.

Demorou muito tempo para compreender o que levava de fato entender a natureza da luz e da matéria. Quando se ensina Física através da sua História, pode-se obter uma maior compreensão por parte dos estudantes, sobre esses conceitos, envolvendo os conhecimentos científicos dentro da sociedade, compreendendo o que leva de fato a se chegar a uma conclusão.

Este tema foi escolhido justamente por estabelecer esta ligação, mostrando em que momento se cessa uma visão Clássica sobre um conhecimento e se passa a ter uma visão Moderna, o que leva a uma mudança de concepções. Através deste tema é possível compreender que para um mesmo

assunto há diversas teorias e que elas nunca terminam nem tem um ponto final em sua procura. Por mais que este trabalho aborde a importância de se ensinar a natureza dual da luz e da matéria, ao mesmo tempo existem outros estudos sobre estes temas, mas com outras definições, pois a Ciência está em constante construção.

3.2 - A HISTÓRIA DOS CONCEITOS DE LUZ E MATÉRIA

Discussões e definições sobre o conceito de luz, sobre como funciona a visão, vem de longa data, de séculos antes de Cristo, com os antigos filósofos gregos como protagonistas. Os Pitagóricos, por exemplo, acreditavam que a visão era causada por raios de luz emitidos pelo próprio olho, e que se propagava em direção aos objetos. Essa concepção encontra uma limitação prática, uma vez que, segundo ela, objetos poderiam ser vistos mesmo em meio a completa escuridão. Para outros filósofos, como Demócrito (460-357 a.C.), a luz ou feixe luminoso partia dos objetos e penetrava os olhos do observador, formando neles a imagem. De modo semelhante, no escuro intenso os objetos continuariam visíveis, pois o feixe de luz não deixaria de partir deles. Platão (428-348 a.C.) acreditava que a visão aconteceria a partir de um encontro de raios emanados dos olhos do observador com outros provenientes dos objetos denominados corpos luminosos. Aristóteles (384 - 322 a.C.) definiu que a luz se desenvolve em um meio transparente, sendo ativado por uma substância ígnea, decorrida de uma atividade em um determinado meio, fazendo o objeto luminoso vibrar, colocando o meio indefinido (para ele) em movimento. Há vários relatos na história que dão conta de explicar o que é luz, as primeiras hipóteses, os grandes estudiosos, mas afinal em que consiste a luz?

Galileu Galilei (1564-1642), René Descartes (1596-1650), Isaac Newton (1642-1727), Christian Huygens (1629-1695), Thomas Young (1773-1829), são alguns dos nomes dos estudiosos que buscaram uma resposta a essa pergunta. Pretendia-se compreender como a luz poderia estar em todos os lugares, percorrer caminhos tão rápidos. Ainda prevalecia certa dificuldade em compreender como ocorria a visão. Seria a luz composta por raios luminosos que chegavam a todos os objetos, propagando-se por todos os lugares em linha reta como a Física Clássica tentou por muito tempo explicar (ROCHA et al, 2011)?

Durante muitos séculos prevaleceu na História da Física a ideia que a luz era um raio luminoso que se propagava em linha reta, necessitando de um meio para se propagar. René Descartes (1596-1650), filósofo, físico, e matemático francês, fez grandes contribuições para a física do século XVII. Ele descreveu a luz como uma perturbação, uma espécie de pressão que se transmite através de um meio contínuo, em linha reta e em todas as direções, a partir da fonte

emissora. Considerava a luz como um feixe de partículas sujeitas a um choque mecânico quando incidiam sobre determinado meio (PEDUZZI, 2009). Em 1637, para demonstrar a lei da refração ele utilizou a teoria corpuscular da luz, concluindo que a sua velocidade era maior nos meios mais densos. Essa noção corpuscular confronta a conceituação anterior da luz como raio luminoso (ROCHA et al, 2011).

Isaac Newton (1642-1727) foi um cientista e matemático inglês, que contribuiu significativamente para várias áreas da Física, e suas leis e equações são usadas até hoje para explicar diversos fenômenos. Para ele, a luz seria composta por partículas. Em 1675 definiu que a luz nada mais era do que algo capaz de provocar vibrações no éter. Não era a própria luz uma vibração do éter, mas sim com o movimento vibratório dos corpos eram emitidos corpúsculos de grande velocidade, que se propagavam com velocidade constante. O raio representaria a trajetória de um corpúsculo de luz. Newton não conseguiu sustentar suas ideias, dentre outras razões, por não existirem na época aparelhos com precisão necessária. Ele descobriu, porém, que a luz branca era a mistura de todas as cores, a partir da observação experimental da luz ao passar por um prisma. Essa constatação o levou a descoberta da dispersão da luz, produzindo uma mudança de concepções sobre o assunto (ROCHA et al, 2011).

Christiaan Huygens (1629-1695) foi um físico, matemático e astrônomo neerlandês, que em 1678 defendeu a hipótese de que a luz era uma onda, como já havia proposto Robert Hooke (1635-1703), entre outros cientistas. Definiu para a onda suas cristas e vales, fazendo uma analogia com o som, que era considerado uma vibração mecânica em um meio. A diferença é que o movimento da luz, segundo ele, nascia de cada ponto do objeto luminoso, de forma que o mesmo pudesse ser visualizado por inteiro, então a luz consistia no movimento de certa matéria.

Nessa época não se considerava o espaço como vazio, mas sim que todo ele era ocupado por éter. Como o som não se propaga no vácuo, e a luz sim, ele concebeu a existência de um meio luminoso, que preenchia todo o espaço, e explicava o fato da luz ter uma grande velocidade pelas características desse meio, o qual seria um fluido, que chamou de “éter luminífero”, penetrando os poros de todos os corpos, não deixando espaços vazios (ROCHA et al, 2011).

Ainda em 1678, Huygens descobriu a polarização, porém não conseguiu explicá-la. Em seus experimentos encontrou uma resposta para o ajuste na intensidade da luz, onde:

tomou dois cristais de calcita e os colocou em sucessão, atravessando-os com um raio luminoso. Ao girar o segundo cristal em relação ao primeiro, observou que, conforme a posição relativa dos cristais, os raios emergentes poderiam ser em número de dois ou de quatro, com a intensidade de cada um variando durante a rotação (ROCHA et al 2011, p. 237).

Thomas Young (1773-1829) foi um médico, físico britânico, professor do ensino superior que ajudou a dar uma base sólida para a teoria ondulatória da luz. Entre 1801 e 1803, Young conseguiu avaliar o comprimento de onda da luz, provando sua natureza ondulatória. Em sua experiência ele construiu dois orifícios com um alfinete em um papel grosso, fazendo passar um feixe luminoso de luz solar sobre ele. Obteve assim pela primeira vez uma figura de interferência luminosa, composta de franjas escuras e claras. A partir daí veio a fazer diversos testes com fendas, chegando à conclusão que as mesmas produzem interferências construtivas e destrutivas, o que explica a existência das franjas. Comprovou não só que a luz era uma onda, como também que a interferência ocorre em qualquer situação em que a luz vinda de uma única fonte se divide em dois feixes que se recombinam após percorrerem caminhos de comprimentos diferentes. Assim era possível demonstrar o comportamento da luz ao passar por uma ou mais fendas, podendo desenhar seus padrões de interferência (ROCHA et al, 2011).

Diante dessas diferentes constatações para a natureza da luz, se fazia necessário compreender qual hipótese estaria correta. Era sua natureza ondulatória ou corpuscular? Essa foi a dúvida que perdurou na cabeça de muitos estudiosos por anos. Foi James Clerk Maxwell (1831-1879), em seus estudos sobre ondas eletromagnéticas, quem demonstrou que a luz era também dessa natureza. Sua definição foi confirmada em 1887, quando Heinrich Hertz (1857-1894) mostrou experimentalmente que as ondas eletromagnéticas têm todas as propriedades das ondas luminosas, confirmando a natureza ondulatória da luz (ROCHA et al, 2011).

A partir desse momento na História da Física, com esta comprovação de a luz ter comportamento de onda, parecia para muitos cientistas ter chegado ao conceito correto de qual seria sua natureza, sendo abandonada por muitos a ideia corpuscular da luz, voltando a ser posta em prova somente com o surgimento da Física Moderna.

Max Planck (1858-1947) foi um físico alemão que escreveu seu nome na História da Física Moderna em 1900 quando, apresentou para a Sociedade de Física de Berlim a solução para o problema da radiação de corpo negro. Durante seis anos buscou uma fórmula matemática que resolvia o problema, porém para sua surpresa chegou à conclusão que era necessário supor que a radiação fosse descrita pela emissão de minúsculos pacotes, ou quanta de energia. Assim sendo, a teoria quântica de Planck descrevia que “um corpo aquecido só podia emitir números inteiros de quanta energéticos em qualquer intervalo de tempo considerado” (ROCHA et al, 2011, p. 308). Como Planck acreditava na teoria clássica, foi difícil para ele admitir que a radiação eletromagnética que até o momento tinha natureza ondulatória, tivesse outro comportamento. Com estas ideias, Planck revolucionou a História da Física onde o conceito de energia contínua era substituído pela ideia de que ela somente poderia ter alguns valores discretos, ou seja, a energia era

quantizada. Destas ideias surgiu a hipótese dos quantas de luz, introduzida por Albert Einstein, que serviu de base para a explicação de diversos fenômenos, como o efeito fotoelétrico (ROCHA et al, 2011).

Albert Einstein (1879-1955) foi um físico teórico alemão que teve grande influência nos estudos da Física no século XX, surpreendendo o meio científico em 1905 com a publicação de trabalhos sobre a Relatividade, Movimento Browniano e a teoria do efeito fotoelétrico. Ele conhecia os trabalhos de Planck e também os estudos de Heinrich Hertz (1857-1894), que em 1887 observou o efeito fotoelétrico enquanto tentava através de experimentos comprovar a natureza eletromagnética das ondas de luz, notando o fenômeno, porém, na época, não soube explicá-lo. Einstein, anos mais tarde, voltou-se a esta questão, propondo que a luz tinha propriedades de uma partícula para explicar o efeito.

Einstein explicou o efeito fotoelétrico, segundo a teoria corpuscular, em que a luz seria constituída por partículas de energias ou quantas de energias, dotadas de características ondulatórias e corpusculares que mais tarde ficaram conhecidos como fótons (ROCHA et al, 2011). No aparato experimental, ao incidir luz sobre uma placa metálica, ou seja, quando um quanta chega à superfície do catodo, toda a sua energia é transferida para o elétron. Se a energia é suficiente para vencer a função trabalho, os elétrons são arrancados da placa (catodo) e são coletados por outra placa próxima (anodo). Einstein também provou que a intensidade da luz não modifica o efeito fotoelétrico, pois não muda a energia do fóton ou a natureza do processo fotoelétrico (EISBERG e RESNICK, 1994).

Assim, segundo Einstein, a luz era formada por milhões de pacotinhos de luz que possibilitavam enxergar os objetos. Porém, diferente do que aconteceu na Física Clássica, Einstein não tentou derrubar o conceito de natureza ondulatória da luz, já muito bem explicado, mas sim descreveu que a luz possuía caráter dual, comportava-se ora como onda, ora como partícula, introduzindo esse novo conceito dentro da Física. A partir de suas ideias, a dualidade onda-partícula passa a ser estudada dentro da Física Moderna, surgindo com diversos novos conceitos e revoluções dentro da Física. A luz até então era estudada isoladamente como onda ou como partícula. O novo conceito, o de dualidade, era complicado e demorou a ser amplamente aceito.

Do mesmo modo que existiram vários caminhos para compreender o conceito de luz, houve inúmeras controvérsias para a explicação da natureza do restante da matéria. O elétron, por exemplo, foi considerado como partícula, desde quando descoberto pelo experimento de J.J. Thomson (1856-1940), no qual foi possível medir a razão entre sua carga e massa (q/m). Jean Baptiste Perrin (1870-1942) dois anos antes já teria indicado que se tratava de cargas elétricas negativas. Era preciso saber para este experimento que “quando um campo magnético uniforme de

intensidade B é aplicado perpendicularmente à direção do movimento de partículas carregadas, as partículas passam a se mover em uma trajetória circular” (TIPLER e LLEWELLYN, 2010, p.74). Thomson realizou dois experimentos e o mais conhecido deles levou em sua homenagem seu nome, em que ele ajustou os valores dados ao campo magnético e um campo elétrico, de forma que os raios não sofressem deflexão.

Um aluno de Thomson, J.S.E. Townsend tentou realizar um experimento para medir a carga elétrica, “observava-se uma nuvem pequena (mais visível) de gotas d’água de tamanhos semelhantes, cada uma com uma carga elétrica e , enquanto caíam caíam pela ação da força da gravidade” (TIPLER e LLEWELLYN, 2010, p. 75), media-se a carga total da nuvem, bem como sua massa, e o raio da gota que era isolada, com estes dados era possível conhecer o valor da carga elétrica. Porém, a precisão do experimento limitava-se pela incerteza da velocidade de evaporação da nuvem e pela hipótese de que todas as gotas possuíam apenas uma unidade de carga elétrica (TIPLER e LLEWELLYN, 2010).

Robert Andrews Millikan (1868-1953), em 1909, procurando medir a carga elétrica, eliminou o problema da evaporação utilizando um campo elétrico intenso para manter a nuvem estacionária, sendo possível observar que as cargas eram múltiplas de um número inteiro, observando-as isoladas deslocando-se para cima e para baixo. Diferente do primeiro experimento, o físico trabalhou com gotas de óleo borrifadas no ar seco entre as placas de um capacitor. O atrito com o borrifador fazia com que as cargas elétricas já fossem criadas com carga elétrica, onde observando notava-se que elas ganhavam ou perdiam unidades de carga. Quando mudava a polaridade do campo entre as placas, se invertia o sentido do movimento da gota, podendo observar a mesma gota por horas e horas. Sendo assim concluiu que a carga era múltiplos inteiros da carga elementar, para a qual ele estimou o valor de $1,601 \times 10^{-19}$ C (Coulomb), muito próximo do valor atual que é $1,60217653 \times 10^{-19}$ C, comprovando que o elétron possuía carga elementar (TIPLER e LLEWELLYN, 2010).

