

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

**Programa de Pós-Graduação em
Ensino de Ciências - Mestrado Profissional**

**EFEITO FOTOELÉTRICO NO ENSINO FUNDAMENTAL:
UMA PROPOSTA À LUZ DA TEORIA DOS CAMPOS
CONCEITUAIS**

Lucas de Paulo Lameu

Itajubá, abril de 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

**Programa de Pós-Graduação em
Ensino de Ciências - Mestrado Profissional**

Lucas de Paulo Lameu

**EFEITO FOTOELÉTRICO NO ENSINO FUNDAMENTAL:
UMA PROPOSTA À LUZ DA TEORIA DOS CAMPOS
CONCEITUAIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências – Mestrado Profissional.

Área de Concentração: Ensino de Ciências

Orientador: Prof. Dr. Mikael Frank Rezende Junior.

Abril de 2014

Itajubá

*A Deus, o meu amigo fiel de todas as horas. Ao meu pai
Luiz Roberto Lameu e à minha mãe Dulcinea da Silva
Lameu que sempre me incentivaram a estudar.
Dedico a eles esta conquista.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, a Jesus Cristo e ao Espírito Santo que sempre estiveram comigo em todos os momentos da minha vida, minha razão de viver.

À minha família, a qual amo muito, pelo carinho e apoio dedicados desde quando ainda era uma criança.

Aos meus irmãos: Jonas, Marcos, Natanael, Elizeu, Ester e Oseias, por todo apoio dado ao longo de toda a minha vida.

À Cláudia, minha amada companheira nesta jornada, pela força e compreensão a mim destinadas em todos os momentos.

Ao professor Mikael Frank Rezende Junior pela compreensão, apoio e incentivo que me foram essenciais ao longo destes dois anos e por ser um exemplo de professor.

Aos professores Lúcio Campos Filho e Newton de Figueiredo Filho por estarem presentes na banca de minha defesa e pelas contribuições dadas ao meu trabalho.

Aos meus amados irmãos do Ministério Apostólico da Restauração de Itajubá e da Célula Jerusalém, em especial aos pastores Everton e Elaine, aos apóstolos Ribeiro e Rita e aos irmãos Perlla e Paulo, pelo apoio, aconselhamento e carinho dispensados.

Aos professores Rita Stano, Agenor Pina, Cristiane Muenchen, Luciano Silva, Márcia Luz e Alessandra Rodrigues que estiverem presentes de forma marcante em várias etapas da minha vida acadêmica.

Aos professores do Mestrado Profissional de Ensino de Ciências, pelos ensinamentos e contribuições em minha pesquisa.

Aos colegas do mestrado: Alex, Ana Carolina, Flávia, Graça, Emerson, Jacy, Rafael, Roseane e Waldemir, pela amizade, apoio e valiosas discussões no correr das aulas do mestrado e dos intervalos.

À Escola Estadual Nossa Senhora de Lourdes, à Escola Estadual Silvério Sanches e à Escola Estadual Casimiro Osório, pela permissão dada para que seus alunos participassem da pesquisa e pelo apoio dado ao longo da pesquisa.

A Capes/Reuni, pelo auxílio financeiro concedido.

Aos meus amados alunos e colegas professores, pelos quais faço da minha profissão de professor uma dádiva e a todos que não estão aqui relacionados, mas que fizeram parte da realização deste trabalho.

Obrigado a todos.

“Por que Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas. A Ele a glória para sempre. Amém!”

Romanos 11:36

“Se cheguei até aqui é porque me apoiei no ombro de gigantes!”

Isaac Newton

RESUMO

Este trabalho descreve uma proposta de elaboração, aplicação e análise de um Módulo Didático que aborda o tema Efeito Fotoelétrico. O público alvo escolhido para aplicação é formado por alunos do último ano do Ensino Fundamental, já que há poucos trabalhos na área de Ensino de Física que se preocupam com a introdução da Física Moderna nesta etapa da Educação Básica. O Módulo Didático é constituído por três aulas, que foram embasadas metodologicamente nos Três Momentos Pedagógicos. A escolha do Efeito Fotoelétrico advém da Teoria dos Campos Conceituais, vista como instrumento que pode auxiliar no planejamento e na análise de atividades de intervenções didáticas. Nesta perspectiva, são criadas Situações dentro do Módulo Didático, no sentido de tarefas a serem realizadas, de onde serão investigados quais são os Conceitos-em-ação e os Teoremas-em-ação referentes ao tema Efeito Fotoelétrico elencados pelos alunos e como tais Invariantes operatórios se aproximam de conceitos e teoremas científicos. A organização dos dados é apoiada pela Análise de Conteúdo.

Palavras-chave: Efeito Fotoelétrico, Ensino Fundamental, Teoria dos Campos Conceituais, Três Momentos Pedagógicos.

ABSTRACT

This paper describes a proposal for development, implementation and analysis of a teaching module focusing on the Photoelectric Effect theme. The public chosen for implementation was the last year of Elementary School, because there is few papers in the area of Physics Teaching that focus on the introduction of Modern Physics in this teaching stage. The teaching module consists of three classes, which were based methodologically on the Three Pedagogical Moments. The choice of the Photoelectric Effect comes from the Conceptual Fields Theory, seen as a tool that can assist in the planning and analysis of educational interventions activities. In this perspective, situations are created within the Didactic Module, to tasks to be performed, where we will investigate what are the Concepts-in-action and Theorems-in-action on the topic Photoelectric Effect are listed by the students and how such Operational Invariants approach scientific concepts and theorems. The organization of data is supported by Content Analysis.

Keyword: Photoelectric Effect, Elementary School, Conceptual Fields Theory, Three Pedagogical Moments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplo de um aparato experimental para o Efeito Fotoelétrico	36
Figura 2. Funcionamento do sistema de iluminação pública baseado no dispositivo LDR.....	39
Figura 3. Trabalhos com enfoque no Efeito Fotoelétrico distribuídos por ano	48
Figura 4. Público alvo dos trabalhos.....	48
Figura 5. Conexões com o Efeito Fotoelétrico.....	65
Figura 6. Recorte no Campo Conceitual Dualidade Onda-partícula.....	66
Figura 7. Inter-relações entre os Conceitos do Campo Conceitual Dualidade Onda-partícula.....	67
Figura 8. Aparato experimental do Efeito Fotoelétrico.....	77
Figura 9. Imagem modificada do aparato experimental do Efeito Fotoelétrico.....	77
Figura 10. Circuito montado do experimento “Ouça seu controle remoto!”.....	79
Figura 11. Esquema do circuito do experimento.....	79
Figura 12. Concepções iniciais dadas à luz.....	92
Figura 13. Concepções iniciais dadas ao funcionamento dos postes.....	93
Figura 14. Definições da luz distribuídas na categoria AP.....	98

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Exemplos de tópicos que podem ser trabalhados nas séries iniciais do Ensino Fundamental.....	26
Quadro 2. Exemplos de temas dos PCNs que podem ser trabalhados nas séries finais do Ensino Fundamental.....	27
Quadro 3. Eixos temáticos e temas dos CBCs de Ciências.....	30
Quadro 4. Exemplos de tópicos referentes aos temas dos CBCs de Ciências.....	31
Quadro 5. Tópicos de Física Moderna presentes nos PCNs.....	34
Quadro 6. Apresentação dos trabalhos de pós-graduação.....	44
Quadro 7. Divisão dos trabalhos por categoria.....	49
Quadro 8. Escolas que participaram da pesquisa.....	71
Quadro 9. Plano de aulas do Módulo Didático.....	75
Quadro 10. Questionário inicial da Atividade I do módulo piloto.....	76
Quadro 11. Apresentação das atividades com seus objetivos.....	82
Quadro 12. Unidades de análise e de contexto da Atividade I.....	88
Quadro 13. Unidades de análise e de contexto da Atividade II.....	89
Quadro 14. Criação das categorias.....	90
Quadro 15. Concepções iniciais dadas à definição da luz – categoria AP.....	91
Quadro 16. Concepções iniciais dadas à definição da luz – categoria NA.....	92
Quadro 17. Concepções iniciais dadas ao funcionamento dos postes – categoria AU.....	94
Quadro 18. Concepções iniciais dadas ao funcionamento dos postes – categoria SE.....	94
Quadro 19. Exemplos de respostas trazidas na categoria AP.....	95
Quadro 20. Exemplos de respostas dadas na categoria NA.....	95
Quadro 21. Exemplos de respostas da categoria IN.....	96
Quadro 22. Exemplos de respostas da categoria NC.....	96

Quadro 23. Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação elencados para a definição da luz – categoria AP.....	97
Quadro 24. Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação elencados para a definição da luz – categoria NA.....	99
Quadro 25. Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação que retratam a interação da radiação com a matéria – Categoria IN.....	100
Quadro 26. Teoremas-em-ação que retratam a interação com a matéria – categoria NC.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Função trabalho de alguns materiais.....78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LDB – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional

PCNs – Parâmetros Curriculares Nacionais

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

EF – Ensino Fundamental

CBCs – Conteúdos Básicos Comuns

FM – Física Moderna

FMC – Física Moderna e Contemporânea

EM – Ensino Médio

EFO – Efeito Fotoelétrico

LDR – Light Dependent Resistor (Resistência Dependente da Luz)

TCC – Teorias dos Campos Conceituais

CC – Campo Conceitual

DOP – Dualidade Onda-partícula

MD – Módulo Didático

MP – Momentos Pedagógicos

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
CAPÍTULO 1 – A FÍSICA MODERNA E O EFEITO FOTOELÉTRICO	20
1.1 Introdução	20
1.2 Justificativas para introdução da Física Moderna no Ensino Fundamental.....	20
1.3 A Física Moderna no Currículo de Ciências	24
1.3.1 Os Parâmetros Curriculares Nacionais de Ciências	24
1.3.2 Os Conteúdos Básicos Comuns de Ciências	29
1.3.3 Proposta de tópicos de Física Moderna para o Ensino Fundamental	33
1.4 O Efeito Fotoelétrico	35
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	43
2.1. Apresentação dos trabalhos publicados.....	43
2.2 Um perfil das dissertações	48
CAPÍTULO 3 - REFERENCIAL TEÓRICO	53
3.1 Introdução.....	53
3.2 A Teoria dos Campos Conceituais	55
3.2.1 Campos Conceituais	56
3.2.2 Conceitos	57
3.2.3 Esquemas	58
3.2.4 Situação	58
3.2.5 Invariantes operatórios	60
3.3 A Física como um Campo Conceitual.....	61
3.3.1 Introdução.....	61
3.3.2 A Dualidade Onda-partícula como um Campo Conceitual.....	63
3.3.3 O Efeito Fotoelétrico no Campo Conceitual Dualidade Onda-partícula.....	64
3.3.4 Recorte no Campo Conceitual Dualidade Onda-partícula	66
3.3.5 Inter-relações entre o Efeito Fotoelétrico e outros aspectos envolvidos no Campo Conceitual Dualidade Onda-partícula	67

CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA: ELABORAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE PESQUISA E ANÁLISE DOS DADOS	70
4.1 Introdução	70
4.2 Contexto de aplicação da pesquisa	71
4.3 Referencial metodológico de construção do Módulo Didático	73
4.3.1 Construção do Módulo Didático de um tópico de Física Moderna	74
4.3.2 Situações elaboradas no Módulo Didático	81
4.3.2.1 A atividade experimental como uma Situação	83
4.3.2.2 Apresentação da Atividade II	84
4.4 Análise e resultados	86
4.4.1 Introdução	86
4.4.2 Apresentação dos dados.....	87
4.4.3 Análise dos dados e resultados	96
CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
REFERÊNCIAS	109
ANEXOS	115
ANEXO A – Módulo Didático adaptado após as aulas pilotos.....	115
ANEXO B – Módulo Didático piloto.....	124
ANEXO C – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	132
ANEXO D – Atividade I aplicada aos alunos	134
ANEXO E – Atividade II aplicada aos alunos	135
ANEXO F – Texto Didático I entregue aos alunos	136
ANEXO G – Texto Didático II entregue aos alunos	137
ANEXO H – Atividade I piloto entregue aos alunos	140
ANEXO I – Texto Didático I piloto entregue aos alunos	141
ANEXO J – Atividade II piloto entregue aos alunos	143

INTRODUÇÃO

Os fenômenos físicos estão presentes no ato de cair uma caneta da carteira, num carro que se movimenta ao longo de uma estrada, no movimento da Lua em torno da Terra, na produção de energia elétrica, num lançamento de um foguete, no acender e apagar das luzes de um poste, na formação de um arco-íris etc. Eles também estão associados ao grande avanço tecnológico das áreas da Física Médica, da Nanotecnologia, da Astronomia, da Engenharia dentre outras.

A ciência e a tecnologia, ao longo das últimas décadas, entre o final do século XX e começo do século XXI, têm avançado de forma acelerada. Ao mesmo tempo, tem aparecido também uma nova geração que se apresenta desde a criança de dois anos que aprende a utilizar aparelhos eletrônicos, como por exemplo, um *tablet*, até o adolescente que utiliza mídias sociais virtuais, aplicativos e programas diversos em seus dispositivos eletrônicos portáteis, como o celular e computadores da última geração.

Diante dessa realidade, surgem alunos que se deparam com assuntos que retratam novas conquistas científicas, apresentados pelos diversos meios de comunicação. Eles ouvem falar do bóson de Higgs, do Big-Bang, dos supercomputadores, do Maglev, das usinas nucleares, da interação da radiação com a matéria etc. Para a compreensão destes tópicos é necessário tomar por base teórica a Física desenvolvida a partir do final do século XIX até os dias atuais, que normalmente, é denominada Física Moderna e Contemporânea nas pesquisas em Ensino de Física.

A Física é uma disciplina específica somente no Ensino Médio, pois nos anos iniciais, do primeiro ao quinto ano, e nos anos finais, do sexto ao nono ano, do Ensino Fundamental, esta se encontra inserida nos conteúdos da disciplina de Ciências, na qual se estuda também, além dela, tópicos de Química e Biologia.

Qual seria, então, o papel da Física nesta etapa do ensino? Primeiro vamos compreender o objetivo do Ensino Fundamental apresentado pelo artigo 32 da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (1996):

O ensino fundamental, com duração mínima de oito anos, obrigatório e gratuito na escola pública, terá por objetivo a formação básica do cidadão, mediante:

- I - o desenvolvimento da capacidade de aprender, tendo como meios básicos o pleno domínio da leitura, da escrita e do cálculo;
- II - a compreensão do ambiente natural e social, do sistema político, da tecnologia, das artes e dos valores em que se fundamenta a sociedade;

- III - o desenvolvimento da capacidade de aprendizagem, tendo em vista a aquisição de conhecimentos e habilidades e a formação de atitudes e valores;
- IV - o fortalecimento dos vínculos de família, dos laços de solidariedade humana e de tolerância recíproca em que se assenta a vida social. (LDB, 1996, Art. 32)

Destacamos do inciso II do artigo 32 da LDB (1996) que o Ensino Fundamental deverá formar o cidadão para que possa compreender o ambiente natural onde está presente a sociedade e a tecnologia desenvolvida por ela. Já o inciso I, destaca que o aluno deve aprender tendo como domínio básico o cálculo, além da leitura e da escrita.

O papel da Física se enquadra nas perspectivas anteriores, uma vez que ela se incumba de explicar os fenômenos naturais e está inserida dentro do avanço tecnológico. Ela contribui também no processo e uso do cálculo. De uma forma mais específica, isto pode ser feito através dos tópicos de Física passíveis de serem ensinados no currículo de Ciências do Ensino Fundamental.

O currículo em geral tem uma definição ampla assim como apresenta Sacristán (2000), pois para ele, o currículo é definido a partir de cinco âmbitos formalmente diferenciados:

- Sua função social é ser uma ponte entre a sociedade e a escola;
- É um projeto ou plano educativo, pretensão ou real, com diferentes aspectos, conteúdos etc.;
- É a expressão formal e material desse projeto que deve apresentar, a partir de determinado formato, seus conteúdos, orientações dentre outros;
- É um campo prático;
- E ainda um tipo de atividade discursiva acadêmica e pesquisadora sobre todos estes temas.

Desta forma, o currículo pode estabelecer uma ponte entre as finalidades do Ensino Fundamental e o seu cumprimento na escola, através de diretrizes bem esclarecidas.

Um exemplo de projeto educativo criado no Brasil são os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs). Eles trazem uma base curricular nacional para as diversas disciplinas do Ensino Fundamental e do Ensino Médio: Física, Química, Matemática, Biologia, Geografia etc. Os PCNs foram construídos de acordo com o que foi estipulado pelo artigo 26 da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (1996):

Os currículos do ensino fundamental e médio devem ter uma base nacional comum, a ser complementada, em cada sistema de ensino e estabelecimento escolar, por uma parte diversificada, exigida pelas características regionais e locais da sociedade, da cultura, da economia e da clientela. (LDB, 1996, Art. 26)

Para esta proposta, as Ciências Naturais devem se organizar de tal forma que, ao final do Ensino Fundamental, os alunos possam desenvolver as seguintes capacidades, de acordo com os PCNs (1998):

- Compreender a natureza como um todo dinâmico e o ser humano, em sociedade, como agente de transformações do mundo em que vive em relação essencial com os demais seres vivos e outros componentes do ambiente;
- Compreender a Ciência como um processo de produção de conhecimento e uma atividade humana, histórica, associada a aspectos de ordem social, econômica, política e cultural;
- Identificar relações entre conhecimento científico, produção de tecnologia e condições de vida, no mundo de hoje e em sua evolução histórica, e compreender a tecnologia como meio para suprir necessidades humanas, sabendo elaborar juízo sobre riscos e benefícios das práticas científico-tecnológicas;
- Compreender a saúde pessoal, social e ambiental como bens individuais e coletivos que devem ser promovidos pela ação de diferentes agentes;
- Formular questões, diagnosticar e propor soluções para problemas reais a partir de elementos das Ciências Naturais, colocando em prática conceitos, procedimentos e atitudes desenvolvidos no aprendizado escolar;
- Saber utilizar conceitos científicos básicos, associados a energia, matéria, transformação, espaço, tempo, sistema, equilíbrio e vida;
- Saber combinar leituras, observações, experimentações e registros para coleta, comparação entre explicações organização, comunicação e discussão de fatos e informações;
- Valorizar o trabalho em grupo, sendo capaz de ação crítica e cooperativa para a construção coletiva do conhecimento. (PCNs, 1998, p. 33)

Das capacidades que se espera do aluno que sai do Ensino Fundamental, há pontos importantes que se relacionam com o papel o qual a Física pode desempenhar: como no caso da compreensão da natureza como um todo dinâmico, na compreensão da Ciência como um empreendimento humano, na identificação das relações entre ciência e tecnologia, utilização de conceitos científicos básicos associados à energia, matéria, espaço, tempo entre outros aspectos.

Nesse contexto, destacamos que, para se ensinar a Física no Ensino Fundamental é necessário promover uma discussão de quais tópicos são passíveis de ser incluídos nessa etapa da Educação Básica. Isto pode ser feito a partir do que já está sendo proposto através dos PCNs de Ciências, uma vez que a base curricular das escolas é guiada por estes parâmetros.

Diante de um cenário de muitos questionamentos, seria possível a introdução de tópicos de Física Moderna no Ensino Fundamental? Quais tópicos poderiam ser inseridos e ensinados? Quais seriam as dificuldades ao introduzi-los? Quais seriam as facilidades ao inseri-los? Há diversas respostas para cada uma destas perguntas.

Se os alunos do Ensino Fundamental ouvem falar, por exemplo, da interação da radiação com a matéria, seria possível ensinar esse fenômeno para eles? Na Física, esse

fenômeno está presente, por exemplo, no Efeito Fotoelétrico, no qual uma luz incidida sobre uma placa de metal ou semimetal ejeta elétrons gerando uma corrente elétrica. Esse fenômeno, devido ao seu grande desenvolvimento tecnológico, está presente no funcionamento do sistema de iluminação pública, nas câmeras de celulares, nas portas automáticas de prédios, nas esteiras de supermercados, nos visores noturnos sensíveis a radiação infravermelha, dentre outros.

Cada um desses fenômenos apresenta a interação da radiação com a matéria, uma natureza fenomenológica presente em outras situações tais como: usos de raios-x em exames diagnósticos, radioterapia em tratamentos de câncer, exposição do homem à radiação de usinas nucleares: tal como ocorreu no desastre na usina nuclear de Chernobyl na Ucrânia, vasta aplicação do laser na medicina e na odontologia, no processo da fotossíntese desenvolvido pelas plantas etc.