Apesar dos estudos sobre o elétron em relação as suas características estarem voltadas a sua natureza corpuscular, após a descoberta e confirmação da dualidade da luz, começou-se a pesquisar a natureza de todo o restante da matéria. Quase vinte anos depois, Louis De Broglie (1892-1987) em 1924 defendeu sua tese de doutorado sobre a Teoria dos Quanta, marcando o início de uma nova Física. Considerou as ideias da luz com natureza dual, ou seja, em determinados fenômenos se comporta como onda e em outros como partícula. Utilizando também o valor da constante de Planck, proposta por ele em seus estudos sobre quantização de energia, demonstrou que o comportamento dual era válido não só para luz, mas também para toda a matéria, considerando relações matemáticas para explicar o comportamento do elétron, envolvendo momento e energia.

Para cada caso, o elétron teria comportamento diferente, onda e partícula, considerando que a matéria também teria caráter dual.

A extensão da concepção dual para todos os fenômenos naturais sejam a luz, átomos, elétrons, entre outros, causou grande ruptura com a Física Clássica, onde não era impossível haver dois comportamentos diferentes para o mesmo objeto de estudo. Nota-se isso pela discussão sobre a natureza da luz, que até o início do século XX passou a ser tratada de forma distinta – em certas épocas como partícula, e em outras, como onda.

Adiante na História da Física estendeu-se a questão da dualidade onda-partícula para os raios X. Havia necessidade de uma teoria corpuscular para descrever detalhadamente a interação da radiação eletromagnética com a matéria, e uma teoria ondulatória para que fosse possível explicar os fenômenos como interferência e difração (TIPLER e LLEWELLYN, 2010).

Hoje existem teorias além da dualidade tanto no estudo da natureza da luz como no estudo da natureza da matéria, como a Teoria de Campos Quânticos, que descreve matematicamente sistemas físicos, onde a luz e as interações eletromagnéticas são mediadas pelos fótons, sendo descritas pela eletrodinâmica quântica, que é a teoria atualmente vigente de Física de Partículas.

4 - A FÍSICA MODERNA NOS LIVROS DIDÁTICOS DO PNLD 2015

A Física Moderna pode ser definida como o conjunto de teorias surgidas a partir do início do século XX, ou a partir dos trabalhos de Planck a respeito da Mecânica Quântica e os trabalhos de Einstein sobre a Relatividade. A partir dessas ideias, a Ciência passou, por exemplo, a ter novas compreensões a respeito de energia, luz, matéria, massa, espaço e tempo (DOMINGUINI, 2012, p. 2502-1).

Dentro da Educação Básica, o professor tem a consciência de que muitos alunos não ingressarão no ensino superior, ou os que ingressarão, poderão vir a ser em áreas que não contemplem a Física, assim há uma grande possibilidade de ser no Ensino Médio o último contato dos estudantes com a mesma. Se esta Física é trabalhada de maneira fragmentada, assim como foi vista até o século XIX, é assim que o aluno do século XXI a verá, ela parece acabar ali.

Como um dos instrumentos mais utilizados pelo professor é o livro didático, segundo Cordeiro e Peduzzi (2013, p. 3602-1), “o livro didático é a principal fonte de consulta de professores e estudantes, em qualquer nível de ensino”. Nesses casos, a estruturação da aula torna-se dependente dos autores do livro, do aprofundamento por eles ditado, muito mais do que do próprio professor, especialmente se são extraídos deste livro todos os conteúdos a serem estudados durante o ano. Assim sendo, sua escolha cuidadosa é essencial para o ensino-aprendizagem na sala de aula, o professor deve saber mediar o conhecimento, percebendo as lacunas deixadas pelos livros didáticos, buscando materiais de apoio, como também estratégias didáticas diversificadas. É necessário incentivar o estudante a ir além do que é visto em sala de aula, instigar sua curiosidade e necessidade de investigação, mostrando a importância do que se estuda para a sociedade.

Ostermann e Moreira (2001, p. 136) mostram que os conteúdos de Física Moderna costumam ser apresentados nos livros em forma de tópicos, sendo necessário que os professores conheçam a Física de hoje, abordem temas atuais para promover a atualização curricular. Dominguni (2012, p. 2502-5), em uma análise feita nos livros didáticos aprovados pelo PNLEM 2008 coloca que “em todos os livros que apresentam o conteúdo de física moderna como capítulo específico, esse se localiza no final dos livros de volume único ou no final do último livro das coleções seriadas”. Em 2015, os livros aprovados pelo PNLD são todos de coleções seriadas, e, em sua grande maioria, ainda apresentam a estrutura proposta anteriormente, ao final do último volume, sendo que “cabe ao professor analisar o seu contexto escolar e optar por aquilo que permitirá ao seu aluno compreender mais profundamente a realidade natural que nos cerca” (DOMINGUINI, 2012, p. 2502-6).

4.1 - O PLANO NACIONAL DO LIVRO DIDÁTICO (PNLD) 2015

Os livros didáticos de Física disponíveis a todos os alunos chegaram a pouco tempo no Estado do Paraná. Antes, algumas escolas optavam por apostilas, volumes únicos que os professores possuíam, na maioria dos quais abordava-se a Física Moderna de forma breve ou inexistente, evidenciando fortemente o desenvolvimento da Física Clássica.

Atualmente para que as coleções dos livros didáticos possam ser disponibilizadas para a Rede Estadual de Ensino no Paraná, é preciso que cada uma seja aprovada pelo Plano Nacional do Livro Didático (PNLD), onde constam critérios de avaliação, indicadores das avaliações, conteúdos essenciais em cada coleção, análise das abordagens que os livros devem apresentar referente a conceitos, linguagens e procedimentos, e o que deve conter o material de apoio ao professor, como objetivos, organização, estrutura de conteúdos, seções comuns para todas as coleções, estando de acordo com as normas da legislação e com a matriz curricular padrão.

Após ser aprovado pelo PNLD, chega às escolas um guia de livros didáticos, disponibilizado pelo Ministério da Educação contendo uma visão geral de cada coleção aprovada, uma descrição, análise, e uma visão geral de como pode ser trabalhado em sala de aula. Além disso, muitas editoras mandam como material de divulgação as coleções para as escolas para os professores conhecerem. Assim, conhecendo todas as coleções, os professores escolhem uma a ser utilizada na escola, muitas vezes em comum acordo com todo o município.

Faz-se necessário observar que “o livro didático desempenha papel fundamental nas instituições de qualquer nível de ensino, numa tentativa de organizar os conteúdos, orientar a prática do professor e, finalmente constituir-se numa fonte importante de estudos para o aluno” (KIOURANIS et al, 2010, p. 1507-8). É exatamente por isso que a forma com que as coleções estão estruturadas e abordam os conteúdos faz toda a diferença ao trabalhar com os estudantes.

Se a fonte principal do professor, que é o livro didático possuir falhas, estas mesmas falhas poderão acabar sendo transmitidas aos alunos. É preciso considerar que o livro serve como um suporte ao professor, ofertando subsídios na maioria dos manuais dos professores e textos complementares, presentes nesses livros que acrescentam na prática docente.

No que se refere à História da Ciência, o PNLD menciona, dentro dos indicadores da avaliação, que respeitam as Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio, que os conhecimentos devem aparecer historicamente dentro do contexto social, compreendendo a transformação da sociedade ao longo dos anos. Ainda acrescenta que, a abordagem e proposta de ensino deve contemplar “a história da ciência articulada aos assuntos desenvolvidos, evitando reduzi-la a cronologias, biografias de cientistas ou a descobertas isoladas” (PNLD, 2014, p. 22),

comentário este extremamente importante para o presente trabalho. Mas será que é assim que são apresentados os livros? As resenhas das coleções trazidas no PNLD destacam uma característica breve em que se pode encontrar a História, em sua maioria, em caixas de textos, boxes, textos biográficos ou cronológicos, ou na introdução dos capítulos, o que contradiz com o que está referido nos indicadores do Plano.

É importante compreender que somente pelas resenhas do PNLD a Física Moderna na grande maioria dos livros é o último conteúdo ao final do terceiro ano, o que parece ser um conteúdo novo, ensinado de forma descontínua, segundo a qual a Mecânica termina no primeiro ano com as Leis de Newton, e começa uma nova Mecânica, totalmente desconexa da anterior, no terceiro ano do Ensino Médio. Também através de uma análise prévia dos livros didáticos aprovados pelo Plano Nacional do ano de 2015, disponíveis nas escolas da região Sudoeste do Estado do Paraná, pode-se perceber que, em sua maioria, os conteúdos de Física Moderna são deixados apenas para o final do terceiro ano do Ensino Médio, sendo notável que a História da Física Moderna, de uma maneira geral, é pouco comentada.

Os livros analisados nessa investigação foram aprovados pelo PNLD 2015, e escolhidos pelos professores da região que circunda a Universidade Federal Fronteira Sul - *Campus* Realeza no Paraná.

4.2 - METODOLOGIA UTILIZADA NA ESCOLHA DOS LIVROS DIDÁTICOS À SEREM ANALISADOS

No Plano Nacional do Livro Didático de 2015, foram aprovados um total de quatorze coleções de livros didáticos de Física. Para estabelecer a amostra a ser avaliada nesse estudo, primeiramente os professores de todas as cidades vinculadas ao Núcleo Regional da Educação de Francisco Beltrão (NRE), foram convidados a responder um questionário *online* composto por quatro questões, que buscavam identificar as coleções escolhidas em primeira e segunda opção, se o livro que o professor escolheu era o mesmo para todas as escolas do município no qual atua, e se poderiam relatar como foi o processo de escolha do livro. Esse instrumento de pesquisa ficou disponível aos professores por aproximadamente três meses, mas infelizmente, foram obtidas apenas cinco respostas das quarenta e seis escolas que pertencem aos vinte municípios vinculados ao NRE de Francisco Beltrão.

Diante deste cenário, buscou-se uma segunda alternativa, abranger a cidade de Realeza, no Paraná, onde fica localizada a Universidade Federal da Fronteira Sul, e algumas cidades vizinhas, sendo estas: Ampére, Capanema, Pérola do Oeste, Planalto, Pranchita, Santa Izabel do Oeste e

Santo Antônio do Sudoeste. Para fazer o levantamento dos livros didáticos *in loco*. Através desse levantamento se observou que apenas três coleções chegaram à região como escolha dos professores, sendo estas listadas na tabela 1.

Tabela 1 - Coleção escolhida como 1ª opção nas escolas da região:

Cidade	Coleção escolhida
Ampére Pranchita Santo Antônio do Sudoeste	27536COL22 - BONJORNO, José Roberto, et al. Física . 2.ed. São Paulo: FTD, 2013.
Capanema Realeza Santa Izabel do Oeste	27530COL22 - ARTUSO, Alysson Ramos; WRUBLEWSKI, Marlon. Física . Curitiba: Positivo, 2013.
Pérola do Oeste Planalto	27541COL22 - GUALTER, José Biscuola; NEWTON, Villas Bôas; HELOU, Ricardo Doca. Física . 2.ed. São Paulo: Saraiva, 2013

Fonte: Elaborado pela autora.

O que pode ter ocasionado a escolha de somente três coleções distintas na região, pode ser o fato de que vários professores atuam em mais de uma cidade e acabam escolhendo o mesmo livro para trabalhar com todas as turmas que possuem. Através da tabela percebe-se que nas oito cidades analisadas, os livros escolhidos na região foram da editora Positivo (3), editora FTD (3) e editora Saraiva (2), todos intitulados de “Física”.

Estas três coleções serão analisadas sobre seus aspectos que envolvem o estudo da História da Ciência, focando em como o livro apresenta os conteúdos referentes à dualidade onda-partícula para a luz e para a matéria. Como nas três coleções se concentra os conteúdos de Física Moderna no volume três destinado ao terceiro ano do Ensino Médio, optou-se pela análise deste volume como foco do estudo (Tabela 2), mais especificamente a parte voltada a Mecânica Quântica. Porém, era necessário averiguar se na subárea de Óptica, estudada no segundo ano, os autores abordavam algo referente à dualidade. Por essa razão, apresenta-se no tópico 4.3 uma síntese desses volumes, quando se referem à luz.

Tabela 2 - Classificação dos livros didáticos analisados

Livros	Descrição
Ld – 1	27536COL22 - BONJORNO, José Roberto, et al. Física: Eletromagnetismo e Física Moderna 3º ano. 2.ed. v.3, São Paulo: FTD, 2013.
Ld -2	27541COL22 - GUALTER, José Biscuola; NEWTON, Villas Bôas; HELOU, Ricardo Doca. Física: Eletricidade, Física Moderna e Análise Dimensional 3º ano. 2.ed. v.3, São Paulo: Saraiva, 2013.
Ld – 3	27530COL22 - ARTUSO, Alysso Ramos; WRUBLEWSKI, Marlon. Física 3º ano. v. 3, Curitiba: Positivo, 2013.

Fonte: Criado pela autora.

4.3 - O QUE DIZEM OS LIVROS DIDÁTICOS DO SEGUNDO ANO DAS COLEÇÕES ESCOLHIDAS SOBRE A LUZ

O livro de autoria de Bonjorno et al (2013) para o 2º ano do Ensino Médio, traz, ao falar sobre óptica, a conceituação de luz, dispondo de um contexto histórico inicial, no qual são citadas as hipóteses de filósofos e pensadores como Empédocles, Platão e Leucipo de Mileto. No parágrafo imediatamente seguinte os autores mencionam a definição da luz enquanto partícula - segundo Newton – e a definição da luz enquanto onda - segundo Huygens. Explicitam que essa discussão durou muito tempo, mas que com o experimento de Young, reforçado pelas ideias de Maxwell, ficou comprovado que a luz era uma onda eletromagnética.

Mais adiante os autores colocam que em “1905, já no século XX, foi publicado um artigo que era contrário à ideia da luz como onda. Albert Einstein apresentou evidências de que a luz interage como matéria, com minúsculos ‘pacotes de energia’, chamados de fótons” (p.126). Complementam que o trabalho de Einstein não refutou a natureza ondulatória da luz, pois “sua natureza era de partícula quando ela interagia, mas sua propagação é feita através de ondas” (p. 126), o que ficou conhecido como dualidade onda-partícula.

Depois dessas colocações, os autores partem para explicar fontes de luz, raios de luz, meios de propagação, óptica geométrica, reflexão e refração, fenômenos e instrumentos ópticos, não citando mais o caráter dual da luz, trabalhando estes tópicos através da natureza ondulatória, sem mencionar mais aspectos sobre a dualidade.

Interessante notar que nesse volume, a História da Ciência não retrata biografias e não se restringe a cronologias, mas representa um diálogo sobre a definição de luz no passado, chegando a citar a História até Einstein e a dualidade, de uma forma sintética, sem se aprofundar nesse aspecto, mas abordando a natureza da luz como um todo, para depois trabalhar ela como onda eletromagnética.

O livro de Newton, Gualter e Helou (2013) do 2º ano, aborda conceitos de luz dentro da área de Óptica e ao introduzir esse conteúdo, os autores dizem que “Luz é o agente físico que, atuando nos órgãos visuais, produz a sensação da visão” (p. 194), mostrando que será desta forma que será trabalhado o conceito de luz. Os autores partem para as aplicações e divisões da óptica, fontes de luz, meios ópticos, raios e feixes de luz e diversos fenômenos físicos, como reflexão e refração, e instrumentos ópticos. Os autores optam por não fazer nenhuma menção à dualidade, não discutem a natureza da luz, se ela é uma onda ou partícula.

O livro do 2º ano dos autores Arturso e Wrublewski (2013), ao trabalhar Óptica, já cita no título “Óptica geométrica”. Em sua introdução faz menção a localizações geográficas relacionando-as com densidade demográfica e a luminosidade das regiões. Após, relata como o ser humano foi tentando encontrar, criar fontes de luz que permitiam enxergar sem precisar do Sol, fazendo um desenvolvimento histórico das tochas de fogo até as lâmpadas LED e semicondutores de hoje em dia. Encerrando essa discussão inicial volta-se para a poluição luminosa e os impactos ambientais. Na sequência os autores abordam fontes de luz, evidenciando como nossos olhos conseguem enxergar a luz, trabalhando então as fontes primárias e secundárias. Adentra no conteúdo de propagação da luz, referindo-se sempre a raios de luz. Do estudo sobre sombra e penumbra o livro desenvolve um contexto histórico das primeiras máquinas fotográficas, observações de eclipses, desenvolvimento de telescópios, relacionando-os com a câmara escura. Neste contexto, ao falar sobre Johannes Vermeer como um dos grandes pintores holandeses e suas características na pintura, relaciona com seu conterrâneo Christiaan Huygens que, segundo o texto, foi um grande personagem da Óptica, desenvolvendo telescópios e descrevendo a luz como uma onda.

Em uma caixa de diálogo, os autores trazem um texto sobre ondas eletromagnéticas, como destaque um trecho do livro que diz “quando falamos em luz, estamos tratando de uma onda eletromagnética, ou seja, uma oscilação periódica associada a propriedades elétricas e magnéticas” (p. 178), deixando explícita a natureza da luz, contemplando suas características e explicando o espectro de luz visível que “corresponde apenas a uma parte de toda a faixa das ondas eletromagnéticas” (p. 178).

Trabalham então fenômenos ópticos, reflexão, luz e cores ao citar que “a luz é uma onda eletromagnética e o que denominamos luz visível é só uma faixa de frequências contínuas de todo

espectro eletromagnético” (p. 186). Depois são estudados espelhos, refração da luz, lentes e o olho humano. Não mencionam a dualidade ou o caráter corpuscular da luz em nenhum momento.

É importante destacar que o fato de se ter escolhido analisar o volume três de cada coleção decorre da separação entre a Física Clássica e Moderna, a qual precisa ser reduzida (PEREIRA, 2011). O fato de trazer o que os livros do segundo ano dizem sobre a luz serve para mostrar que os livros didáticos em sua maioria, ao trabalhar Óptica, restringem-se a óptica geométrica e não inserem a questão da dualidade onda-partícula. É preciso ensinar desde o início a natureza da luz de forma coerente, e não em um determinado momento, no segundo ano, afirmar que ela é uma onda e no terceiro ano afirmar outro aspecto, o de que “a luz tem caráter dual, é onda e partícula”. Quando o livro faz, já no segundo ano, menção ao fato de que a luz tem caráter dual ao explicar seu comportamento e afirmar que se está estudando as propriedades ondulatórias da luz é diferente de afirmar que a luz é onda e não mencionar seu caráter dual.

4.4 - A ANÁLISE TEXTUAL DISCURSIVA

Na análise textual discursiva as realidades investigadas não são dadas, prontas, para serem descritas e interpretadas, “é uma abordagem de análise de dados que transita entre duas formas consagradas de análise na pesquisa qualitativa que são a análise de conteúdo e a análise de discurso” (MORAES e GALIAZZI, 2006, p. 118). Pode ser abordada de forma que o autor atribua um significado, dando uma nova interpretação ao analisar os dados de sua pesquisa, como também produza um determinado texto sobre sua análise.

A análise textual discursiva consiste em,

um processo que se inicia com uma unitarização em que os textos são separados em unidades de significado. Estas unidades por si mesmas podem gerar outros conjuntos de unidades oriundas da interlocução empírica, da interlocução teórica e das interpretações feitas pelo pesquisador. Neste movimento de interpretação do significado atribuído pelo autor exercita-se a apropriação das palavras de outras vozes para compreender melhor o texto. Depois da realização desta unitarização, que precisa ser feita com intensidade e profundidade, passa-se a fazer a articulação de significados semelhantes em um processo denominado de categorização. Neste processo reúnem-se as unidades de significado semelhantes, podendo gerar vários níveis de categorias de análise. A análise textual discursiva tem no exercício da escrita seu fundamento enquanto ferramenta mediadora na produção de significados e por isso, em processos recursivos, a análise se desloca do empírico para a abstração teórica, que só pode ser alcançada se o pesquisador fizer um movimento intenso de interpretação e produção de argumentos. Este processo todo gera meta-textos analíticos que irão compor os textos interpretativos (MORAES e GALIAZZI, 2006, p.118).

A linguagem desempenha um papel central na análise textual discursiva, é por meio dela que o pesquisador pode se inserir no movimento da compreensão, de construção e reconstrução das

realidades. Através da linguagem se constrói e amplia os campos de consciência pessoais, entrelaçando-os com os de outros sujeitos, sempre a partir dos contextos que investiga (MORAES e GALIAZZI, 2006, p. 123).

Nas três etapas da análise textual discursiva, a unitarização faz com que o pesquisador através do seu objeto de estudo, extraia trechos e ideais, que fazem sentido sobre o tema que se está investigando.

Unitarizar é interpretar e isolar idéias elementares de sentido sobre os temas investigados. Constitui leitura cuidadosa de vozes de outros sujeitos, processo no qual o pesquisador não pode deixar de assumir suas interpretações. Ao expressar múltiplas vozes, o processo consiste em um diálogo com interlocutores em que participam diversificados pontos de vista, sempre expressos na voz do pesquisador. Na unitarização os textos submetidos à análise são recortados, pulverizados, desconstruídos, sempre a partir das capacidades interpretativas do pesquisador. Nisso fica presente sua autoria, ao mesmo tempo que seu limite. Outro pesquisador faria outras seleções, estabeleceria outros argumentos, faria outras tecituras (MORAES e GALIAZZI, 2006, p. 123).

Pode-se ainda dizer que a unitarização, primeira etapa da análise textual discursiva, caracteriza-se por uma leitura cuidadosa e aprofundada dos dados em um movimento de separação das unidades significativas (SANTOS e DALTO, 2012, p. 06). Unitarizar é dar início ao processo reconstrutivo das compreensões do pesquisador, sempre a partir do mergulho em significados coletivos expressos pelos sujeitos da pesquisa (MORAES e GALIAZZI, 2006, p. 124), sendo que:

é ilusão pensar que é obrigação do pesquisador captar o significado que os sujeitos da pesquisa pretenderam atribuir a suas afirmativas. Na leitura sempre ocorre transformação e atualização. Processo necessariamente inseguro e impreciso, implicando a inserção e mergulho do pesquisador para participar das reconstruções de modo rigoroso e original. O processo não pára aí. A partir da unitarização criam-se as condições para a categorização, com emergência de novos entendimentos e sentidos. As categorias vão emergindo, inicialmente imprecisas e inseguras, mas gradativamente sendo explicitadas com rigor e clareza (MORAES e GALIAZZI, 2006, p. 125).

No caso deste estudo, o objeto de investigação são os livros didáticos mencionados anteriormente, e os sujeitos investigados são, indiretamente, seus autores. Concluída essa etapa, se parte para a próxima que seria o processo de categorização das unidades de significados, caracterizada por três propriedades, as quais dizem respeito a: validade ou pertinência; homogeneidade; e, a não exclusão mútua (SANTOS e DALTO, 2012). Cada categoria representa um conceito dentro de uma rede de conceitos que pretende expressar novas compreensões. As categorias representam os nós de uma rede. O pesquisador ao tecer sua rede precisa preocupar-se especialmente com os nós, ou seja, os núcleos ou centros das categorias (MORAES e GALIAZZI, 2006).

A combinação da unitarização e categorização corresponde a movimentos no espaço entre ordem e caos, em um processo de desconstrução que implica construção. A unitarização representa um movimento para o caos, de desorganização de verdades estabelecidas. A categorização é movimento construtivo de uma ordem diferente da original (MORAES e GALIAZZI, 2006), e que se enquadra em um novo contexto, o da pesquisa.

Com a categorização realizada através dos objetos extraídos da unitarização, onde as categorias são criadas a partir da junção das ideias, que levam a construção do metatexto pelo pesquisador, passa-se a compor um texto interpretativo, reconstruindo ideias a partir das colocadas pelo objeto de estudo, compreendendo os significados dos fenômenos investigados (MORAES e GALIAZZI, 2006).

Esta terceira e última fase da análise textual discursiva diz respeito à captação do novo emergente, ou seja, a construção de um metatexto pelo pesquisador tecendo considerações sobre as categorias que ele construiu (SANTOS e DALTO, 2012).

Assim, “a análise textual discursiva constitui processo recursivo continuado para uma maior qualificação do que foi produzido” (MORAES e GALIAZZI, 2006, p. 122). Através da sua construção é possível compreender possibilidades de análise de um texto, reconstruindo o entendimento de Ciência, pesquisa e dos próprios fenômenos investigados, criando espaço para uma nova interpretação do que está a sua frente.

4.5 - A ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS

4.5.1 – Unitarização e Categorização

O primeiro passo para a análise dos livros didáticos indicados na tabela 2 foi, nos termos da análise textual discursiva, a unitarização. De cada livro foram retirados fragmentos que envolviam a História da Ciência de alguma forma, citando nomes, datas, contexto com a sociedade e origem dos conceitos, conforme tabela 3.

Tabela 3- Total de fragmentos localizados

Livros Didáticos	Quantidades de Fragmentos
Ld-1	23
Ld-2	32
Ld-3	21

Total de Fragmentos	76
---------------------	----

Fonte: Elaborado pela autora.

Estes fragmentos foram identificados como “fragX, p. YYY”, associados a unidades de significados, onde X representa o número do fragmento e YYY a página do livro da qual ele foi retirado, conforme indicado na tabela 4.

Tabela 4 – Unidades de Significado extraídos dos livros didáticos analisados

Unidades de Significado	Ld-1	Ld-2	Ld-3
Origem da Física Moderna	Frag.01, p. 241	Frag.01, p. 262 Frag.02, p.262	Frag.01, p. 267
Divergências entre FC e FM Discussões que envolviam os dois momentos da Física	Frag.02, p.243 Frag.03, p.244 Frag.04, p.248 Frag.05, p.248 Frag.06, p.248 Frag.07, p.254	Frag.03, p.264 Frag.04, p.265 Frag.05, p.266 Frag.06, p.266 Frag.07, p.267 Frag.08, p.268 Frag.09, p.268	Frag.02, p.268
Radiação Térmica Kirchhoff	Frag.08, p.241	Frag.10, p.264	Frag.03, p.267 Frag.04, p.268
Ondas eletromagnéticas Leis de Maxwell	Frag.09, p.241	Frag.11, p.262 Frag.12, p.263 Frag.13, p.263	Frag.05, p.277
Corpo Negro	Frag.10, p.241 Frag.11, p.243	Frag.14, p.266	Frag.06, p.268 Frag.07, p.268
Lei de Stefan – Boltzmann	---	Frag.15, p.264	---
Lei de Wien	Frag.13, p.242 Frag.14, p.243	Frag.16, p.266	Frag.08, p.268 Frag.09, p.268 Frag.10, p.268
Lei de Rayleigh - Jeans Catástrofe do Ultravioleta	Frag.15, p.243 Frag.16, p.243	Frag.17, p.267	---
Quantização, Max Planck	Frag.17, p.243 Frag.18, p.244 Frag.19, p.244 Frag.20, p.244	Frag.18, p.265 Frag.19, p.267 Frag.20, p.267 Frag.21, p.267 Frag.22, p.267 Frag.23, p.268 Frag.24, p.270	Frag.11, p.268 Frag.12, p.268 Frag.13, p.269

Efeito Fotoelétrico	Frag.01, p. 247 Frag.02, p.247 Frag.03, p.247 Frag.04, p.248 Frag.05, p.249	Frag.01, p. 268 Frag.02, p.268 Frag.03, p.268 Frag.04, p.269 Frag.05, p.269 Frag.06, p.270 Frag.07, p.270	Frag.01, p. 270 Frag.02, p.270 Frag.03, p.270 Frag.04, p.271 Frag.05, p.271 Frag.06, p.272 Frag.07, p.272 Frag.08, p.273
Albert Einstein	Frag.06, p.248 Frag.07, p.249	Frag.08, p.270 Frag.09, p.270	Frag.09, p.271 Frag.10, p.272 Frag.11, p.272
Robert Millikan	Frag.08, p.248	Frag.10, p.271	---
Natureza ondulatória da luz	Frag.01, p. 247 Frag.02, p.249 Frag.03, p.253	Frag.01, p. 267 Frag.02, p.269	Frag.01, p. 270 Frag.02, p.272 Frag.03, p.277
Natureza corpuscular da luz	Frag.04, p.248 Frag.05, p.249 Frag.06, p.253	Frag.03, p.267 Frag.04, p.270 Frag.05, p.270 Frag.06, p.292	Frag.04, p.271 Frag.05, p.272 Frag.06, p.277
Dualidade onda-partícula para a luz	Frag.07, p.253 Frag.08, p.254	Frag.07, p.292	Frag.07, p.276
Dualidade onda-partícula para a matéria	Frag.09, p.254 Frag.10, p.254	Frag.08, p.292 Frag.09, p.292	Frag.08, p.278 Frag.09, p.278
Louis De Broglie	Frag.11, p.254 Frag.12, p.254	Frag.10, p.292 Frag.11, p.292	Frag.10, p.278 Frag.11, p.278
Davisson e Germer Difração de elétrons	Frag.13, p.254	Frag.12, p.292	Frag.12, p.278
Efeito Compton	Frag.14, p.253 Frag.15, p.253	---	Frag.13, p.276

Fonte: Elaborado pela autora.