Pensar numa introdução do estudo do Efeito Fotoelétrico no Ensino Fundamental da mesma forma que é feito no Ensino Médio poderia apresentar várias dificuldades. Mas se optarmos por uma base fenomenológica do Efeito Fotoelétrico, que é a mesma da fotossíntese, já que a luz interage com a clorofila e outros pigmentos, vemos a possibilidade de se introduzir este fenômeno. Outro ponto relevante é que os conteúdos sobre a Fotossíntese estão presentes desde os anos iniciais até os anos finais do Ensino Fundamental nos PCNs, logo traduzimos isso como um fenômeno que retrata a interação da radiação com a matéria que está sendo ensinada desde os anos iniciais na disciplina de Ciências.

Como introduzir o Efeito Fotoelétrico no Ensino Fundamental diante de sua vasta aplicação tecnológica que envolve a interação da radiação com a matéria? O que desse tópico pode ser ensinado devido à sua abrangência de conceitos? Como avaliar a aprendizagem dos alunos? Eles realmente aprenderam o que foi proposto a ser ensinado? Nossa pesquisa foi guiada por tais questões.

Assim, este trabalho está dividido em quatro capítulos. O Capítulo I apresenta-se justificativas para a introdução da Física Moderna no Ensino Fundamental. Após, apresenta o currículo do Ensino Fundamental de Ciências, através dos Parâmetros Curriculares Nacionais e dos Conteúdos Básicos Comuns, com o intuito de verificar quais seriam os conteúdos que podem ser inseridos nesta etapa do ensino. A partir dos mesmos, propomos alguns tópicos de Física Moderna passíveis de serem introduzidos no Ensino Fundamental, focando em um deles. Este tópico se refere ao Efeito Fotoelétrico que também é descrito sob diferentes aspectos: conceitual, experimental, tecnológico e aplicação tecnológica.

No Capítulo II é apresentada a revisão bibliográfica feita baseada na literatura, especificamente no banco de teses da CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - com o intuito de mostrar quantos trabalhos têm foco no Efeito Fotoelétrico e qual é o público contemplado nessas pesquisas, ou seja, se é Ensino Técnico, Fundamental, Médio ou Superior.

O Capítulo III apresenta o referencial teórico da pesquisa: a Teoria dos Campos Conceituais. São apresentados os conceitos essenciais para a compreensão desta teoria, tais como: Campos Conceituais, Conceitos, Esquemas, Situações e Invariantes operatórios.

Este capítulo também retrata tal teoria como instrumento de planejamento e de análise das atividades de intervenção didática, com o intuito de situar o Efeito Fotoelétrico dentro de um Campo Conceitual específico: a Dualidade Onda-partícula. Além de trazer os possíveis focos que podem ser dados para neste Campo Conceitual.

O Capítulo IV apresenta o Módulo Didático por meio da dinâmica utilizada na sua preparação e da pesquisa: metodologia, estruturação, descrição e análise dos dados. Para isso são apresentados os Três Momentos Pedagógicos ao longo de toda a descrição das três aulas do módulo, de onde saíram os dados da pesquisa. Estes foram organizados através da Análise de Conteúdo que inclui cinco etapas: preparação das informações, unitarização, categorização, descrição e interpretação, que é feita através da Teoria dos Campos Conceituais.

CAPÍTULO 1 – A FÍSICA MODERNA E O EFEITO FOTOELÉTRICO

Este capítulo apresenta as propostas curriculares trazidas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1998) e pelos Conteúdos Básicos Comuns (MINAS GERAIS, 2005) do Ensino Fundamental para a disciplina de Ciências com o intuito de discutir as possibilidades de se trabalhar tópicos de Física Moderna a partir destes documentos oficiais curriculares.

1.1 Introdução

O Ensino Fundamental (EF) é uma das etapas da Educação Básica, de acordo com o artigo 21 da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (1996). Atualmente ele se divide em nove anos, sendo os anos iniciais do 1º ao 5º e anos finais do 6º ao 9º.

Sobre o currículo de Ciências para esta etapa do ensino, temos os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCNs (BRASIL, 1998) e os Conteúdos Básicos Comuns - CBCs (MINAS GERAIS, 2005) que se enquadram dentro do significado de projeto ou plano educativo apresentando diferentes aspectos e conteúdos. Estas propostas curriculares trazem diretrizes que vão além de conteúdos a serem trabalhados em sala de aula.

Nesta perspectiva, procuramos discutir a introdução de tópicos de Física Moderna no EF, não como simples acréscimo de conteúdos, mas a partir das justificativas que iremos apresentar a seguir.

1.2 Justificativas para introdução da Física Moderna no Ensino Fundamental

Optamos ao longo deste trabalho por usar a nomenclatura Física Moderna (FM)¹ em vez de Física Moderna e Contemporânea (FMC), que será usada somente nesta seção para uma discussão inicial, sendo abandonada posteriormente.

Numa divisão histórica do desenvolvimento da Física, a Física Clássica engloba a Mecânica Newtoniana, a Termodinâmica e o desenvolvimento do Eletromagnetismo Clássico de Maxwell, que vai até o final do século XIX. A Física Moderna é estabelecida entre o final

¹ A escolha dessa nomenclatura advém do fato que em nosso trabalho focaremos na introdução do Efeito

do século XIX até a década de 40 do século XX; entende-se por Física Contemporânea como a física desenvolvida aproximadamente entre a década de 40 até os dias atuais (OSTERMANN, 1999).

A FMC engloba vários tópicos, tais como: Física de Partículas, Cosmologia, Dualidade Onda-partícula, Efeito Fotoelétrico, Átomo de Bohr, Radioatividade, Raio-X, Fissão e Fusão Nucleares, Partículas Elementares e Leis de Conservação, Laser, Isolantes, Semicondutores, Condutores e Supercondutores, bem como suas tecnologias.

Iniciamos a discussão da introdução da FM primeiramente para o Ensino Médio (EM) devido à vasta discussão que esta vertente apresenta no meio acadêmico, desdobrando depois para o EF.

No EM existe uma desatualização do currículo de Física. Oliveira *et al.* (2007) destacam esta desatualização:

A lacuna provocada por um currículo de física desatualizado resulta numa prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do aluno. Isso não permite que ele compreenda qual a necessidade de se estudar essa disciplina que, na maioria dos casos, se resume em aulas baseadas em fórmulas e equações matemáticas, excluindo o papel histórico, cultural e social que a física desempenha no mundo em que vive (OLIVEIRA, 2007, p. 447).

Diante desta situação curricular para o ensino de Física, verifica-se uma necessidade de atualização deste currículo para o EM que poderá ser feita, dentre outras propostas, através da inserção da FMC.

Esta discussão está presente em diversos trabalhos acadêmicos há pelo menos duas décadas, como é destacado no trabalho de revisão bibliográfica de Carvalho e Vannucchi (1996). Sobre a inserção da FMC, Ostermann e Moreira (2001) relataram existir, nacional e internacionalmente, uma tendência para atualização dos currículos de Física no EM.

De acordo com Silva e Almeida (2011), de forma cada vez mais consensual entre os pesquisadores do Ensino de Física, há uma pertinência de se ensinar FMC no EM. Estes autores ainda comentam que os estudos relacionados a esse assunto apresentam justificativas diversas.

Desta forma, algumas razões podem ser citadas para a introdução de tópicos de FMC: segundo Ostermann e Moreira (1998), a FMC pode despertar a curiosidade dos estudantes e estabelecer o contato dos alunos com as ideias revolucionárias que mudaram totalmente a Ciência do século XX. No mesmo intuito Paranhos (2008) comenta:

A inserção de conteúdos de física moderna e contemporânea (FMC) no ensino médio regular aparece como um dos objetivos das novas diretrizes para o ensino de física. Nelas, enfatiza-se a necessidade de aproximação do aluno com novas

tecnologias e na reflexão e compreensão atualizadas sobre fenômenos tais como a interação da radiação com a matéria. (PARANHOS *et al.*, 2008, p. 1)

Outros autores também justificam a inserção de FMC no EM: segundo Terrazzan (1992), a FMC tem conceitos físicos que permitem a compreensão de aparelhos e artefatos atuais e fenômenos cotidianos. Já, os autores, Ostermann e Cavalcanti (2001) enfatizam que a FMC pode instigar os jovens, através das expectativas para o futuro, em relação a algum experimento visto na televisão, ou sobre os próprios desafios a serem enfrentados pela física no futuro, demonstrando que a física é um empreendimento humano.

Também destacamos os trabalhos de Cavalcante e Tavolaro (2002), Rezende e Ostermann (2004), Cavalcante *et al.* (2005), Siqueira e Pietrocola (2010), Melhorato e Nicoli (2012), Silva e Assis (2012) e Nóbrega e Mackedanz (2013), que trazem experiências e recursos referentes a tópicos de FMC que podem ser usados em salas de aula, trazendo assim um estímulo para os professores à sua inserção, uma vez que estes são atores importantes neste processo.

Toda esta discussão que justifica a inserção da FM no EM pode ser levada ao EF, pois se a FM pode despertar a curiosidade dos estudantes e traz conceitos que permitem a compreensão de aparelhos e artefatos atuais e fenômenos cotidianos, por que ela não pode ser iniciada no EF? Há restrições sobre o ensino de FM no EF? Há a necessidade de uma abordagem puramente matemática? Ou pode ser feita uma abordagem fenomenológica? Advogamos aqui que da mesma forma que a FM é passível de ser introduzida no EM, ela pode ser inserida no EF, uma vez que, alunos desse nível de ensino:

- Necessitam de uma reforma curricular;
- Estão em contato com aparelhos e artefatos atuais que podem ser explicados pela FM;
- Ouvem falar sobre diversos fenômenos cotidianos que somente são explicados pela FM;
- Poderão ser instigados através do que o futuro pode apresentar no que se refere aos desafios propostos pela Física;
- Estão aptos a realizar alguns dos experimentos referentes a tópicos de FM etc.

A FM pode ser ensinada no EF e podemos reforçar esta discussão analisando o currículo da Física presente nesta etapa do ensino e, a partir dele, destacar quais tópicos de FM poderiam ser abordados nos PCNs e nos CBCs. Mas antes de fazer isso, vamos focar um pouco mais no uso de experimentos como ferramenta de introdução da FM no EF.

O ensino de Física no EF e no EM geralmente é pautado em aulas que não utilizam experimentos. O desuso dos mesmos advém de diversos motivos. Rosa *et al.* (2007) ao fazer entrevistas com professores das séries iniciais do EF, ao questionarem sobre a realização de atividades experimentais nas aulas de Física, obtiveram uma resposta direta que permitiu a identificação de uma metodologia tradicional voltadas às aulas expositivas e dialogadas. A maioria dos professores não realizava atividades experimentais, destacando como justificativa a falta de laboratório nas escolas, poucos conhecimentos específicos para organizar e elaborar atividades dessa natureza, etc.

Outras justificativas são trazidas por Pena e Ribeiro Filho (2009), que apresentam uma investigação, a partir da análise de relatos de experiências pedagógicas publicadas em periódicos nacionais da área de Ensino de Física, sobre as dificuldades apontadas por professores e pesquisadores para o uso de experimentos no ensino de Física. Como resultado, os maiores obstáculos são: a falta de pesquisa sobre o que os alunos realmente aprendem por meio de experimentos; o despreparo do professor em trabalhar com atividades experimentais; e condições de trabalho.

Apesar de todos os obstáculos apresentados anteriormente, destacamos pontos relevantes para o uso de experimentos nas aulas de Física. Por exemplo, Schroeder (2006) destaca que:

Por ser o mais básico dos ramos da Ciência, a Física apresenta um aspecto extremamente produtivo: pode-se propor atividades experimentais que permitam crianças menores de dez anos manipular diretamente os materiais usados e não se limitar a contemplar fenômenos. Atividades de Física permitem que as crianças ajam sobre os materiais utilizados, observem o resultado de suas ações e reflitam sobre suas expectativas iniciais, reforçando ou revendo suas opiniões e conclusões (SCHROEDER, 2006, p. 26).

Outra vertente que justifica o uso de experimentos é aquela que toma como base a perspectiva teórica da Psicologia Sócio-Cultural de Vigotski. Dentro desta visão, há autores que propõem a importância de atividades experimentais no ensino de Física, uma vez que elas não são só um meio de ensinar o conteúdo conceitual, mas também contribuem para o desenvolvimento do aluno, através da mediação docente. Nesta perspectiva, Boss *et al.* (2012) propõem experimentos de eletricidade e magnetismo para alunos do 5º ano. Eles analisam a importância educativa do ensino de conteúdos de Física nos anos iniciais do EF e destacam a importância de utilizar tais experimentos, além da explicação de conceitos científicos.

Há diversos trabalhos que dão ao professor subsídios para aplicação de atividades experimentais, tais como Oliveira *et al.* (2012), que propõem uma atividade experimental

sobre óptica; Ribeiro e Verdeaux (2012) que discutem o funcionamento do óculos 3D e Lenz e Florczak (2012) que retratam experimentos sobre conservação da energia mecânica.

Desta forma, apresentamos pontos relevantes para o uso de experimentos nas aulas de Física. Então, porque não utilizá-los para a introdução da FM no EF? Isto é possível. Há trabalhos que trazem propostas que podem ser aplicadas em sala de aula. Por exemplo, Schulz (2007) traz experimentos promovendo a nanociência de baixo custo, não somente na escola, mas também em casa. Já as autoras Silva e Assis (2012) trazem um experimento que propicia a introdução do Efeito Fotoelétrico em sala de aula.

Diante desse panorama, quais conteúdos podem ser trabalhados? Lembramos que nessa etapa, a Física está presente na disciplina que é chamada de Ciências, que engloba também a Biologia, a Química e outras áreas. Assim, dentro do currículo prescrito para o EF, especificamente dentro dos PCNs e dos CBCs, apresentaremos uma discussão sobre os conteúdos possíveis de serem ensinados no EF.

1.3 A Física Moderna no Currículo de Ciências

No EM, a Física se apresenta como um conteúdo específico no currículo prescrito. Já no EF, tanto do 1º ao 5º quanto do 6º ao 9º ano, a Física se apresenta em tópicos e áreas diversas dentro do conteúdo de Ciências, mas não de forma explícita.

Algumas propostas curriculares existem em nível nacional, tais como os PCNs, e em nível estadual, no caso de Minas Gerais², os CBCs. Vamos apresentar tais propostas para o conteúdo de Ciências e, partir daí, discutir as possibilidades de se introduzir tópicos de FM.

1.3.1 Os Parâmetros Curriculares Nacionais de Ciências

Os PCNs são uma proposta que incorpora como diretrizes gerais e orientadoras quatro premissas apontadas pela United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO): aprender a conhecer; aprender a fazer; aprender a viver; e aprender a ser.

Além da inclusão das premissas anteriores, a construção dos currículos do EF foi estipulada tomando como base o artigo 26 da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional:

Os currículos do ensino fundamental e médio devem ter uma base nacional comum, a ser complementada, em cada sistema de ensino e estabelecimento escolar, por uma parte diversificada, exigida pelas características regionais e locais da sociedade, da cultura, da economia e da clientela (LDB, 1996, Art. 26).

² Nossa pesquisa foi desenvolvida em escolas públicas de Minas Gerais.

Assim, resultou uma base curricular nacional organizada por áreas de conhecimento que respeita a diversidade apresentada pelo Brasil. Também é destacado pelos PCNs que esta divisão não elimina o ensino de conteúdos específicos, considerando que os mesmos devem fazer parte de um processo global.

Os PCNs foram elaborados para cada etapa do ensino, ou seja, há os PCNs para o primeiro e segundo ciclos (do 1º ao 5º anos)³ e para o terceiro e quarto ciclos (do 6º ao 9º anos)⁴ do EF e também para o EM.

Os PCNs para os anos iniciais do EF constituem o primeiro nível de concretização curricular e têm como função dar subsídios para a elaboração ou para a revisão curricular dos Estados e Municípios.

Os PCNs do 1º ao 5º ano estão divididos em 10 volumes:

Volume 1 — Introdução aos PCNs

Volume 2 — Língua Portuguesa

Volume 3 — Matemática

Volume 4 — Ciências Naturais

Volume 5.1 — História e Geografia

Volume 5.2 — História e Geografia

Volume 6 — Artes

Volume 7 — Educação Física

Volume 8.1 — Temas Transversais — Apresentação

Volume 8.2 — Temas Transversais — Ética

Volume 9.1 — Meio Ambiente

Volume 9.2 — Saúde

Volume 10.1 — Pluralidade Cultural

Volume 10.2 — Orientação Sexual

O papel das Ciências no EF é *o de colaborar para a compreensão do mundo e suas transformações, situando o homem como indivíduo participativo e parte integrante do Universo* (BRASIL, 1997, p. 15).

Para os anos iniciais e finais do EF, os conteúdos de Ciências são apresentados em Blocos Temáticos: Ambiente; Ser humano e saúde; Recursos tecnológicos; Terra e Universo.

³ Também chamado de anos iniciais do Ensino Fundamental.

⁴ Também chamado de anos finais do Ensino Fundamental.

Os três primeiros blocos são desenvolvidos ao longo dos diferentes ciclos do EF, já o bloco referente à Terra e Universo é abordado apenas a partir do terceiro ciclo. Dentro dos blocos temáticos, vejamos no Quadro 1, exemplos de tópicos apresentados pelos PCNs de Ciências das séries iniciais do EF:

Quadro 1. Exemplos de tópicos que podem ser trabalhados nas séries iniciais do Ensino Fundamental⁵

Bloco Temático	Exemplo de tópico
<i>Ambiente</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fontes e transformações de energia • Fotossíntese e respiração celular • Transformações de energia provocadas pelo homem • A relação geral entre plantas e luz solar (fotossíntese) • As relações entre animais e luz
<i>Ser humano e saúde</i>	<ul style="list-style-type: none"> • A concepção de corpo humano como um sistema integrado, que interage com o ambiente e reflete a história de vida do sujeito, orienta esta temática.
<i>Recursos tecnológicos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Este bloco temático enfoca as transformações dos recursos materiais e energéticos em produtos necessários à vida humana, aparelhos, máquinas, instrumentos e processos que possibilitam essas transformações e as implicações sociais do desenvolvimento e do uso de tecnologias.

Do quadro anterior temos exemplos de alguns tópicos que se pode trabalhar em Ciências nos primeiros ciclos do EF, mas não de uma forma sistematizada em conteúdos específicos de Física, Química ou outras áreas.

Os PCNs dos terceiro e quarto ciclos do EF se apresentam também em 10 volumes:

Volume 1 — Introdução aos PCNs

Volume 2 — Língua Portuguesa

Volume 3 — Matemática

Volume 4 — Ciências Naturais

Volume 5 — Geografia

Volume 6 — História

⁵ Os exemplos de tópicos apresentados no Quadro 1 foram retirados dos PCN - Ciências Naturais: Ensino de primeira à quarta séries. Não representa a totalidade de conteúdos a serem trabalhados nos Blocos Temáticos.

- Volume 7 — Artes
- Volume 8 — Educação Física
- Volume 9 — Língua Estrangeira
- Volume 10.1 — Temas Transversais — Apresentação
- Volume 10.2 — Temas Transversais — Ética
- Volume 10.3 — Temas Transversais — Pluralidade Cultural
- Volume 10.4 — Temas Transversais — Meio Ambiente
- Volume 10.5 — Temas Transversais — Saúde
- Volume 10.6 — Temas Transversais — Orientação Sexual
- Volume 10.7 — Temas Transversais — Trabalho e Consumo
- Volume 10.8 — Temas Transversais — Bibliografia

No volume de Ciências Naturais se encontram os possíveis tópicos de Física que podem ser trabalhados no EF. Seus Blocos Temáticos, agora chamados de Eixos Temáticos, são os mesmos dos primeiros ciclos: Vida e Ambiente⁶; Ser Humano e Saúde; Tecnologia e Sociedade; Terra e Universo⁷.