É importante ressaltar que o número de fragmentos total da tabela 4 é superior ao indicado na tabela 3. Isso porque alguns fragmentos estão contidos em mais de uma unidade de significado.

Analisando a tabela 4 observou-se um conjunto de unidades de significado semelhantes, contidas em todos os textos. Considerando essa proximidade entre as dezenove unidades, foram criadas três grandes categorias de acordo com o propósito deste trabalho, que é a análise de aspectos da natureza da Ciência nos livros didáticos, quando estes se referem à natureza da luz e da matéria.

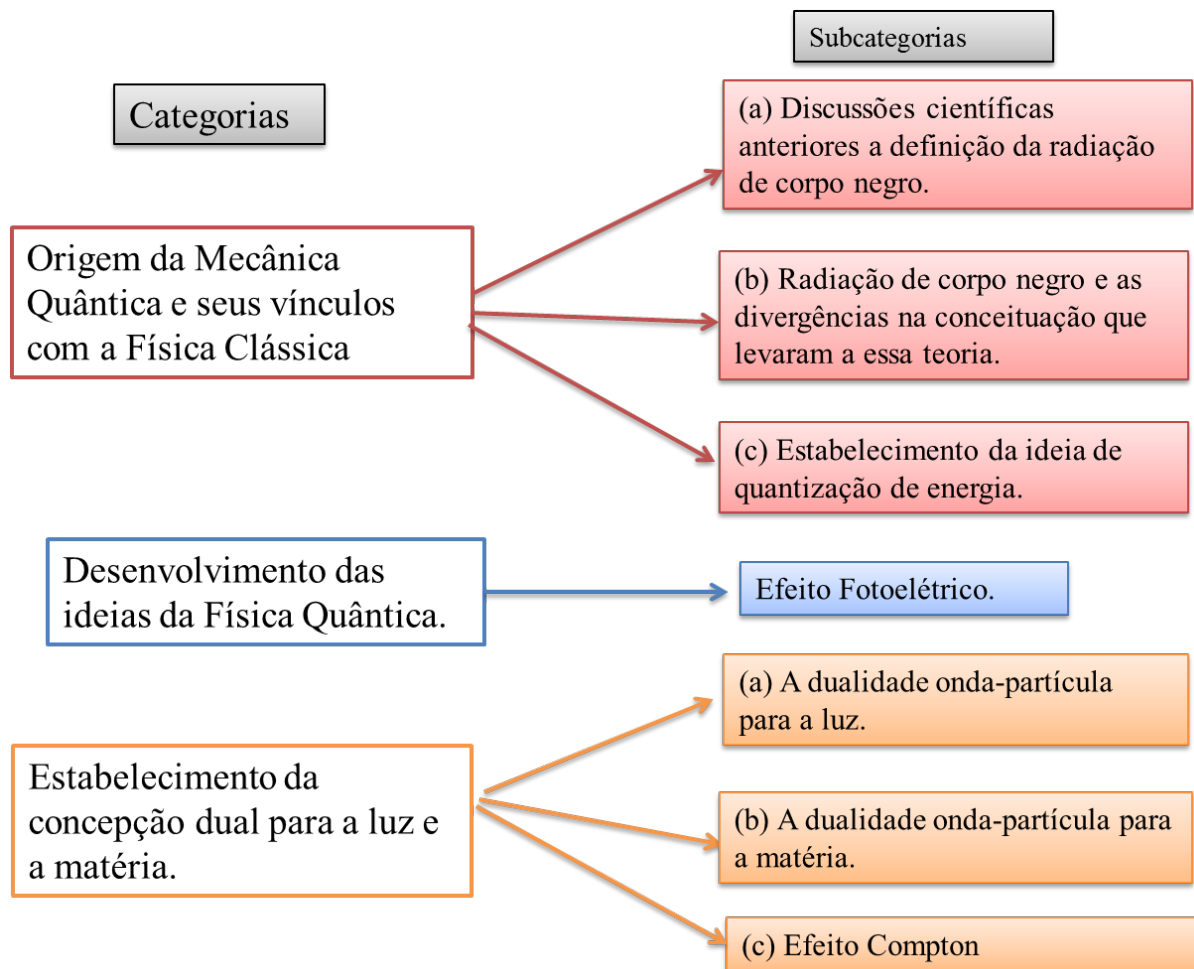
A primeira categoria, intitulada “Origem da Mecânica Quântica e seus vínculos com a Física Clássica” buscou analisar o que os livros didáticos trazem para uma abordagem inicial sobre Física Quântica e quais conexões são feitas com a Física Clássica no sentido de apresentar a natureza da Ciência nesta parte introdutória. As unidades de significado indicadas na tabela 4 e que compõem essa primeira categoria são a origem da Física Moderna, divergências entre Física Clássica e Moderna, radiação térmica, ondas eletromagnéticas, corpo negro, lei de Stefan-Boltzmann, lei de Wien, lei de Rayleigh-Jeans e quantização de energia.

Considerando o teor histórico da análise, essa categoria foi então subdividida em (ilustração 06): (a) discussões científicas anteriores a definição da radiação de corpo negro; (b) radiação de corpo negro; (c) divergências na conceituação que levaram a essa teoria e estabelecimento da ideia de quantização de energia.

A segunda categoria, denominada “Desenvolvimento das ideias da Física Quântica”, mostra como os autores dos livros desenvolvem as ideias científicas desse início da revolução da Física. Aponta-se a abordagem que utiliza para explicar o efeito fotoelétrico, quais estudiosos são relacionados para explicar o fenômeno observando se em algum momento os autores buscam criar uma conexão com a sociedade. As unidades de significado que compõem a segunda categoria são o efeito fotoelétrico, Albert Einstein e Robert Millikan. Considerando que nesta categoria a análise se direcionou para um fenômeno, não houve mais subdivisões, conforme pode ser observado na ilustração 06.

A terceira categoria, chamada de “Estabelecimento da concepção dual para a luz e a matéria” evidencia a análise de como os autores trazem a ideia da dualidade onda-partícula tanto para a luz quanto para a matéria, em cada livro didático (Ld-1, Ld-2 e Ld-3). Fala-se sobre a forma com que esse conteúdo é apresentado aos estudantes, se os autores relatam apenas a dualidade da luz, se fazem conexões com outros conceitos bem como se buscam explorar a natureza da ciência por trás do termo dualidade. As unidades de significado extraídas da tabela 4 para compor esta categoria foram: natureza ondulatória da luz, natureza corpuscular da luz, dualidade onda-partícula para a luz, dualidade onda-partícula para a matéria, Louis de Broglie, Davisson e Germer e efeito Compton. Considerando a historicidade da análise a categoria foi subdividida em: (a) a dualidade onda-partícula para a luz, (b) a dualidade onda-partícula para a matéria e (c) efeito Compton (Ilustração 06).

Ilustração 06 – Categorias e subcategorias para a elaboração do metatexto.



Fonte: Criado pela autora.

A partir dessa categorização foi criado o metatexto, considerando a interpretação das unidades de significado e o problema de pesquisa estabelecido para o presente trabalho.

4.5.2 – Metatexto: Origem da Mecânica Quântica e seus vínculos com a Física Clássica

Os livros Ld-1, Ld-2 e Ld-3 abordam uma discussão inicial sobre a origem da Física Moderna ou Quântica. No que se refere a subcategoria discussões científicas anteriores a definição da radiação de corpo negro, o Ld-1 discursa sobre radiação do corpo negro e radiação térmica de uma maneira conceitual, sem enfatizar a História da Ciência. Em relação a estudiosos da radiação térmica, o único cientista citado pelos autores foi Gustav Kirchhoff. Depois de seus trabalhos, a próxima referência temporal está em Wien, Rayleigh e Jeans, os quais descrevem, com base em dados experimentais, questões a respeito da energia irradiada.

Já o Ld -2 aborda discussões situadas entre o final do século XIX e início do século XX, informando que a Física da época possuía questões sem respostas. Os autores mencionam que “grandes foram os esforços de muitos físicos experimentais e teóricos para explicar o comportamento da matéria nas escalas atômica e subatômica, utilizando a Física Clássica. Entretanto, algum fato sempre ficava sem explicação” (Ld-2, p. 262). Acrescentam que em 1900 a Física Quântica começou a se desenvolver e ficou “pronta” cerca de trinta anos depois.

Nesse mesmo livro discute-se o modelo ondulatório da luz e as radiações eletromagnéticas, citando Maxwell e Hertz. Ao falar, no capítulo de Física Quântica, sobre **Maxwell** (1831-1879), é mencionado que ele estabeleceu, por volta de 1860, quatro equações que sintetizaram as grandes leis que regem os fenômenos elétricos e magnéticos. O texto deixa claro que, na época, não se conheciam elétrons, somente cargas elétricas.

O Ld-2 cita as ondas eletromagnéticas, a previsão teórica da existência dessas ondas e sua posterior confirmação experimental por Heinrich Hertz (1857-1894) em 1887. É possível encontrar um fragmento em que os autores citam prioritariamente a Física Clássica:

Segundo a **teoria eletromagnética** clássica (modelo ondulatório de Maxwell), a radiação térmica é emitida por cargas elétricas do corpo, oscilando nas mais variadas frequências perto de sua superfície, em virtude da agitação térmica. Desse modo, a radiação é emitida numa faixa **contínua** de frequências (espectro contínuo) (Ld-2, p. 264).

O livro Ld-3 faz sua primeira abordagem histórica levando em conta a investigação entre matéria e radiação, que foi iniciada pela:

observação de que, quando um objeto metálico é aquecido, ele passa a emitir luz e calor. A medida que a temperatura aumenta, a cor da luz emitida se apresenta com um leve brilho avermelhado, passando a um vermelho mais intenso, a seguir laranja, amarelada e, por fim, vai se tornando azulada. As observações do espectro eletromagnético visível e sua relação com a temperatura foram feitas por volta de 1800 (Ld-3, p. 267).

Essas foram as informações extraídas dos livros analisados e que se referem a subcategoria (a), indicada na ilustração 06. É interessante ressaltar, retomando o Ld-1, que seria necessário, ao tratar da energia irradiada, citar a Lei de Stefan – Boltzmann. Foi Josef Stefan que estabeleceu em 1884 uma lei empírica que dizia que o poder emissor de um corpo negro era proporcional à sua temperatura absoluta elevada na quarta potência. No mesmo ano essa equação proposta por Stefan recebeu uma explicação teórica feita por Ludwig Boltzmann, demonstrando-a matematicamente, implementando uma constante de proporcionalidade que relacionou os dois fatores apresentados por Stefan, passando a ser conhecida como lei de Stefan-Boltzmann (ROCHA et al, 2011). Tratar de energia emitida em termos de comprimento de onda da radiação é fundamental para compreensão

dos estudos de quantização de energia. Não se pode falar sobre Rayleigh, Jeans e Wien sem mencionar os estudos de Stefan e Boltzmann, pois os conhecimentos produzidos por esses cientistas estão interligados pelos mesmos problemas.

O Ld-2, por sua vez, inicia as discussões relacionando as leis de Maxwell e as ondas eletromagnéticas. Destaca que o estudo deste cientista, além da grande contribuição para o Eletromagnetismo, teve fundamental importância na constatação teórica de que a luz possuía natureza ondulatória, o que foi confirmado mais tarde por Hertz. Estudar as leis de Maxwell é significativo para os estudantes compreenderem porque na Física Clássica se defendeu a natureza ondulatória da luz, deixando para trás naquele momento os estudos sobre sua natureza corpuscular, propostos por cientistas como Newton.

No Ld-3 os autores optaram por falar inicialmente sobre matéria e radiação antes de adentrar no conteúdo de radiação de corpo negro. Em um mesmo e único capítulo ele aborda a relatividade, a mecânica quântica e a física de partículas (ilustração 07). A primeira fala do tópico sobre a origem da teoria Quântica retrata a relação entre o espectro eletromagnético e a temperatura de objetos aquecidos, posteriormente adentra o conteúdo de corpo negro e cita alguns estudiosos da área.

Ilustração 07 – Sumário do livro Ld-3, mostrando a distribuição dos conteúdos de Física Moderna.

		Unidade 4
		Física Moderna
12. Física Moderna	256	
Teoria da Relatividade Restrita	257	
Consequências dos postulados.....	260	
Investigação científica – Tempo		
relativístico.....	263	
Origens da Teoria Quântica.....	267	
Efeito fotoelétrico.....	269	
Átomo de Bohr.....	273	
Conexões – Branco mais branco	276	
Desenvolvimento da Teoria Quântica.....	276	
Hipótese de De Broglie.....	278	
Viagem no tempo – A Física dos quanta	279	
Princípio da Incerteza e Princípio da		
Complementaridade.....	281	
Investigação científica – Complementaridade		
onda-partícula	283	
		Viagem no tempo – A Física no início
		do século XX
		284
		Estrutura da matéria e Modelo-Padrão.....
		286
		Espaço da tecnologia – Tomografia PET
		289
		Descobertas e invenções brasileiras –
		César Lattes e o méson-pi
		290
		Conexões – Física e Arte
		295
		Supercondutores.....
		296
		Radioatividade.....
		300
		Conexões – Radioatividade e
		Arqueologia
		304
		+ Física – Os ramos da Física e
		suas interligações
		305
		Desafios da Física.....
		310

Fonte: Digitalização do livro: ARTUSO, Alysson Ramos; WRUBLEWSKI, Marlon. **Física** 3º ano. v. 3, Curitiba: Positivo, 2013, p. 07.

Uma sugestão interessante seria que todos os livros analisados pudessem fazer uma introdução sobre as Revoluções Científicas que ocorreram, colocando o que os pesquisadores na época do surgimento da Física Moderna já tinham concluído, onde a Mecânica de Newton era muito bem estruturada e quais as suas limitações.

Mecânica Clássica era uma teoria de inquestionável sucesso acadêmico, pois a sua aplicabilidade alcançava o movimento dos corpos celestes e dos sólidos (e líquidos) do mundo macroscópico, até aquele de partículas materiais, o que induziu o aparecimento de uma teoria corpuscular da matéria (ROCHA et al, 2011, p. 302-303).

Ao apresentar pela primeira vez aos estudantes os conceitos da Física Moderna, é essencial que o material didático explore seu contexto de surgimento, evidenciando os limites da Física Clássica e justificando a necessidade de uma mudança de pensamento. É preciso deixar claro que não se abandona um conjunto de conhecimentos em prol de outro instantaneamente. O processo de construção de teorias e da análise delas pela comunidade científica é exaustivo, e por mais que em certas histórias poucos nomes apareçam, muitos foram os cientistas que trabalharam nos impasses da Física do final do século XIX e início do século XX.

A física moderna tem em sua origem uma extensão de estudos já iniciados com a Física Clássica, como é o caso da radiação, que já era estudada mesmo antes da mudança de paradigma. O Ld-2 é a obra que melhor retrata a teoria de Maxwell, mostrando que o estudo em torno da teoria eletromagnética desencadeou debates que só cessaram com as ideias de Einstein sobre a natureza da luz.

Os livros didáticos poderiam relatar com maiores detalhes a interpretação contínua da energia emitida pelos corpos e deixar claro onde essa explicação falha fisicamente. Assim, haveria espaço para apresentar as divergências que surgiram na época, introduzindo o conceito hoje estudado como corpo negro, e também a importância de Kirchhoff nos estudos da radiação. Após isto, poderia ser detalhados os trabalhos de Rayleigh e Jeans, nos quais os cientistas tentaram resolver o problema que relaciona a emissão de radiação com a quantidade de energia de um corpo aquecido, e até mesmo mencionar que seus resultados não corresponderam aos dados experimentais. Estes livros didáticos poderiam ainda, citar importantes contribuidores para a história como, Josef Stefan e Ludwig Boltzmann, que tentaram relacionar a radiação com a temperatura e Wilhelm Wien que estudando o fenômeno do corpo negro chegou à conclusão de que existe uma relação entre o comprimento de onda e a temperatura do corpo, sendo que o problema em seus dados era a incompatibilidade com os dados experimentais de Stefan-Boltzmann para longos comprimentos de onda (ROCHA et al, 2011).

Sobre a subcategoria radiação de corpo negro e as divergências na conceituação, que levaram a essa teoria, os três livros analisados apresentam a radiação de corpo negro em contextos semelhantes. Ao falar sobre a subcategoria (b), os livros Ld-1 e Ld-2 descrevem que Planck tentava resolver o problema da radiação do corpo negro. Eles procuram abordar o tema radiação térmica explicitando conceitos, antes de começar a falar sobre radiação do corpo negro. Somente o Ld-2 faz menção a Lei de Stefan-Boltzmann, descrevendo a lei de forma conceitual, expondo que “o físico austríaco Josef **Stefan** (1835-1893) obteve, em 1879, empiricamente, a seguinte expressão, que outro físico austríaco, Ludwig **Boltzmann** (1844-1906), demonstrou matematicamente em 1884” (Ld-2, p. 264) (ilustração 08).

Todos os livros fazem menção a Kirchhoff em algum momento, com o intuito de responder que através de seus experimentos, introduziu a ideia de corpo negro se baseando nas ideias clássicas. Segundo o Ld-1:

nesses estudos, ele descobriu que, quando um corpo absorve certa quantidade de energia com a incidência de ondas eletromagnéticas, ele a emite em igual quantidade, ou seja, a capacidade ou poder de absorção e de emissão são iguais para cada temperatura. A partir desse conhecimento, Kirchhoff introduziu o conceito de **emissor** e **absorvedor ideal**, ao qual atribuiu o nome de **corpo negro** ou **radiador ideal** (Ld-1, p. 241).

O mesmo assunto é tratado no Ld-3 da seguinte maneira:

o modelo de Kirchhoff só pôde ser testado quando as indústrias alemãs começaram a produzir lâmpadas de filamentos incandescentes, em 1880. Isso porque as paredes de um corpo negro são constituídas de moléculas e podem ser entendidas como correspondentes à superfície do filamento de uma lâmpada incandescente. Segundo essa descrição, da mesma forma como as cargas elétricas em movimento acelerado podem emitir radiação no corpo negro, também o fariam no caso do filamento (Ld-3, p. 268).

Os livros Ld-1 e Ld-3 citam Wien como um cientista fundamentado nos conceitos de Física Clássica. Ld-3 destaca que:

trabalhos experimentais, publicados em 1899, mostraram divergências em relação à teoria de Wien para longos comprimentos de onda. Mesmo que muitos físicos acreditassem que seria apenas uma questão de tempo para que a emissão de radiação fosse completamente conhecida, nenhuma teoria até então era capaz de explicar inteiramente e com precisão o fenômeno (Ld-3, p. 268).

Ilustração 08 – Recorte do livro Ld-2 referente a sua abordagem sobre a Lei de Stefan – Boltzmann.

3. A radiação térmica e o corpo negro

A radiação térmica

A superfície de todo corpo, em qualquer temperatura acima do zero absoluto, emite energia na forma de radiações eletromagnéticas. Por estar relacionada com a temperatura do corpo que a emite, essa energia é denominada **radiação térmica**.

Quando a superfície do corpo está na temperatura ambiente, a radiação térmica emitida por ele é predominantemente infravermelha. Como sabemos, essa radiação não é visível. Usando um binóculo especial, entretanto, esse corpo pode ser “visto” mesmo na mais completa escuridão, pois esse binóculo funciona graças à recepção da radiação infravermelha emitida pelo corpo.

Elevando a temperatura do corpo – uma chapa metálica, por exemplo – até cerca de 600 °C, a radiação térmica continua sendo predominantemente infravermelha, porém mais intensa.

Se a temperatura da chapa for elevada a cerca de 700 °C, além de radiações infravermelhas mais intensas, será observada a emissão de uma tênue luz avermelhada.

Elevando a temperatura da chapa gradualmente a partir dos 700 °C e supondo que sua temperatura de fusão não seja atingida, serão percebidas radiações infravermelhas cada vez mais intensas e a chapa ficará cada vez mais luminosa. Além disso, a cor predominante da luz emitida por ela passará gradualmente do vermelho para o alaranjado, do alaranjado para o amarelo, e assim por diante, tendendo à coloração branca.

Uma boa versão da “cor branca” ocorre quando a luz **azul** passa a ser emitida: sua mistura com as outras, que também continuam sendo emitidas, nos dá a sensação do branco, como ocorre no filamento de uma lâmpada de incandescência acesa.

Aumentando ainda mais a temperatura de um corpo que já atingiu a coloração branca, ele passará a apresentar uma coloração azulada. É por isso que as estrelas mais quentes são azuladas.

Lei de Stefan-Boltzmann

O físico austríaco Josef **Stefan** (1835-1893) obteve, em 1879, empiricamente, a seguinte expressão, que outro físico austríaco, Ludwig **Boltzmann** (1844-1906), demonstrou matematicamente em 1884:

$Pot = e \sigma A T^4$ (Lei de Stefan-Boltzmann) em que:

- Pot é a **potência total** irradiada pela superfície externa de um corpo (energia total da radiação emitida por unidade de tempo) que se encontra a uma temperatura absoluta T ;
- e é a **emissividade** ou poder de emissão do corpo, uma grandeza adimensional que depende da natureza da superfície emissora e que pode assumir valores entre 0 e 1;
- σ é uma constante universal denominada **constante de Stefan-Boltzmann**: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$;
- A é a área da superfície emissora.

Observe na lei apresentada que, se a temperatura absoluta da superfície de um corpo, por exemplo, dobrar, a potência irradiada por ele ficará multiplicada por 2^4 , ou seja, por 16.

A Lei de Stefan-Boltzmann também pode ser expressa assim:

$$I = e \sigma T^4$$

em que I é a intensidade total da radiação térmica emitida por um corpo – quantidade total de energia emitida por unidade de tempo e por unidade de área da superfície externa do corpo – cuja superfície externa encontra-se a uma temperatura T ($I = \frac{Pot.}{A}$).

Segundo a **teoria eletromagnética** clássica (modelo ondulatório de Maxwell), a radiação térmica é emitida por cargas elétricas do corpo, oscilando nas mais variadas frequências perto de sua superfície, em virtude da agitação térmica. Desse modo, a radiação é emitida numa faixa **contínua** de frequências (espectro contínuo):



Parte visível do espectro da radiação térmica emitida pelo filamento de uma lâmpada de incandescência. Esse espectro é contínuo e pode ser obtido fazendo-se um estreito feixe da radiação atravessar um prisma óptico ou um conjunto de fendas muito estreitas, paralelas entre si e próximas umas das outras (rede de difração).

Pela mesma teoria, quando a radiação térmica incide num corpo, ela agita as cargas elétricas situadas perto da sua superfície. Com isso, parte da energia incidente no corpo é absorvida por ele.

A superfície de cada corpo tem uma **absorvidade** ou poder de absorção a .

Todos os livros começam o texto da mesma forma, colocando que em 1893 Wien criou a relação entre temperatura e comprimento de onda. O Ld-2, inclusive, restringe-se a essa informação histórica, enquanto que o Ld-3 faz uma abordagem a este contexto descrevendo que:

O trabalho de Wien corroborou com o de Kirchhoff, ao estabelecer que a emissão de radiação por um corpo negro depende apenas de sua temperatura. A lei de Deslocamento de Wien até hoje é utilizada para estimar a temperatura na superfície de estrelas por meio da observação do espectro da luz emitida por elas que chega até nós (Ld-3, p. 268).

Os autores do livro Ld-3 terminam sua fala dizendo que “mesmo que muitos físicos acreditassem que seria apenas uma questão de tempo para que a emissão de radiação fosse completamente conhecida, nenhuma teoria até então era capaz de explicar inteiramente e com precisão o fenômeno” (Ld-3, p. 268).

É importante ressaltar, como faz o Ld-1 quando cita a lei de Rayleigh-Jeans em uma comparação entre Wien e Rayleigh, que os dois desenvolveram suas teorias fundamentando-se em conceitos da Física clássica. Ele cita que:

Em 1900, o físico inglês William Strutt (1842-1919), mais conhecido como Lord Rayleigh, também desenvolveu um trabalho teórico - posteriormente ajustado em alguns pontos pelo físico, astrônomo e matemático britânico James Hopwood Jeans (1877-1946) - com a finalidade de achar uma equação compatível com a curva experimental. O resultado foi que a equação de Rayleigh concordava com as experiências para os comprimentos de onda maiores, enquanto para comprimentos menores (frequências maiores) a sua curva tendia para o infinito, estabelecendo o que ficou conhecido como **catástrofe ultravioleta** (Ld-1, p. 243).

Enquanto que o Ld-2 cita brevemente sobre a catástrofe do ultravioleta, enfatizando que ela causou grande transtorno para os físicos no final do século XIX, o Ld-3 não faz menção a estes conceitos.

Nesta subcategoria (b), analisando os livros didáticos, percebe-se que Ld-1 e Ld-2 possuem estruturas lógicas semelhantes. Considerando que esta é a apresentação inicial dos conceitos, nenhum dos autores busca se aprofundar na História. O Ld-1 trata da radiação térmica antes de iniciar a conceituação da radiação do corpo negro, citando Kirchhoff como introdutor do conceito de emissor e absorvedor ideal. A pertinência dessa discussão já foi explorada na subcategoria anterior. Na sequência, o livro dá um salto temporal para tratar de Wien e seus estudos sobre radiação, comparando a lei de Rayleigh-Jeans e Wien que desenvolveram suas teorias seguindo a Física Clássica. Essa colocação é importante para mostrar que as novas teorias não se originam em bases neutras, segue-se uma ideia, estes cientistas não criaram algo novo do nada, mas sim se fundamentaram na teoria clássica.

O Livro Ld-2 é o único que faz menção a Lei de Stefan-Boltzmann, em termos conceituais, sem conexão com a História da Ciência. Um conteúdo apresentado de forma ahistórica, segundo a qual somente transmite conceitos já elaborados sem menção a época de estudo ou ao contexto da descoberta e relações com a sociedade. Os autores citam Kirchhoff e sua contribuição para a evolução do conceito de corpo negro e, por fim, introduzem a concepção de corpo negro e quantização de energia.

Quanto ao Ld-3 é relevante destacar que quando os autores falam de Kirchhoff para inserir a ideia do corpo negro, eles fazem uma relação com a sociedade. Enfatizam que seu modelo foi testado em indústrias quando ocorreu a produção de lâmpadas incandescentes. Fazer esta alusão a sociedade mostra que a Ciência não está fora dela, isolada e neutra perante ao que ocorre, pois vários cientistas desenvolveram suas ideias pensando na sua aplicação no grupo social ou só puderam dar seguimento aos seus estudos com a ajuda da sociedade, no sentido de financiamento de pesquisas, por exemplo.

É considerável discutir que um cientista como Wien, por exemplo, que conhecia outros trabalhos, não agiu de forma individualista como um gênio isolado. O Ld-3 traz uma questão importante à tona, relatando que quando Wien mostrou seus estudos à comunidade científica da época, obteve uma grande repercussão, especialmente pela divergência de seus resultados na análise da emissão da radiação de corpos negros para longos comprimentos de onda. Estes debates mostram que nem sempre quando novas ideias são propostas elas são aceitas por todos, acaba que os cientistas muitas vezes passam por grandes trabalhos para provar suas teorias.

O estudo sobre a Lei de Rayleigh-Jeans, conhecido como catástrofe do ultravioleta, teve grande importância nas investigações posteriores sobre radiação do corpo negro. Foi desenvolvido em plena Segunda Revolução Industrial, época em que se investia alto na indústria siderúrgica e se produzia aço de boa qualidade. Era necessário controlar as temperaturas nos fornos e para isso era preciso estudar os espectros das radiações térmicas buscando uma fórmula matemática que expressasse quanta energia era necessário emitir em termos de comprimentos de onda da radiação. Rayleigh e Jeans chegaram a um resultado que era satisfeito para grandes comprimentos de onda, mas não correspondiam aos dados experimentais para os pequenos comprimentos de onda, levando outros pesquisadores a estudar o caso, como Max Planck (ROCHA et al, 2011).