O Quadro 2 traz alguns dos principais conteúdos que podem ser trabalhados em cada Eixo Temático:

Quadro 2: Exemplos de temas dos PCNs que podem ser trabalhados nas séries finais do EF⁸

Eixo Temático	Temas
<i>Vida e Ambiente</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ambientes diversos • Seres vivos • Cadeia alimentar • Origem da vida
<i>Ser Humano e Saúde</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo do corpo humano e das funções de cada sistema • Doenças • Sexualidade e doenças sexualmente transmissíveis

⁶ Nos primeiros ciclos este Eixo Temático corresponde ao Bloco Temático Ambiente.

⁷ Este Eixo Temático é apresentado nos PCN dos anos iniciais para ser introduzido somente no terceiro e quarto ciclos.

⁸ Os exemplos de temas apresentados no Quadro 2 foram retirados dos PCN - Ciências Naturais: Ensino de quinta a oitava séries. Não representa a totalidade de conteúdos a serem trabalhados nos Eixos Temáticos.

Eixo Temático	Temas
<i>Tecnologia e Sociedade</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Máquinas diversas • Equipamentos eletrônicos e digitais • Eletricidade • Produção de Energia
<i>Terra e Universo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Concepção do Universo com enfoque no Sistema Terra-Sol-Lua: dia e noite • Movimento de rotação e translação da Terra • Modelo geocêntrico e heliocêntrico • Pontos cardeais • Relógio solar • Fases da Lua • Constelações • Sistema Solar • Origem do Universo

Do quadro anterior, não existem conteúdos explícitos de Física a serem trabalhados nos anos finais do EF assim como os PCNs das séries iniciais não apresentaram. Tais conteúdos se apresentam de forma implícita.

Embora nosso trabalho não tenha como mote central os questionamentos sobre a visão de ciência trazida pelos PCNs, ressaltamos, a seguir, um exemplo de problemas que esse tipo de documento pode trazer.

Sobre os PCNs para o Ensino Fundamental, na área de Ciências Naturais, Pino *et al.* (2005) analisam as concepções epistemológicas veiculadas por estes documentos. Eles comentam e mostram a falta de comprometimento dos mesmos, em tomar uma posição frente aos referenciais teóricos para a epistemologia e para a filosofia da Ciência. Tais autores comentam que:

Não há dúvida de que os PCNs defendem claramente uma visão construtivista para o conhecimento. No entanto, na medida em que analisamos os Parâmetros, nos parece cada vez mais distante as possibilidades de se obter o resultado esperado, ou seja, o que se observa, pelas transcrições aqui discutidas, é que implicitamente os PCNs acabam, inadvertidamente, sugerindo a ciência como se fosse uma receita que seguida passo a passo atinge sempre um resultado positivo (PINO *et al.*, 2005, p. 12).

Eles ainda reforçam que os PCNs acabam por apresentar aos professores uma visão ingênua sobre as ciências, o que culmina em uma ênfase na visão empirista-indutivista.

Algumas críticas apontadas para essa proposta curricular podem ser observadas no trabalho de Ricardo (2003), que comenta haver uma distância entre o que está proposto nesses

documentos e o cotidiano escolar, já que tal superação tem se mostrado difícil. Algumas dificuldades destacadas por esse autor são: problemas com a formação inicial e continuada dos professores; estrutura verticalizada dos sistemas de ensino; incompreensão dos fundamentos dos PCNs; dentre outros. Já nas discussões de Ricardo e Zylbersztajn (2007) surgiram diversas reações da comunidade acadêmica em relação a esses documentos,

[...] indo desde a contestação política, principalmente ao se considerar o cenário sócio-políticoeconômico em que tais propostas foram elaboradas, passando por críticas a aspectos pontuais e localizadas em questões específicas, até a sua aceitação como sendo um caminho possível para a construção de uma educação mais próxima das necessidades e expectativas do crescente número de jovens que ingressam no ensino médio (RICARDO e ZYLBERZTAJN, 2007, p. 239 e 240).

Esses autores abordam ainda que os PCNs foram pouco discutidos nas escolas, levando a uma compreensão bem vaga pelos professores. Soma-se a isso, a falta de políticas educacionais que viabilizam tais discussões acompanhadas da formação continuada e de ações mais efetivas para modificar a estrutura escolar.

Assim percebemos algumas limitações que esses documentos podem apresentar em alguns aspectos. Isso nos leva à compreensão de que tais documentos são somente uma proposta curricular de temas diversos que podem ser inseridos na Educação Básica, nas variadas disciplinas que incluem as Ciências Naturais.

1.3.2 Os Conteúdos Básicos Comuns de Ciências

Os Conteúdos Básicos Comuns (CBCs) são uma proposta curricular elaborada pela Secretaria de Educação do Estado de Minas Gerais (SEE-MG) em 2005. Ela representa uma proposta curricular para o ensino de diversas disciplinas nas escolas públicas de Ensino Médio e Ensino Fundamental.

Esses documentos se encontram digitalizados em um suporte na *internet*: a página do Centro de Referência Virtual do Professor (CRV)⁹ na qual o professor pode encontrar sempre a versão mais atualizada dos CBCs, além de orientações didáticas, sugestões de planejamento de aulas, roteiro de atividades e fórum de discussões, dentre outras ferramentas que contribuem para o ensino das diversas disciplinas tais como: Arte, Ciências, Educação Física, Geografia, História, Língua Estrangeira, Língua Portuguesa e Matemática.

Os CBCs e os PCNs do EF e do EM apresentam objetivos comuns. Caum e Galieta (2012) apresentam uma dessas relações existentes entre eles:

⁹ Disponível em: <http://crv.educacao.mg.gov.br>

Fortalecer a relação entre comunidade e escola e formar alunos bem preparados para atuar na sociedade também são outros dois objetivos que são propostos pelo CBC. Este último ponto vai ao encontro dos objetivos dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNEM e PCN+), onde se supõe que o EM prepare “o jovem para ser capaz de lidar com situações reais, crises de energia, problemas ambientais, aparelhos, concepções do universo [...]” (CAUM e GALIETA, 2012, p. 13)

Em relação aos CBCs de Ciências temos que:

[...] o ensino de ciências deve abordar princípios científicos mais gerais e, também, aplicações tecnológicas. Os conceitos e teorias científicas não têm valor em si mesmos como sistemas abstratos de pensamento, mas enquanto instrumentos que nos auxiliam a compreender o mundo em que vivemos de modo a orientar nossas ações em nível individual e social. (MINAS GERAIS, 2005, p. 13)

De acordo com essa visão, referente ao propósito de se ensinar Ciências, os CBCs propõem uma divisão em três grandes Eixos Temáticos, que por sua vez se dividem em temas:

- Primeiro Eixo Temático: Ambiente e Vida - sete temas;
- Segundo Eixo Temático: Corpo Humano e Saúde – três temas;
- Terceiro Eixo Temático: Construindo Modelos¹⁰ - quatro temas.

Alguns temas podem estar presentes em eixos diferentes, embora a divisão trazida pelos CBCs de Ciências não apresente temas repetidos na divisão dos Eixos Temáticos. O Quadro 3 apresenta esta divisão:

Quadro 3: Eixos temáticos e temas dos CBCs de Ciências

Eixo Temático	Tema
<i>Ambiente e Vida</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Diversidade da Vida nos Ambientes • Diversidade dos Materiais • Formação e Manejo dos Solos • Decomposição de Materiais • Qualidade da Água e Qualidade de Vida • Energia nos Ambientes • Evolução dos Seres Vivos
<i>Corpo Humano e Saúde</i>	<ul style="list-style-type: none"> • A Dinâmica do Corpo • Sexualidade • Interação do Corpo com Estímulos do Ambiente

¹⁰ O Eixo Temático “Construindo Modelos” dos CBCs engloba os Eixos Temáticos “Tecnologia e Sociedade” e “Terra e Universo” dos PCN.

Eixo Temático	Tema
<i>Construindo Modelos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • O mundo Muito Grande • O mundo Muito Pequeno • Mecanismos de Herança • Processos de Transferência de Energia

Cada um dos temas apresentados por sua vez se divide em tópicos. Vamos apresentá-los no Quadro 4:

Quadro 4. Exemplos de tópicos referentes aos temas dos CBCs de Ciências¹¹

Tema	Tópicos
<i>Diversidade da Vida nos Ambientes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • A vida nos ecossistemas brasileiros • Critério de classificação dos seres vivos
<i>Diversidade dos Materiais</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Materiais e suas propriedades • Reações químicas: ocorrência, identificação e representação
<i>Formação e Manejo dos Solos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Solo: formação, fertilidade e conservação
<i>Decomposição de Materiais</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ação de microrganismos na produção de alguns alimentos • Ação de microrganismos na ciclagem de materiais
<i>Mecanismos de Herança</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Características herdadas e as influências do ambiente
<i>Qualidade da Água e Qualidade de Vida</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade e qualidade de água • Doenças de veiculação hídrica
<i>Energia nos Ambientes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Transformação e transferência de energias • Obtenção de energia pelos seres vivos: fotossíntese, respiração e fermentação

¹¹ Os tópicos citados estão presentes nos CBCs de Ciências. Não foram acrescentados os Conteúdos Complementares. Tais conteúdos também são apresentados pelos CBCs. Eles se referem a sugestões de conteúdos que podem ser trabalhados no EF no conteúdo de Ciências, mas não são de caráter obrigatório assim como os tópicos dos CBCs o são.

Tema	Tópicos
<i>A Dinâmica do Corpo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas do corpo humano e suas integrações • Funções de nutrição do corpo humano • Doenças infecciosas e parasitárias
<i>Sexualidade</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Reprodução humana: características e ação hormonal • Métodos contraceptivos
<i>Interação do Corpo com Estímulos do Ambiente</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Drogas e sistema nervoso • Luz e visão
<i>O mundo Muito Grande</i>	<ul style="list-style-type: none"> • A Terra no espaço • Força e inércia
<i>O mundo Muito Pequeno</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo cinético molecular • O comportamento elétrico da matéria • Introdução ao conceito de átomo
<i>Processos de Transferência de Energia</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Produção de energia elétrica: custos ambientais e alternativas • Temperatura, calor e equilíbrio térmico

No Quadro 4, apresentamos todos os tópicos de Ciências que podem ser inseridos no EF pelos CBCs. A divisão dos tópicos por ano também é estabelecida por esta proposta curricular. Alguns tópicos devem ser trabalhados em apenas um ano, como o tópico “Modelo Cinético Molecular”, que deve ser inserido no 9º ano, outros podem ser incluídos em anos distintos, por exemplo, o tópico “A Terra no Espaço”, deve ser apresentado no 6º, 8º e 9º anos.