Sobre a terceira e última subcategoria indicada na ilustração 06 como o estabelecimento da ideia de quantização de energia, todos os livros didáticos citam Max Planck como único contribuir no estabelecimento da mesma. Em cada obra, o que vem antes da apresentação da quantização já teve destaque nas subcategorias anteriores. Ao falar em quantização os autores destacam a grande ruptura causada na Física Clássica com as ideias de Planck.

O Ld-1 ao mencionar divergências com relação a Física Clássica e a origem do pensamento de Planck, cita que:

A Física Clássica não conseguia explicar o fato de que a emissão dos elétrons dependia da frequência da radiação e não de sua intensidade. Isso era estranho porque, segundo a teoria geral das ondas, quanto maior a intensidade, maior é a amplitude da onda e portanto, maior é a quantidade de energia que ela transporta (Ld-1, p. 248).

O Ld-2 começa alertando sobre a incompatibilidade entre resultados experimentais e as previsões decorrentes da teoria clássica. Planck tentou solucionar esse problema, porém suas ideias conflitavam de maneira severa com a Física Clássica. Nas palavras dos autores:

É importante destacar que essa teoria de fato contraria totalmente a Física Clássica, segundo a qual um determinado oscilador harmônico simples pode ter qualquer quantidade de energia e, além disso, essa energia não depende da frequência, mas apenas da amplitude de suas oscilações.

É necessário destacar que, apesar de ser o criador da teoria dos *quanta*, Planck nunca propôs que as radiações eletromagnéticas **se propagassem** na forma de porções discretas de energia (quanta). No processo de propagação, ele continuava acreditando e defendendo o modelo ondulatório de Maxwell (Ld-2, p. 267).

Ainda os autores do Ld-2, destacam que essa ideia foi o “embrião” da mecânica quântica.

O Ld-3 aborda o conteúdo mais sinteticamente, justificando que Planck tentou solucionar um problema sabendo da limitação da Lei de Wien, que “ele julgou ser capaz de resolver” (Ld-3, p. 268). Em um resumo sobre o conteúdo proposto, pode-se citar um fragmento do Ld-3:

Os resultados encontrados mostravam que as paredes de um corpo negro funcionariam como osciladores: as cargas elétricas (presentes nos átomos) oscilariam por causa da agitação térmica, e a oscilação dessas cargas emitiria radiação. A solução proposta pela teoria de Planck residia no artifício matemático de tratar a energia emitida pelos osciladores de forma discreta, e não contínua, como tentavam descrever outras formulações teóricas. Isso significa que apenas certos valores de energia poderiam ser emitidos pelos osciladores. Em outras palavras, a energia é **quantizada**, palavra que vem de **quantum** (Ld-3, p. 268).

Ele finaliza o conteúdo colocando que será visto nos trabalhos de Albert Einstein que estão a seguir, problemas que fortaleceriam à hipótese da quantização da energia.

Estes foram os extratos dos livros didáticos que se enquadram na subcategoria (c). Percebe-se que no Ld-1 a radiação é interpretada de forma clássica, como onda eletromagnética, e que ao buscar introduzir a ideia de quantização o livro retrata a dificuldade em abandonar a noção ondulatória da radiação. Nesse contexto, seria importante tratar questões como, a rejeição de Planck em aceitar que a teoria clássica não conseguia explicar esse fenômeno. O cientista fez diversos testes antes de abandonar a ideia clássica, demorou seis anos para aceitar suas ideias quando descobriu a representação matemática para o problema da radiação. Foi um grande passo supor que

a radiação deveria ser emitida em quantas de energia, como foi discutido no capítulo anterior do presente trabalho.

Analisando os aspectos históricos trazidos pelo livro Ld-2, é importante o pensamento dos autores em citar que Planck acreditava na Física Clássica e que a radiação obedecia as leis de Maxwell. Porém há uma divergência nas ideias dos autores quando dizem que Planck nunca propôs que as radiações eletromagnéticas se propagassem em quantas, pois foi após inúmeras manipulações algébricas que chegou a esta conclusão e as apresentou à sociedade.

No Ld-3 os autores trazem a questão da quantização de energia mais sinteticamente, resolvendo o problema da radiação, citando que Planck conhecia os trabalhos de Wien e suas limitações. Também ressaltam que o cientista chegou à conclusão da quantização para explicar que a energia seria emitida pelos osciladores em porções discretas.

Nota-se pelo fato de o conteúdo estar presente nos três livros analisados, que os autores consideram esse conhecimento importante para compreender a origem da Física Moderna. Explorar as contribuições de Max Planck para o entendimento da radiação de corpo negro é essencial, pois ele abriu as portas para a nova Física. Com sua ideia de quantização de energia resolveu o problema conseguindo reexpressar os dados experimentais que deram origem a catástrofe do ultravioleta, justificando o porquê dos resultados apresentarem divergências, mesmo que, por muito tempo, permaneceu crente na Física Clássica. As ideias de Planck só são compreensíveis, quando, antes delas, se traz todos os problemas que surgiram e o levaram a pesquisar o corpo negro. O cientista não queria acabar com a Física Clássica, tentou achar uma forma de explicar os fenômenos através dela e, só quando não havia mais condições, admitiu que a radiação eletromagnética até então considerada um fenômeno ondulatório, deveria ser interpretada como “porções discretas (ou grãos) de energia” (ROCHA et al, 2011, p. 309).

4.5.3 – Metatexto: Desenvolvimento das ideias da Física Quântica

A Origem da Física Moderna, passando pela conceituação de corpo negro e quantização de energia citadas na categoria anterior, foi um período de mudanças de paradigmas. Inúmeras eram as anomalias surgindo no contexto clássico e que começaram a ganhar novas interpretações contrastantes com a concepção de energia contínua, e da luz como onda eletromagnética, etc. Essas novas interpretações deram origem a diversas pesquisas, nas quais destacam-se os nomes de Max Planck e Albert Einstein.

Na presente categoria, denominada “Desenvolvimento das ideias da Física Quântica” incorpora-se os estudos posteriores a Max Planck e anteriores à discussão da dualidade para a luz e

para a matéria. Nesse interstício os livros enfatizam o efeito fotoelétrico. Todos eles contam que em 1887 Hertz foi o primeiro a estudar o fenômeno.

O Ld-1 e Ld-3 destacam a importância de Hallwachs na descoberta do efeito fotoelétrico. Em um fragmento retirado do Ld-1, consta que:

Wilhelm Hallwachs (1859-1922), assistente do físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894), observou que o comprimento da centelha causada pela descarga elétrica entre duas esferas metálicas diminuía quando se escurecia a sala do laboratório e tornava-se maior quando a sala era iluminada (Ld-1, p. 247).

As duas obras também citam que nesta época não se conhecia o elétron, somente a existência de cargas elétricas.

Os livros Ld-1 e Ld-2 destacam como nome importante Lenard, o qual estudou o efeito fotoelétrico, chegando a conclusões significativas. No Ld-1 temos a informação de que “o físico alemão Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947) fez um profundo estudo experimental do efeito fotoelétrico e chegou a importantes conclusões em experimentos com emissores de vários materiais e utilizando radiações com comprimentos de onda distintos” (Ld-1, p. 247).

No tocante a Stoletov, somente o Ld-2 o aborda, e o faz como um dos nomes que contribuiu inicialmente com as ideias do efeito fotoelétrico, citando que o estudioso observou o fenômeno e auxiliou na explicação do efeito.

Os três livros relatam as contribuições de Albert Einstein para o problema do efeito fotoelétrico, que, segundo o fragmento extraído do Ld-3 “[...] era um dos problemas que intrigavam os físicos. Se a luz era uma onda, como seria capaz de arrancar elétrons da superfície metálica daquela maneira?” (Ld-3, p. 270). Os três livros especificam em algum momento a questão de Einstein considerar a luz como partícula, como pode ser observado em fragmentos retirados do Ld-2:

Em 1905, o físico alemão Albert **Einstein** (1879-1955) explicou o efeito fotoelétrico. Para isso, ele estendeu a teoria de Planck às radiações eletromagnéticas, considerando que **a energia dessas radiações também é quantizada**. Assim, uma radiação eletromagnética passou a ser tratada como um feixe de partículas denominadas fótons propagando-se (Ld-2, p. 269).

É importante destacar que Einstein adotou um novo modelo para luz e as demais radiações eletromagnéticas contrapondo-se ao modelo ondulatório. Como um fóton é um concentrado de energia, podemos chamá-lo de “corpúsculo” ou “partícula” de energia. Por isso, o novo modelo é denominado **modelo corpuscular** das radiações eletromagnéticas (Ld-2, p. 270).

Outra importante consideração é feita no Ld-3:

Em março de 1905, Albert Einstein publicou um artigo com grande contribuição para o efeito fotoelétrico. Foi especialmente por essa contribuição que ele ganhou o Prêmio Nobel de 1922. O cientista propôs uma explicação com base nos trabalhos de Planck e na hipótese do quantum de luz. A lógica seguida por ele é que se a radiação eletromagnética, em certas condições, se comporta de maneira quantizada, como na radiação do corpo negro, podemos pensar que a absorção da luz também se dá de maneira quantizada. Esse raciocínio considera que no efeito fotoelétrico um quantum de luz (mais tarde denominado **fóton**) fornece toda a sua energia a um elétron, sendo a energia máxima do elétron ejetado dada por: $E = h.f - \phi$ (Ld-3, p. 271).

Além de Einstein, Robert Millikan é citado nos livros Ld-1 e Ld-2.

A explicação compatível com os fatos experimentais foi dada por Einstein em 1902 e publicada em 1905. No ano seguinte, foi confirmada por experimentos realizados pelo físico estadunidense Robert Millikan (1868-1953) (Ld-1, p. 248).

E,

Esse gráfico [energia cinética máxima do fotoelétron em função da frequência associada ao fóton que ele absorve] foi confirmado experimentalmente pelo físico norte-americano Robert Andrews **Millikan** (1868-1953), em 1916. O valor do coeficiente angular foi calculado, confirmando ser de fato a constante de Planck da teoria do corpo negro (Ld-2, p. 271).

Uma questão interessante mencionada no Ld-3 é a resistência da comunidade científica em aceitar essa nova teoria, que contradizia com o que era conhecido. Como ressalta o livro, mesmo depois de verificado, o efeito fotoelétrico era amplamente contestado. Os autores escrevem:

o fato de o próprio Einstein acreditar que o quantum de luz seria uma hipótese provisória, e não uma propriedade da própria radiação, contribui para esse isolamento. Boa parte da resistência encontrada pelos físicos está no fato de que essa explicação do fenômeno trazia à tona um paradoxo sobre a natureza da luz: seria a luz uma onda ou uma partícula? (Ld-3, p. 272).

Em síntese, verifica-se que há uma grande importância em destacar o nome de Hertz, pois ele foi o primeiro a observar o efeito fotoelétrico, ainda quando nem se sabia o que era o elétron, e que por isso só mais tarde ganhou uma explicação correta com as ideias de Einstein. Mas também é relevante explicitar outros nomes como Hallwachs, assistente de Hertz, que percebeu o efeito enquanto este ocorria.

Citar uma amplitude maior de nomes de indivíduos que contribuíram para as primeiras hipóteses sobre o efeito fotoelétrico faz o estudante compreender que a Física não é escrita por gênios isolados, de forma individualista. Philipp Lenard pesquisou sobre o efeito fotoelétrico se aprofundando no estudo da relação da energia dos elétrons emitidos pela placa com a intensidade da radiação incidente, concluindo um fato importante, que a ejeção dos elétrons não dependia da intensidade da luz, somente da frequência da radiação (PEREIRA, 2011).

O Ld-1 busca tratar desde o descobrimento do efeito fotoelétrico, citando Hertz e colaboradores, como também explicações para o fenômeno segundo Lenard. Fala sobre as contribuições de Einstein para o estudo do efeito e a importância da sua consideração de que a luz era de natureza corpuscular, terminando o contexto com os estudos de Millikan e a confirmação do efeito fotoelétrico.

Tanto as resistências de Planck em abandonar os princípios da física clássica, conforme explorado no tópico anterior, quanto a proposição de um novo modelo para a luz por Einstein – dos fótons – mostram que não há uma linearidade no pensamento científico, mas sim uma ruptura. Einstein traz novamente para a ciência uma interpretação particulada da luz, porém reestruturada em bases completamente novas para o período.

Analisando a abordagem feita pelos autores do Ld-2, sua estrutura lógica se assemelha ao livro anterior, seguindo a mesma linha de pensamento na qual enfatiza os estudos de Einstein e sua explicação para o efeito fotoelétrico estendendo a teoria de Planck sobre as radiações eletromagnéticas.

Da mesma forma, o Ld-3 trabalha em semelhança com os outros dois livros em questões de nomes e conceitos citados, destacando que o efeito fotoelétrico intrigava os físicos com relação a natureza da luz. Os autores mencionam que Einstein recebeu o Prêmio Nobel em 1922 por sua contribuição na Física, estendendo a quantização para a luz, e que ele encontrou resistência de outros cientistas, trazendo à tona uma discussão antiga.

Interessante analisar que os três livros quando tratam do efeito fotoelétrico, utilizam-se da História para explicá-lo. Nota-se que os autores exploram o fato de Einstein conhecer os estudos anteriores sobre a natureza da luz, mostrando que a Ciência não se constrói em bases empírico-indutivistas e que a observação não é realizada de forma neutra, ou seja, houveram teorias que nortearam toda a explicação sobre o efeito fotoelétrico.

Quando Einstein propôs uma interpretação para o efeito fotoelétrico em 1905, utilizou-se da equação de Planck, explicando assim “o fato de os elétrons saírem com maior energia quando a frequência da luz aumenta. Einstein tomou emprestado o que Planck havia proposto para explicar a radiação do corpo negro e defendeu que a luz seria emitida em pequenos pacotes” (PEREIRA, 2011, p. 34), hoje conhecidos por fótons. Destarte, Einstein não só deu uma elucidação satisfatória para o efeito fotoelétrico como para a natureza da luz. Cabe apenas ressaltar que há um “limiar de frequência ou frequência de corte abaixo do qual o efeito fotoelétrico deixa de ocorrer” (EISBERG e RESNICK, 1994, p. 53), qualquer que seja a intensidade da iluminação.

Citar Millikan dentro do contexto histórico contribui para a compreensão de como as ideias do efeito fotoelétrico se consolidaram, pois foi ele que em 1916, comprovou experimentalmente que

é possível obter de forma independente a constante de Planck pelo efeito fotoelétrico, fechando um ciclo em torno da relação das teorias (PEREIRA, 2011).

4.5.4 – Metatexto: Estabelecimento da concepção dual para a luz e a matéria

Os autores dos três livros abordam, nos conteúdos referentes à Física Moderna, a questão da dualidade onda-partícula, destacando dois nomes em especial: Albert Einstein e Louis de Broglie. Einstein é citado quando os autores discutem o efeito fotoelétrico e a natureza dual da luz, e De Broglie quando tratam da dualidade para a matéria.

Na subcategoria (a), dualidade onda-partícula para a luz, no Ld-1, os autores relatam que:

Não faz parte do senso comum pensar na luz como uma partícula que não tem massa, menos ainda que o elétron, que imaginamos como um corpúsculo, possa apresentar comportamento ondulatório. Fenômenos como o efeito fotoelétrico e o efeito Compton evidenciaram que as radiações têm comportamento corpuscular, uma vez que podem ser explicadas com o conceito de fóton ao qual está incorporada uma quantidade de energia proporcional à frequência da fonte emissora. Assim, podemos afirmar que as radiações eletromagnéticas consistem num conjunto discreto de pacotes de energia - corpúsculos ou fótons (Ld-1, p. 253).

O livro Ld-2 explora o termo dualidade da luz ao dizer que: “é importante destacar que a luz, assim como as demais radiações eletromagnéticas, nunca exhibe os dois comportamentos **ao mesmo tempo**. Esse é o **Princípio da Complementaridade** proposto pelo físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962)” (Ld-2, p. 292).

O Ld-3 destaca alguns cientistas da Física Clássica que estudaram a natureza ondulatória da luz:

Apesar das verificações teóricas e experimentais da natureza de partícula da luz, outros experimentos evidenciavam sua natureza ondulatória, o que estava de acordo com a teoria eletromagnética de Maxwell. Um desses exemplos é o interferômetro de Mach-Zehnder, que consiste em um aparato idealizado de modo independente pelo físico suíço Ludwig Zehnder (1854-1949) e pelo físico austríaco Ludwig Mach (1868-1951) (Ld-3, p.277).

Fazendo uma análise dos conteúdos propostos nesta subcategoria (a), os três livros abordam a discussão sobre a dualidade da luz de forma breve. Em síntese apontam que a luz tem natureza de partícula e onda, mas que esses efeitos não se manifestam ao mesmo tempo. É importante fazer uma retomada na Física Clássica nesse momento e revisar que a luz tem comportamento ondulatório como estudado em Óptica, sendo comprovada essa natureza pelas leis de Maxwell.

Através das leis de Maxwell e experimentos como o interferômetro de Mach-Zehnder a natureza ondulatória para luz se sustentou, sendo satisfatória para explicação de vários fenômenos

como a difração e a interferência. Com a descoberta do efeito fotoelétrico, era necessário supor que a luz tinha comportamento corpuscular, apoiado nas ideias bem fundamentadas dos quanta. Chegou-se então, nesse momento da história, a compreensão de que a luz – onda eletromagnética – propagava-se como partícula, colaborando assim para o estabelecimento da teoria dual da luz.

Só existe uma natureza, que é a dual. É preciso, porém, compreender em que momentos a luz se comporta como onda e em que momentos se comporta como partícula. É importante entender que:

A teoria corpuscular não anulou a teoria ondulatória. Os dois modelos são válidos, pois a luz ao interagir com a matéria, ora se comporta como onda, ora como partícula. O que definirá qual será apropriado ao fenômeno em questão, pois, para os fenômenos de reflexão, refração, interferência, difração e polarização, a teoria ondulatória dará conta de explicar, e a explicação dos fenômenos de emissão e absorção caberá à teoria corpuscular (MEGGIOLARO, 2012, p. 23).

A partir da concepção da dualidade da luz, ao tratar da dualidade onda-partícula para a matéria, na subcategoria (b), dando sequência a natureza dual, nota-se nos livros didáticos um salto temporal até Louis de Broglie, que é citado nos três livros, como o cientista que determinou que a matéria também tinha natureza dual, ou seja, comportamento de onda-partícula.

O livro Ld-1 cita que:

As ideias de De Broglie tiveram confirmação nas experiências realizadas em 1927 pelos físicos estadunidenses Clinton Joseph Davisson (1881-1958) e Lester Germer (1896-1971) sobre a difração de elétrons. Posteriormente, experiências realizadas na Alemanha confirmaram a difração com partículas alfa e, em meados dos anos 1930, também com íons e nêutrons. Assim, a natureza dual da matéria foi definitivamente aceita nos meios científicos (Ld-1, p. 254).

Segundo o Ld-2, De Broglie “propôs, em 1924, que essa dualidade também poderia ser válida para entidades normalmente tratadas como corpos, ou seja, como porções de matéria (elétrons, prótons, partículas, bolas de bilhar etc)” (Ld-2, p. 292). Já o Ld-3, cita como De Broglie chegou a esta conclusão (dualidade para a matéria) e a relação da matéria com o comprimento de onda:

Em 1924, o físico francês Louis de Broglie (1892-1987), em seus estudos acadêmicos, tentou explicar a razão das órbitas estacionárias do modelo de Bohr fazendo uma analogia com ondas estacionárias em cordas. Assim, os elétrons se comportariam como “ondas estacionárias” em órbitas que só seriam estáveis em determinadas condições. Para fundamentar essa proposta de comportamento ondulatório para o elétron, ele trouxe um pouco de simetria à dualidade da luz: se as ondas eletromagnéticas em certas condições apresentam comportamento de partícula, então partículas também poderiam apresentar, em certas condições, um comportamento ondulatório. Com essa hipótese, De Broglie chegou a uma equação que calcularia o comprimento de onda λ associado a uma partícula com base em sua quantidade de movimento Q : $\lambda = h/Q$ (Ld-3, p. 278).

Somente o livro Ld-1 cita os nomes de Davisson e Germer como os estudiosos que confirmaram a hipótese de De Broglie. Os livros Ld-2 e Ld-3 afirmam que a sua ideia foi comprovada com os experimentos de difração dos elétrons.

Analisando a subcategoria (b), em torno da ideia dual para a matéria, é necessário discutir como foram comprovadas as ideias de De Broglie. O experimento de Davisson e Germer foi feito com o intuito de, justamente derrubar a ideia de De Broglie. No entanto ao observar a difração dos elétrons foi possível confirmar sua natureza ondulatória (MEGGIOLARO, 2012).

Ao estender a dualidade para a matéria foi possível explicar fenômenos como a difração de elétrons. A dualidade para toda matéria veio como consequência da dualidade da luz. Ora, se a luz que era uma onda poderia se comportar como partícula, porque o elétron que é uma partícula não pode ter comportamento ondulatório, visto que “um elétron ou um fóton, em certas situações experimentais, pode ser encarado ou como partícula, ou como onda, sendo praticamente impossível preparar uma situação experimental que exiba simultaneamente esses dois aspectos” (MEGGIOLARO, 2012, p. 22).

Uma proposição interessante seria de que os livros apresentassem as condições que De Broglie utilizou para estender a dualidade para a matéria, assim como a associação entre momento e comprimento de onda, quebrando a ideia de que o elétron, por exemplo, não pudesse ter outra natureza, além de partícula.

A última subcategoria, (c), referente ao Efeito Compton, é abordada pelos livros Ld-1 e Ld-3. O livro Ld-1 descreve que Compton “comprovou experimentalmente a natureza quântica dos raios X” (Ld-1, p. 253) e no livro Ld-3 os autores explicam que Compton “havia observado, em 1923, um efeito de espalhamento de radiação eletromagnética (raios X) que incidia sobre a matéria, cuja descrição somente foi possível tratando a radiação incidente como partículas (fótons) – conhecido como **efeito Compton**” (Ld-3, p. 276). Este Efeito Compton, deu-se em consequência da explicação do efeito fotoelétrico. Considerando a luz como partícula, Compton comprovou, em seu experimento sobre difração de elétrons, que os raios X espalhados tinham frequência diferente dos raios X incidentes, mostrando que a mesma diminui quando ocorre seu espalhamento, através da colisão entre o elétron e o fóton de raio X. Assim foi possível comprovar que as duas concepções da natureza da luz eram aceitáveis. Enquanto que nos livros Ld-1 e Ld-3 os autores trataram esta subcategoria (c) de forma mais sintética, se limitando a relatar que Compton provou que os raios X tinham natureza dual, o livro Ld-2 nem chega a citá-lo.

Os episódios que estavam transformando a Física abalaram muitos cientistas e nem todos tinham crença de que Einstein estava certo quanto aos fótons até os estudos de Compton. Assim, é considerável mencioná-lo quando se trata da concepção da dualidade onda-partícula.

Em linhas gerais, a natureza dual da luz e da matéria, bem como suas características, não podem ser fragmentadas, é preciso conhecer os fenômenos envolvidos e defini-los. A ciência foi se transformando ao longo dos séculos em consequência das novas descobertas. Este estudo é uma prova disso, pois

quando a comunidade científica passou a questionar sobre o mundo microscópico, por se tratar de medidas muito pequenas, a discussão sobre a natureza da luz voltou à tona. E, a teoria corpuscular veio à tona nas explicações de Max Planck (1858-1947), Albert Einstein (1879-1955), Robert Millikan (1868-1953), Niels Bohr (1885-1962), Arthur Compton (1892-1962), Werner Heisenberg (1901-1976) e Louis de Broglie (1892-1987), visto que a luz se comporta como partículas de energia (MEGGIOLARO, 2012, p. 40).

É fundamental compreender como os livros didáticos apresentam aos estudantes o tema dualidade onda-partícula, pois segundo Meggiolaro (2012, p. 59) para aprender este tema “é preciso tomar o conhecimento dos conceitos que estão relacionados a ele. A dualidade não é uma característica a mais da luz, mas, sim, é a forma de representação de fenômenos distintos a partir da mesma luz”. Dependendo de como os conteúdos são inseridos aos alunos pode-se ter a impressão que este é um conteúdo novo, completamente distinto dos anteriormente vistos.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Trabalho de Conclusão de Curso buscou analisar, por meio da análise textual discursiva, aspectos da Natureza da luz e da matéria presentes em livros didáticos de Física aprovados pelo Plano Nacional do Livro Didático para 2015. Das três coleções selecionadas, foram investigadas mais especificamente as visões de História da Ciência que são repassadas nas seções de Física Moderna sobre a natureza dual da luz e da matéria.

No capítulo 2, buscou-se analisar argumentos da literatura que mostram como a Física Moderna deve ser levada para as salas de aula da Educação Básica. Foram discutidas cinco categorias de estratégias didáticas que podem ser utilizadas na diversificação do ensino, sendo elas o uso das TICs, de mapas e diagramas conceituais, de analogias, da experimentação e da História da Ciência.

Foi escolhida como estratégia de maior interesse, a utilização da História da Ciência em sala de aula na disciplina de Física, percebendo que ela possibilita a compreensão dos conceitos físicos em seu contexto de produção, a conexão deles com a sociedade, compreendendo a natureza dos fatos, os caminhos que levaram ao estabelecimento de cada paradigma, conceito e reformulação teórica.

No capítulo 3, apresentou-se uma discussão sobre a Natureza da Ciência, evidenciando as características deformadas do trabalho científico. Fez-se ainda, um recorte histórico sobre o tema natureza da luz e da matéria, visto que através deste conceito é possível perceber as mudanças de concepções sobre a definição de luz ao longo do tempo mostrando que a Ciência está em constante transformação, e que são necessárias bases, provas e teorias bem fundamentadas para estabelecer uma nova ideia.

Assim, trabalhou-se com a relevância de estudar a Natureza da Ciência no Ensino de Física, percebendo que é muito fácil causar uma visão deformada da Ciência quando não há uma boa formação do professor, atualização curricular e também quando se utiliza uma única referência, trazendo apenas a visão de um autor para sala de aula. Através do trabalho, observou-se que várias visões podem ser transmitidas aos alunos, as quais influenciam na compreensão dos conteúdos podendo se tornar rotineiras se o professor não media esse conhecimento.

Quando o docente trabalha com estratégias didáticas que buscam diminuir essas defasagens no ensino, criando um envolvimento entre estudantes e conceitos, pode minimizar estas questões. Ao planejar a aula, o professor precisa pensar de que maneira seria melhor mediar esse conhecimento ao aluno, qual seria a estratégia adequada, bem como, fazer uma leitura do seu material, o livro didático que utiliza em classe e, que os alunos tem como apoio, analisando como o

mesmo aborda aquele conteúdo, verificando as falhas, o que poderia ser complementado trazendo-o aos estudantes.

Se a estratégia didática escolhida é utilizar da História da Ciência, é preciso dar didaticamente uma sequência a ela, para que os alunos compreendam o que foi ocorrendo, não deixando-os pensar que existiam grandes gênios, simplesmente transmitindo conteúdos prontos, sem propor um debate em sala de aula, sobre aquele assunto. Não se pode passar a visão que a Ciência se desenvolve neutra dentro da sociedade e sim mostrar as influências que fizeram os cientistas estudar por aqueles caminhos que levaram as suas teorias. Não há como seguir um único roteiro, acumulando conhecimentos ao invés de discutí-los onde os próprios estudantes cheguem a uma conclusão, com auxílio do professor.

A Física Moderna surgiu por conta de divergências que surgiram na Física Clássica, se o estudante não entende as mudanças de concepções ao longo dos caminhos, pode acabar achando que a Física nada mais é do que uma História transmitindo fatos isolados.

O tema dualidade tanto para luz quanto para a matéria justifica-se no trabalho por ter como objetivo discutir como ocorrem essas mudanças de concepções na sala de aula, como o livro didático organiza esse conteúdo, e como sugere que este seja ensinado aos estudantes. Para a maioria dos professores a base é o livro didático no seu trabalho, é nele que o docente organiza sua estruturação que seguirá no ano letivo, e, se este trabalha temas da Física Moderna como conteúdos isolados e o professor não intercede neste estudo, sozinhos os alunos não unirão todas as teorias por trás desta nova que lhes é apresentada.

Deste modo, como professora de sala de aula do Ensino Básico, buscou-se entender a História dos conceitos, relatando os acontecimentos que levaram a concepção de dualidade tanto para a luz como para a matéria, podendo assim criar uma base para avaliação dos aspectos históricos nos livros didáticos.