Em relação ao conteúdo de Física, percebemos que alguns tópicos explicitam a presença da Física, por exemplo, o tópico “Força e Inércia”. Em outros, sua presença, não fica tão clara.

1.3.3 Proposta de tópicos de Física Moderna para o Ensino Fundamental

A partir da visão panorâmica dos temas que são propostos pelos PCNs e CBCs para serem trabalhados na disciplina Ciências, advogamos a ideia de que é possível inserir tópicos de Física no EF dentro dos temas abrangentes apresentados por essas propostas curriculares. Isso decorre de forma implícita, já que um mesmo tema pode apresentar tópicos de Física, Química e Biologia.

A Física abrange grandes áreas do conhecimento, logo quando propomos a inserção da Física no EF, surge a questão de quais delas poderiam ser trabalhadas no EF? A Mecânica? A Óptica? A FM? As propostas dos PCNs e CBCs dão margens para estas indagações.

Nesse trabalho, apresentamos uma questão relevante: quais são os tópicos da FM que alguns dos temas propostos pelos PCNs e pelos CBCs poderiam apresentar? Dentro dessas propostas há tópicos que podem ser incluídos de forma explícita, porém, há outros que necessitam de uma análise um pouco mais minuciosa para que se verifique a presença implícita de tópicos de FM que poderiam ser trabalhados no EF.

Fazendo essa análise meticulosa dos temas apresentados por essas propostas curriculares, elencamos alguns tópicos de FM fazendo uma relação com o fenômeno que o circunda. Esclarecemos que esta análise e discussão apresentam um caráter apenas de sugestão de inclusão de tópicos de FM no EF, que se torna relevante diante de todo contexto deste trabalho. Logo, essa análise não utilizou nenhuma metodologia específica, porque não é este o foco de nosso trabalho.

A partir da análise dos temas dos PCNs e dos tópicos dos CBCs, elencamos alguns destes tópicos, como é mostrado nos Quadro 5:

Quadro 5. Tópicos Física Moderna presentes nos PCNs

Tema dos PCNs	Tópico dos CBCs	Tópicos da Física Moderna	Fenômeno
<i>Ambientes diversos; Seres Vivos; Cadeia alimentar.</i>	<i>Transformação e transferência de energias; obtenção de energia pelos seres vivos: fotossíntese, respiração e fermentação; luz e visão.</i>	<i>Dualidade Onda-partícula; Efeito Fotoelétrico.</i>	<i>Interação da radiação com a matéria</i>

Tema dos PCNs	Tópico dos CBCs	Tópicos da Física Moderna	Fenômeno
<i>Máquinas diversas; Equipamentos eletrônicos e digitais; Eletricidade; Produção de Energia.</i>	<i>Materiais e suas propriedades; Modelo cinético molecular; O comportamento elétrico da matéria; Introdução ao conceito de átomo; Produção de energia elétrica: custos ambientais e alternativas.</i>	<i>Átomo de Bohr; Física de Partículas; Radioatividade; Raio-X; Fissão e Fusão Nucleares; Laser; Semicondutores, Condutores e supercondutores.</i>	<i>Processos de transformação da energia</i>
<i>Concepção do Universo com enfoque no Sistema Terra-Sol-Lua; Sistema Solar; Origem do Universo.</i>	<i>A Terra no espaço.</i>	<i>Big-Bang; Cosmologia.</i>	<i>Origem do Universo</i>

Do Quadro 5, tanto os temas dos PCNs quanto os tópicos dos CBCs permitem que alguns conteúdos de FM possam ser introduzidos no EF. Por exemplo, a partir do tópico “A Terra no espaço” é possível falar sobre o Big-Bang, já que o surgimento do planeta Terra faz parte do processo de origem do Universo.

Portanto, a partir do currículo prescrito, há possibilidades de introdução de FM no EF, ou seja, os conteúdos estabelecidos tanto nos PCNs quanto nos CBCs permitem que isto seja feito. Introduzir tópicos de FM no EF não é uma tarefa tão fácil assim. Outro exemplo seria o tema “Ambientes diversos” que pode comportar o tópico Efeito Fotoelétrico. Quando pensamos nessa possibilidade, parece que não é muito viável fazermos isso, porque este fenômeno apresenta um nível de complexidade até mesmo para alunos do EM, uma vez que necessita da compreensão de conceitos diversos da Física Clássica.

Inserir tópicos de FM no EF não é se preocupar propriamente com o tópico específico a ser ensinado, no que se refere a todos os conceitos necessários, as fórmulas matemáticas, etc. Isso pode ser feito focando a natureza fenomenológica dos tópicos a serem introduzidos.

No EF, não há uma disciplina específica de Física e, muito menos, quantidades de aulas suficientes de Ciências para que sejam ensinados todos os tópicos de tal disciplina. Esse não é o objetivo das propostas curriculares PCNs e CBCs e nem da importância de ensinar Ciências Naturais no EF.

Por exemplo, de acordo com os CBCs de Ciências (MINAS GERAIS, 2005), esse ensino deve abordar princípios científicos mais gerais e aplicações tecnológicas. Logo, o

objetivo não é ensinar fórmulas de forma excessiva, nem apresentar uma carga horária elevada. Quando abordamos a visão fenomenológica de um tópico a ser inserido, como, por exemplo, o Efeito Fotoelétrico, cujo fenômeno por trás dele é a interação da radiação com a matéria, estamos contribuindo para os objetivos de se ensinar Ciências no EF.

Diante desse contexto, a proposta de nossa pesquisa é criar possibilidades de se inserir FM no EF, focando na importância de uma abordagem fenomenológica.

1.4 O Efeito Fotoelétrico

O Efeito Fotoelétrico (EFO) é o fenômeno em que uma descarga elétrica entre dois eletrodos dentro de uma ampola de vidro pode ser facilitada quando uma radiação luminosa com frequência específica incide no catodo, emitindo elétrons de sua superfície.

De acordo com Paranhos *et al.* (2008), esse fenômeno foi descoberto por Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894), nos anos de 1886 e 1887, ao verificar experimentalmente a existência de ondas eletromagnéticas, fornecendo, assim, a validade da teoria eletromagnética de James Clerk Maxwell (1831 – 1879). Cavalcante e Tavolaro (2002) destacam que Hertz percebeu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos, dentro de uma ampola de vidro, era facilitada pela incidência de radiação luminosa no eletrodo negativo, provocando a emissão de elétrons de sua superfície.

O físico chamado Wilhelm Hallwachs (1859 – 1922), é citado por Paranhos *et al.* (2008), como discípulo de Hertz e também como o responsável pela caracterização mais sistemática do EFO, que ao utilizar um eletroscópio, pode não só indicar importantes conclusões, como também revelar elementos intrigantes da natureza do fenômeno.

Eisberg e Resnick (1979) citam que Philipp Eduard Anton von Lenard (1862 – 1947), ao seguir alguns experimentos de Hallwachs, mostrou que a luz violeta facilitava a descarga ao fazer com que elétrons¹² fossem emitidos da superfície do catodo.

O EFO é um fenômeno que foi descoberto exclusivamente num aparato experimental. A Figura 1 representa um exemplo do aparato experimental para o EFO. Ele envolve duas placas, condutoras ou semicondutoras, encerradas num invólucro de vidro, no qual se faz vácuo. Tais placas podem ser feitas de sódio ou de metais como alumínio, por exemplo. Com uma diferença de potencial estabelecida entre as placas, ao se incidir uma radiação sobre o eletrodo negativo, esse pode emitir elétrons que serão coletados pelo eletrodo positivo, ocorrendo assim o EFO.

¹² O elétron foi descoberto por Thomson, somente em 1897, dez anos depois da observação de Hertz.

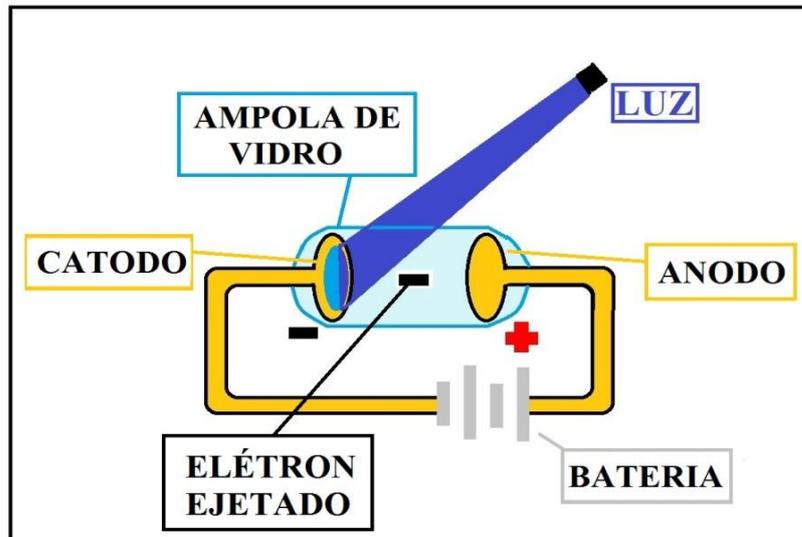


Figura 1. Exemplo de um aparato experimental para o Efeito Fotoelétrico

Os fotoelétrons podem ser todos coletados pela outra placa, quando o campo elétrico é a favor do movimento dos fotoelétrons e ainda quando o valor da diferença de potencial atinge um alto valor. Assim, a corrente fotoelétrica se estabiliza num determinado valor.

Quando o campo elétrico é oposto ao movimento dos fotoelétrons, ao inverter o sinal da diferença de potencial, somente alguns alcançarão a placa oposta. Se esse valor se torna grande, um potencial limite ou de freamento é atingido, e a corrente cai para zero. Multiplicando essa diferença de potencial pela carga do elétron, pode ser medida a energia cinética do mais rápido fotoelétron emitido que vai conseguir chegar à placa oposta.

Voltando para explicação do EFO, sabe-se que o mesmo dependerá da frequência da radiação eletromagnética incidida sobre a placa e de qual material ela é feita, uma vez que cada material terá uma energia mínima, a função trabalho necessária para que se emita um fotoelétron.