Com a realização do trabalho a cerca das estratégias de ensino, do estudo do papel da Natureza da Ciência e de como ocorreu a História da definição de dualidade para a luz e a matéria, foi possível no capítulo 4 mostrar como está apresentada a Física Moderna nos livros didáticos aprovados pelo Plano Nacional do Livro Didático de 2015, discutindo primeiramente a importância de uma estruturação do livro, bem planejada, atendendo as reais necessidades dos professores e estudantes.

Estudou-se o PNLD 2015 e traçou-se uma metodologia para escolha de quais seriam os livros analisados. Foram escolhidos aqueles indicados como primeira opção pelos professores de Física que atuam nas cidades da região que circundam a UFFS - *Campus Realeza*. Das três coleções eleitas, optou-se pelo volume três de cada coleção onde estavam concentrados os conteúdos de

Física Moderna. Assim, com os três livros didáticos em mãos, verificando como eles apresentam o conteúdo de dualidade onda-partícula para a luz e a matéria em relação a seus aspectos históricos, viu-se a necessidade de complementar a análise a partir dos conteúdos de Óptica do segundo ano destas coleções, observando se não era feita nenhuma menção a dualidade, para entender se a abordagem sobre o tema no volume três se tratava, de fato, da primeira vez que os autores falavam sobre o assunto. Notou-se que no volume dois se explora prioritariamente a natureza ondulatória da luz, portanto fez-se apenas um breve apanhado desses volumes, para todos os livros.

A amostra foi analisada pela metodologia da análise textual discursiva, sendo realizada a unitarização, extraindo fragmentos que continham alguma referência histórica, segundo o tema de estudo. A partir destes extratos, foram organizadas três grandes categorias para a criação do metatexto, algumas das quais precisaram ser subdivididas.

Os metatextos buscaram expressar como era apresentada a História da Ciência nos livros. Decidiu-se por primeiro expor os conteúdos e depois analisá-los historicamente, ofertando sugestões aos textos e avaliando se havia visões deformadas no contexto dos livros, debatendo a importância de cada conceito para o ensino.

Através da análise dos livros didáticos, foi perceptível que é dado mais enfoque a explanação dos conceitos e equações, fazendo menção histórica somente a nomes de alguns cientistas e datas. Não há referências sobre as influências do contexto social, político, econômico das diferentes épocas em que se deu a construção do conceito de luz. Também não se fala nos fatores que levaram os cientistas a dedicarem-se na resolução desses problemas físicos. Poderia ser proposto aos estudantes um debate, uma investigação histórica que mostrasse como se constroem as teorias científicas. Aquilo que o livro didático não mostra com clareza, deve ser complementado e aprofundado pelo professor.

Se existe uma fragmentação entre a Física Clássica e a Moderna nos livros didáticos, o docente pode interferir nessa abordagem, mencionando a continuação das ideias e explicando seus limites de validade. A grande limitação para o ensino de Física Moderna é a fragmentação entre os conteúdos da Física, além do escasso tempo para seu ensino e a também formação do professor. Havendo uma melhor distribuição dos conteúdos, abordando continuamente todos os períodos da Física e não os deixando desconexos, os conteúdos de Física Moderna poderiam vir a serem melhores compreendidos pelos estudantes.

Faz-se necessário entender que o livro didático é um material utilizado na sala de aula e que deve ser aproveitado, porém com um planejamento adequado. Ao analisar os livros didáticos buscando neles a História, percebe-se a sua carência. O professor precisa no seu preparo da aula escolher um caminho a ser seguido, identificar neste livro possibilidades e defasagens mediando

esse conhecimento. É muito fácil transmitir uma visão deformada dos conceitos da Física se o planejamento da aula não for realizado com atenção.

A Física Moderna enfrenta grandes barreiras quando se trata de sua inserção no Ensino Básico. Os próprios professores não conseguem se atualizar diante das transformações da Física, do método de estudo. É necessário mudar todo o sistema, começando com o investimento no professor, proporcionando a ele uma atualização curricular, ofertada através de cursos, oficinas, debates, expondo estratégias que podem ser desenvolvidas em sala de aula, para então promover a superação do distanciamento entre a teoria clássica e moderna.

É preciso trabalhar em um projeto que modifique todas as esferas políticas e sociais (secretarias de estado, instituições de ensino superior) que dão suporte para a sala de aula, passando por um melhor planejamento dos livros didáticos. Em etapas futuras, o material desenvolvido ao longo desse trabalho, poderia servir de base para um curso de formação continuada que envolvesse a História da natureza da luz e da matéria, proporcionando uma atualização de conhecimentos aos professores da Educação Básica.

6 - REFERÊNCIAS

ABDALLA, B. C. Maria. **O Discreto Charme das Partículas Elementares**. São Paulo: Editora UNESP, 2006.

ARTHURY, Luiz Henrique Martins; PEDUZZI, Luiz O.Q. A cosmologia moderna à luz dos elementos da epistemologia de Lakatos: recepção de um texto para graduandos em física. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 35, n. 2, p. 1-14, 2013.

ARTUSO, Alysson Ramos; WRUBLEWSKI, Marlon. **Física 2º ano**. v. 2, Curitiba: Positivo, 2013.

ARTUSO, Alysson Ramos; WRUBLEWSKI, Marlon. **Física 3º ano**. v. 3, Curitiba: Positivo, 2013.

BETZ, Michel; LIMA, Ismael de; MUSSATTO, Gabriel. Dualidade onda-partícula: um objeto de aprendizagem baseado no interferômetro de Mach-Zehnder. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 31, n. 3, p. 3501.1-3501.8, 2009.

BONADIMAN, Helio; NONENMACHER, Sandra E. B. O gostar e o aprender no ensino de Física: uma proposta metodológica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 24, n. 2, p. 194-223, 2007.

BONJORNO, José Roberto, et al. **Física: Termologia, Óptica e Ondulatória 2º ano**. v. 2, 2. ed. São Paulo: FTD, 2013.

BONJORNO, José Roberto, et al. **Física: Eletromagnetismo e Física Moderna 3º ano**. v. 3, 2. ed. São Paulo: FTD, 2013.

BRANDÃO, Rafael Vasques, ARAUJO, Ives Solano, VEIT, Eliane Angela. Concepções e dificuldades dos professores de Física no campo conceitual da modelagem científica. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vol. 9, nº 3, p. 669-695, 2010.

BRASIL, Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (MEC/ SEMTEC, Brasília, 1999).

CAVALCANTE, Marisa Almeida; PIFFER, Anderson; NAKAMURA, Patrícia. O uso da Internet na compreensão de temas de Física Moderna para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 23, n. 1, p. 108-112, 2001.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane R. C. Uma oficina de Física Moderna que vise a sua inserção no Ensino Médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v. 18, n. 3, p. 298-316, 2001.

COELHO, Suzana Maria; NUNES, António Dias. Formação continuada de professores numa visão construtivista: contextos didáticos, estratégias e formas de aprendizagem no ensino experimental de física. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 25, n. 1: p. 7-34, abr. 2008.

CORDEIRO, Marinês Domingues; PEDUZZI, Luiz O. Q. Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 35, n. 3, p. 3602.1-3602.11, 2013.

CORREIA, Paulo Rogério Miranda; SILVA, Amanda Cristina da; ROMANO JUNIOR, Jerson Geraldo. Mapas conceituais como ferramenta de avaliação na sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 32, n. 4, p. 4402-1-4402-8, 2010.

DOMINGUINI, Lucas. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 34, n. 2, p. 2502.1-2502.7, 2012.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. 9.ed. Editora Campus, 1994.

GUALTER, José Biscuola; NEWTON, Villas Bôas; HELOU, Ricardo Doca. **Física: Termologia, Ondulatória e Óptica 2º ano**. v. 2, 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

GUALTER, José Biscuola; NEWTON, Villas Bôas; HELOU, Ricardo Doca. **Física: Eletricidade, Física Moderna e Análise Dimensional 3º ano**. v. 3, 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

Guia dos Livros didáticos: PNLD 2015: física: ensino médio. - Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2014.

GURGEL, Ivã; PIETROCOLA, Maurício. Uma discussão epistemológica sobre a imaginação científica: a construção do conhecimento através da visão de Albert Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 33, n. 1, p. 1602.1-1602.12, 2011.

KIOURANIS, Neide Maria Michellan; SOUZA, Aguinaldo Robinson de; SANTIN FILHO, Ourides. Experimentos mentais e suas potencialidades didáticas. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 32, n. 1, p. 1507.1-1507.10, 2010.

KUHN, Thomas S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. Tradução Beatriz Vianna Boeira; Nelson Boeira. 10 ed. São Paulo: Perspectiva, 2011.

MARTINS, Renata Lacerda Caldas; VERDEAUX, Maria de Fátima da Silva; SOUSA, Célia Maria Soares Gomes de. A utilização de diagramas conceituais no ensino de física em nível médio: um estudo em conteúdos de ondulatória, acústica e óptica. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 31, n. 3, p. 3401.1-3401.12, 2009.

MEGGIOLARO, Graciela Paz. A Abordagem da dualidade onda-partícula em livros didáticos de Física do Ensino Médio. 2012. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Educação nas Ciências, Ijuí, 2012.

MELHORATO, Rodrigo Lima; NICOLI, Gustavo Tosta. Da física clássica à moderna: o simples toque de uma sirene. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 34, n. 3, p. 3311.1-3311.4, 2012.

MORAES, Roque; GALIAZZI, Maria do Carmo. Análise Textual Discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciência & Educação**, v. 12, n. 1, p. 117-128, 2006.

MORAIS, Angelita; GUERRA, Andreia. História e a filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas física moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 35, n. 1, p. 1502.1-1502.9, 2013.

MOREIRA, Marco Antonio. **Mapas conceituais e Diagramas V**. UFRGS, Porto Alegre, 2006.

OLIVEIRA, Fabio Ferreira de, VIANNA, Deise Miranda, GERBASSI, Reuber Scofano. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física moderna e contemporânea no ensino médio". **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, 2001.

OSTERMANN, Fernanda, RICCI, Trieste F. Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. **Cad. Brás. Ens. Fís.**, v. 22, n. 1, p. 9-35, 2005.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. **Diretrizes Curriculares da Educação Básica: Física**. [Curitiba]: Governo do Estado do Paraná, 2008.

PEDUZZI, Luiz O. Q.. A relatividade einsteniana: uma abordagem conceitual e epistemológica. UFSC, Florianópolis, 2009.

PEREIRA, Denis Rafael de Oliveira, AGUIAR, Oderli. Ensino de física no nível médio: tópicos de física moderna e experimentação. **Revista Ponto de Vista**, v. 3, [2002?].

PEREIRA, Julien Lopes. **Controvérsia entre o modelo corpuscular e ondulatório da luz**: um caminho para o Ensino da Óptica no Nível Médio. 2011. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, Rio de Janeiro, 2011.

PÉREZ, Daniel Gil et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

PINHEIRO, N. A. M. et al. Ciência, Tecnologia e Sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do Ensino Médio. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 1, p. 71-84, 2007.

PIRES, Marcelo Antonio; VEIT, Eliane Angela. Tecnologias de Informação e Comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de Física no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 28, n. 2, p. 241-248, 2006.

RIBEIRO JUNIOR, Luiz A.; CUNHA, Marcelo F.; LARANJEIRAS, Cássio C.. Simulação de experimentos históricos no ensino de física: uma abordagem computacional das dimensões histórica e empírica da ciência na sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 34, n. 4, p. 4602.1-4602.10, 2012.

ROCHA, José Fernando M. (Org), et al. **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2011.

ROSA, Carlos Augusto de Proença. **História da ciência** : a ciência moderna. 2. ed. Brasília: FUNAG, 2012.

SANCHES, Mônica Bordim. **A física moderna e contemporânea no ensino médio**: Qual sua presença em sala de aula? 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática. Maringá, 2006.

SANTOS, A. C. F.; NUNES, L. N. Utilizando analogias para a visualização de equipotenciais com uma planilha de dados. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 35, n. 2, p. 2401.1-2401.9, 2013.

SANTOS, Cintia Aparecida Bento dos; CURI, Edda. A formação dos professores que ensinam física no ensino médio. **Ciência & Educação (Bauru)** [online], v. 18, n. 4, p. 837-849, 2012.

SANTOS, João Ricardo Viola dos; DALTO, Jader Otavio. Sobre análise de conteúdo, análise textual discursiva e análise narrativa: investigando produções escritas em Matemática. In: V SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA 2, 2012, Rio de Janeiro, **Anais do V SIPEM**, Rio de Janeiro, 2012.

SAUERWEIN, Inés Prieto Schmidt; DELIZOICOV, Demétrio. Formação continuada de professores de física do ensino médio: concepções de formadores. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 25, n. 3, p. 439-477, 2008.

SILVA, Cibelle Celestino; MOURA, Breno Arsioli. A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 30, n. 1, p. 1602.1-1602.10, 2008.

SOUZA, Paulo Fernando Lima, et al. Pensamento transdisciplinar: uma abordagem para compreensão do princípio da dualidade da luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 32, n. 2, p. 2402.1-2402.10, 2010.

TERRAZAN, Eduardo A. A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º Grau. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.

TERRAZAN, Eduardo. A., SILVA, Andréia A. da, ZAMBON, Luciana. B. Ensino de Física Centrado na Resolução de Problemas: Uma Proposta Baseada no uso de Recursos Diversos. In: XI EPEF ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA – EPEF, 2008, Curitiba. Promovido pela Sociedade Brasileira de Física, Curitiba: UFTPR, 2008.

TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. Física Moderna. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 478p.

URZETTA, Fabiana Cardoso, CUNHA, Ana Maria de Oliveira. Análise de uma proposta colaborativa de formação continuada de professores de ciências na perspectiva do desenvolvimento profissional docente. **Ciênc. Educ.**, Bauru, v. 19, n. 4, p. 841-858, 2013.

ZAMBON, Luciana B.; TERRAZAN, Eduardo A. **Buscando mudanças no uso de analogias em livros didáticos de Física**. [S. l.: s.n.], [2007?].

ZAMBON, Luciana Bagolin; TERRAZAN, Eduardo Adolfo. Analogias produzidas por alunos do ensino médio em aulas de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 35, n. 1, p. 1505.1-1505.9, 2013.