Atualmente, a hipótese do fóton é utilizada em todo o espectro eletromagnético, e não somente para a luz visível, que tem a frequência na ordem de grandeza de 10^{14} . Assim, por exemplo, a energia dos fótons de micro-ondas é muito pequena para ejetar fotoelétrons de superfícies metálicas. E até para as energias dos raios X podem ocorrer o EFO.

Havia três aspectos principais do EFO que não poderiam ser explicados em termos da Física Clássica e da teoria ondulatória da luz que tentava explicar que o aumento da intensidade da luz implicaria no aumento da amplitude da onda luminosa. Mas não era isso que ocorria, a intensidade luminosa aumentava a quantidade de elétrons arrancados.

O segundo ponto estipulado pela teoria ondulatória era que o EFO deveria acontecer para todas as frequências da luz, se houvesse intensidade suficiente para dar energia para

ejeção de elétrons. Na prática, só havia emissão dos fotoelétrons, para cada superfície, a partir de uma frequência mínima, denominada frequência de corte.

O último ponto que a teoria clássica não explicava era o fato de que se a luz fosse suficientemente fraca, teria que existir um intervalo de tempo mensurável, a partir do instante que a luz começa a incidir sobre a superfície até o momento de ejeção do fotoelétron. Assim, nesse intervalo, o elétron estaria absorvendo e acumulando energia até escapar. Entretanto nenhum intervalo detectável foi medido. E ainda, quando a radiação incidente tinha a frequência mínima para arrancar fotoelétrons, os mesmos eram arrancados no instante de incidência sobre a superfície.

Max Planck (1858–1947), em 1900, desenvolveu um modelo teórico, admitindo que a radiação eletromagnética era emitida e absorvida em pequenos pacotes de energia, denominados *quanta*.

Albert Einstein (1879–1955) propôs a quantização da luz, em 1905, ou seja, que a energia radiante é quantizada em pacotes concentrados, que posteriormente receberiam o nome de fótons¹³. Einstein concentrou-se na maneira corpuscular com que a luz é emitida e absorvida e não na maneira ondulatória familiar em que a luz se propaga. Somente em 1921, com esse trabalho, Einstein foi contemplado com o prêmio Nobel.

Assim, a hipótese de Einstein respondeu às três objeções levantadas pelo Efeito Fotoelétrico: com a intensidade da luz dobrada, o número de fótons também é dobrado, duplicando a corrente fotoelétrica; existe um limiar de frequência da luz que permite arrancar fotoelétrons. Assim, se a frequência for menor que a frequência de corte não existirá energia necessária para ejetar fotoelétrons, independente da sua intensidade; e haverá a emissão imediata do fotoelétron, quando pelo menos um fóton é absorvido por um átomo.

A explicação do EFO suscitou grandes polêmicas teóricas (CARUSO e OGURI, 2007), ou seja, esse fenômeno ocorre somente quando há a ejeção do elétron ou pode atribuir-se também como EFO, quando a luz promove a existência de elétrons livres em algum material, sem sua ejeção direta, sendo chamado no caso de EFO interno. Sendo aceitas as duas definições, esse fenômeno foi rapidamente utilizado pela indústria eletrônica, no desenvolvimento de uma série de componentes sensíveis à luz, os elementos fotossensíveis. Eles podem se basear em dois processos distintos: na emissão fotoelétrica e na quebra de ligações covalentes em semicondutores devido à ação dos fótons, que é chamado EFO interno.

¹³ Gilbert Lewis criou, em 1926, o nome fóton para designar um *quantum* de luz.

No processo de emissão fotoelétrica, o elétron é completamente ejetado do material. Para esse tipo de processo, podemos destacar a célula fotoelétrica a vácuo, que é uma válvula composta por um catodo fotossensível de grande área e por um anodo coletor na forma de um fio ou anel colocado à frente do fotocatodo. Válvulas fotomultiplicadoras, válvulas captadoras de imagens e células fotoelétricas também funcionam por meio de emissão fotoelétrica e podem ser usadas em circuitos que controlam automaticamente portas de entrada e saída, prensas, câmeras fotográficas e em aparelhos que reconstroem sons em películas cinematográficas.

No segundo processo, também conhecido como EFO interno, o movimento dos elétrons permanece confinado dentro do material. O EFO interno é o processo que permite o funcionamento de resistências fotoelétricas (LDR) ou de outros dispositivos que transformam a energia luminosa em elétrica: fotômetros (permitem avaliar a intensidade da iluminação a partir da corrente elétrica) ou pilhas solares utilizadas em foguetes espaciais ou em alguns tipos de calculadoras portáteis. Esses dispositivos são compostos por materiais semicondutores. A ação dos fótons incidentes nesses materiais causa a quebra de ligações covalentes, o que aumenta o número de elétrons livres na banda de condução do material, alterando, assim, a resistência do dispositivo e, conseqüentemente, a corrente no circuito.

Um exemplo de aplicação tecnológica que possui controvérsias em suas explicações no meio acadêmico é o sistema de iluminação pública, que para alguns autores é considerado como EFO interno e, para outros, é um fenômeno de outra natureza.

Valadares e Moreira (1998) relatam que a sensibilidade da resistência elétrica de um dispositivo LDR (resistência dependente da luz) utilizado na iluminação pública, como mostra a Figura 2, depende do comprimento da onda da luz incidente. Comentam ainda que o funcionamento de tal dispositivo é baseado, sim, no EFO. Enfim, quando o dispositivo é exposto ao sol, ele passa a ter uma resistência menor, fazendo com que a chave do relé se movimente, e a lâmpada do poste se apaga. E à noite, a resistência do LDR aumenta e a chave volta a acionar a lâmpada, deixando-a acesa. Assim, tais autoras citam que [...] *O funcionamento deste dispositivo (o dispositivo LDR)¹⁴ é baseado no efeito fotoelétrico.* (p. 123) Logo, o sistema de iluminação pública é uma aplicação do EFO.

¹⁴ Grifo nosso.

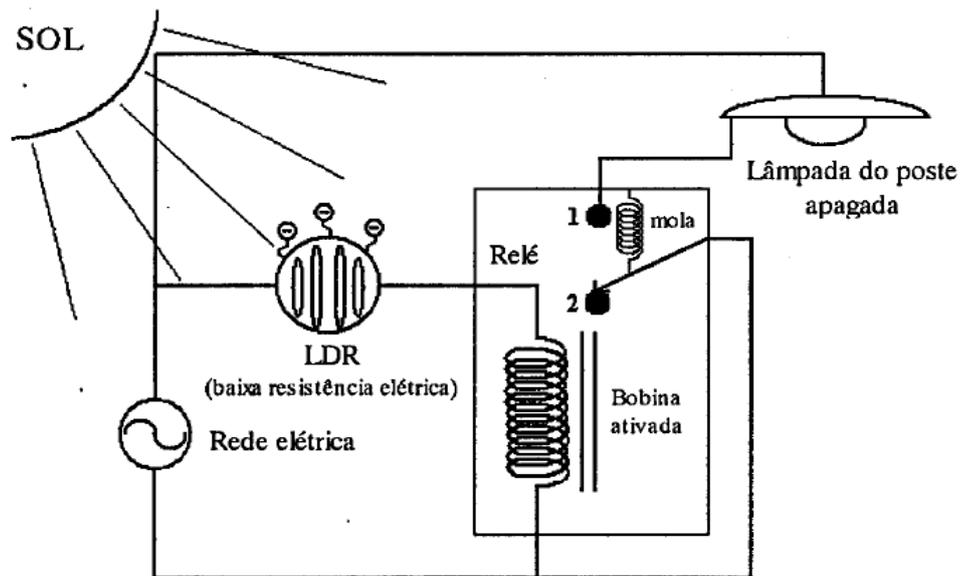


Figura 2. Funcionamento do sistema de iluminação pública baseado no dispositivo LDR¹⁵

Os autores Rocha Filho *et al.* (2006) apresentam o dispositivo LDR, como uma aplicação com base no efeito fotocondutivo, que seria um fenômeno diferente da natureza do EFO. Eles citam que este efeito é *aplicado na produção de células cuja resistência elétrica varia conforme a intensidade da luz incidente, usadas tradicionalmente na automação da iluminação pública.* (Rocha Filho *et al.*, 2006, p. 555) Esses autores ainda destacam mais dois tipos possíveis de interações da luz com a matéria para a produção de efeitos elétricos: o efeito fotovoltaico e o efeito fotoemissivo e nesse último, o EFO estaria presente. Dessa forma, o sistema de iluminação pública não é considerado como aplicação do EFO, mas como aplicação do efeito fotocondutivo. Neste mesmo foco, Cavalcante e Tavolaro (2002) explicam que: *não se deve confundir (o efeito fotoelétrico)¹⁶ com dispositivos que usam o efeito fotovoltaico (células solares) ou a fotocondutividade (chaves que acendem lâmpadas de poste, por exemplo).* (p. 24)

Em síntese, percebe-se a existência da divergência em atribuir ou não, ao sistema de iluminação pública, especificamente, ao dispositivo LDR, como sendo uma aplicação

¹⁵ Fonte: VALADARES, E. C. MOREIRA, A. M. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. V. 15, n. 2: p. 121-135, 1998 que pode ser encontrado no link: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6896>

¹⁶ Grifo nosso.

tecnológica do EFO, chamado de EFO interno. Isso ocorre porque há uma leve diferenciação na definição desse fenômeno, já que para ocorrê-lo é necessário a fotoemissão de um elétron. Em algumas situações, pode existir a ejeção do fotoelétron, e em outras, pode somente deixar tais elétrons livres em algum material, que pode ser denominado de fotocondutividade. Na última situação encontra-se a explicação do funcionamento dispositivo LDR. Embora as interpretações das aplicações tecnológicas desse fenômeno possam ser opostas, elas apresentam a mesma base fenomenológica, ou seja, ocorre o EFO, seja interno, ou não.

Diante de toda a explicação do EFO, seria possível introduzi-lo no Ensino Fundamental? Se a luz arranca fotoelétrons ou se deixa elétrons livres num material, o fenômeno por trás disso é a interação da radiação com a matéria. No ensino de Ciências no EF há outros tópicos ou temas que também apresentam como natureza fenomenológica a interação da radiação com a matéria como, por exemplo, a fotossíntese. Nos PCNs dos anos iniciais do EF, a fotossíntese deve ser estudada no tema “Ambiente”, e, nos anos finais no tema “Vida e Ambiente”. Já nos CBCs, a fotossíntese deve ser estudada no tema “Energia nos Ambientes”. Com base nisso, nos questionamos, qual é a relação entre o EFO e a Fotossíntese? Vamos falar um pouco mais sobre o presente fenômeno.

Sobre a introdução desse tópico, Medeiros *et al.* (2009) destacam que os temas relacionados tanto com a fotossíntese quanto com a respiração:

envolvem conceitos fundamentais para o ensino de ciências, possibilitando uma visão abrangente dos mecanismos e dos ciclos de vida dos seres vivos, bem como suas relações na cadeia alimentar, evolução, metabolismo energético, entre outros. (MEDEIROS *et al.*, 2009, p. 924)

Logo, esses já citados constituem-se como um tema importante do conteúdo de Ciências.

Cañal (2005), Medeiros (2002) e Souza e Almeida (2002) *apud* Medeiros *et al.* (2009) destacam a necessidade da reflexão acerca de estratégias metodológicas que favoreçam o ensino e a aprendizagem de conceitos fundamentais, dentre eles, o conceito de fotossíntese, uma vez que são considerados confusos e complexos pelos estudantes.

Para facilitar a compreensão dos temas fotossíntese e respiração, Medeiros *et al.* (2009) propõem uma atividade que consiste na germinação do feijão, propiciando assim, uma análise das concepções dos alunos acerca de tais temas. Eles perceberam, por meio do resultado da pesquisa, a evolução dos conhecimentos sobre os temas envolvidos nas etapas das atividades, mas algumas ideias alternativas ainda se mostraram persistentes.

Com o mesmo intuito, no que se refere a uma melhor compreensão da fotossíntese, Zompero e Laburu (2011) propõem uma atividade investigativa por meio da utilização da

multimodalidade representacional na forma de texto, imagem, e interação dialógica entre os estudantes e a professora. Eles analisaram quais significados foram elaborados por alunos do Ensino Fundamental, a partir dessa atividade, destacando o que realmente propiciou uma diferenciação e um enriquecimento dos significados iniciais estabelecidos na estrutura cognitiva dos alunos.

A fotossíntese é um processo químico e celular pelo qual os seres vivos autótrofos produzem carboidratos. Com a sua realização, os organismos fotossintetizantes produzem compostos que serão utilizados como fonte de energia. Ela começa com a captação de energia solar pela clorofila, que é um pigmento que dá a coloração verde para as plantas. Assim, os organismos com clorofila transformam a energia luminosa em energia química. Esta fica armazenada nas moléculas orgânicas, chamadas de glicídios, cuja principal delas é a glicose.

Esse processo apresenta duas fases, uma química e outra fotoquímica. O oxigênio produzido na fotossíntese tem origem na quebra da molécula de água, sendo esta etapa a fotoquímica. Já, a etapa química é composta por muitas reações. As moléculas de dióxido de carbono fornecem carbono para a formação de carboidratos, a sacarose, que é composta por glicose e frutose. Em síntese, a fotossíntese é um processo que ocorre nos cloroplastos a partir da capacidade da clorofila de absorver a energia solar. Nesse processo, são produzidos açúcares.

Analisando a natureza fenomenológica da fotossíntese e do EFO, temos uma característica importantíssima presente em ambos os fenômenos: a interação da luz com a matéria. Na fotossíntese é necessária a participação de pigmentos que podem ser definidos como qualquer substância que absorva luz. No caso, a clorofila reflete a maior parte da luz verde incidente e absorve luz das outras regiões do espectro. No EFO, a luz incide sobre o catodo e dependendo do material de que ele é feito, fotoelétrons serão arrancados se a energia da luz incidente for no mínimo a mesma da função trabalho, que é a energia mínima necessária para arrancar o elétron do material. Portanto, a introdução do EFO consiste em um mesmo fenômeno que apresenta a mesma natureza fenomenológica da fotossíntese, tópico que é ensinado no EF desde os anos iniciais.

Este capítulo apresentou as propostas curriculares para o EF através dos PCNs e dos CBCs de Ciências. A partir deles, foram expostos quais tópicos podem ser trabalhados e, a partir deles, estendemos uma discussão de possíveis tópicos de FM que poderiam ser inseridos no EF. Dentre tais tópicos, apresentamos o EFO, que apresenta a mesma natureza fenomenológica da fotossíntese, que por sua vez é intensivamente trabalhado no EF desde os anos iniciais.

Portanto, nesse estudo iremos propor a introdução do EFO no EF através da construção e aplicação de um Módulo Didático com foco nesse tópico da FM de tal forma que evidencie a interação da radiação com a matéria no sentido de possibilitar que ligações futuras possam ser privilegiadas.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A introdução da Física Moderna na educação básica tem sido debatida na pesquisa em ensino de Física há mais de duas décadas. Como já comentado anteriormente, as justificativas para a sua introdução são variadas, como por exemplo, o fato de promover o despertar da curiosidade dos estudantes e a compreensão de aparelhos e artefatos atuais, dentre outras justificativas.

Neste capítulo faremos uma revisão bibliográfica dos trabalhos realizados na área em Ensino de Física, com um enfoque geral da introdução da FM no EF, especificamente relacionada à introdução do Efeito Fotoelétrico.

Essa busca se pautou no banco de teses da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES devido à função seminal desse banco. A busca foi feita por palavras-chave que estivessem presentes nos trabalhos pertencentes ao banco de teses.

A pesquisa consistiu na utilização da palavra-chave “efeito fotoelétrico” por meio das ferramentas de busca online do banco de teses da CAPES. Após a apresentação dos trabalhos selecionados por esta busca, foi feita a leitura de cada um dos resumos dos mesmos.

2.1. Apresentação dos trabalhos publicados

O banco de teses da CAPES apresenta trabalhos de mestrados profissionalizantes, mestrados acadêmicos e doutorados. A busca realizada foi feita por todo o banco, por um período de vinte anos.

De nossas buscas, foram encontrados 15 trabalhos de pós-graduação, sendo 6 dissertações de mestrado profissionalizante e, 9, de mestrado acadêmico. Tais trabalhos são apresentados no Quadro 6. Nele colocamos uma descrição e os resultados ou considerações finais de cada um dos trabalhos.

Quadro 6. Apresentação dos trabalhos de pós-graduação

AUTOR E ANO	TÍTULO	DESCRIÇÃO	RESULTADOS OU CONSIDERAÇÕES FINAIS
SILVA (1994)	O Efeito Fotoelétrico: Contribuições ao Ensino de Física Contemporânea no Segundo Grau	Defende a introdução de conceitos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. São discutidos paradoxos que colocaram a Física Clássica em dificuldades, como a radiação do corpo negro e a quantização da energia. Chega-se também à explicação do Efeito Fotoelétrico. Utiliza atividades experimentais como auxílio no processo de ensino-aprendizagem.	Foi desenvolvido um aparelho experimental para uso de professores do Ensino Médio para testar a eficiência da metodologia escolhida e contribuir na atuação desses professores junto aos alunos.
ALMEIDA (2004)	Uma Alternativa para o Ensino de Física Quântica Introdutória, numa Perspectiva de Aprendizagem Significativa, Através da Utilização do Software "Física Con Ordenador" e de Mapas Conceituais	Relata o desenvolvimento de uma proposta de ensino de Física Quântica, com a inserção de um determinado software de simulação computacional. O tema pesquisado foi o Efeito Fotoelétrico, no curso de Licenciatura em Física. A análise da pesquisa foi direcionada pela Aprendizagem Significativa, proposta por Ausubel.	Observou-se o surgimento de alguns fatores relevantes envolvidos neste processo de ensino e aprendizagem.
FERREIRA (2005)	Utilizando o Ciclo da Experiência de Kelly para Investigar a Compreensão do Comportamento Dual da Luz	Investiga o comportamento dual da luz, através da compreensão do Efeito Fotoelétrico, devido à implementação de uma nova abordagem baseada na Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly, mais especificamente, no Ciclo da Experiência, que contém cinco etapas. Elas foram distribuídas em três aulas, dados para alunos do Ensino Médio	Indicaram a clareza que os alunos passaram a ter ao distinguir onda e partícula, o que foi complementado com a compreensão de conceitos essenciais relacionados com o fenômeno do Efeito Fotoelétrico.

SILVA NETO (2008)	A Física Moderna no Processo de Formação de Técnicos na Área de Radiologia Médica	Apresenta um relato de uma proposta de introdução de Física Moderna em um Curso Técnico em Radiologia Médica. Elaboraram uma página na internet, juntamente com simuladores computacionais, como instrumento de apoio a uma disciplina visando a conscientização dos alunos quanto aos efeitos biológicos das radiações, tomando como conceito central a Dualidade Onda-partícula, explorando o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Compton.	Despertou o interesse dos alunos levando-os a participar mais das aulas e a fazerem relações dos conteúdos estudados em sala de aula com os fenômenos físicos que regem o radiodiagnóstico.
VASCONCELOS (2008)	Objeto de Aprendizagem como Ferramenta de Modelagem Computacional Exploratória Aplicada ao Ensino de Física	Investiga como objetos por meio de modelagem computacional podem contribuir para o desenvolvimento e compreensão de conceitos físicos e como os alunos do Ensino Médio avaliam sua utilização para a aprendizagem em Física.	Os alunos superaram algumas dificuldades na compreensão de conceitos físicos. Apontam a viabilidade de tais metodologias como elementos motivadores no ensino do Efeito Fotoelétrico.
ALVARENGA (2008)	Introdução à Física Moderna no Ensino Médio através da Discussão do Dualismo Onda-Partícula	Relata a experiência obtida, com alunos de Ensino Médio, de um curso de caráter extracurricular explorando temas como: Efeito Fotoelétrico, Efeito Compton, Radiação de Corpo Negro, dentre outros. Os tópicos foram apresentados e discutidos em sala de aula e utilizaram-se simuladores e programas de computador para auxiliarem no processo de aprendizagem dos alunos.	O curso serviu de laboratório para a produção de um hipertexto, gravado em CD-ROM e disponibilizado na rede mundial de computadores, que será utilizado em cursos de ensino médio, auxiliando professores no processo ensino-aprendizagem.
KESSLER (2008)	O Ensino da Física Moderna no Ensino Médio: Necessidades e Dificuldades no Oeste Catarinense	Planejamento e oferecimento de oficinas pedagógicas para professores, enfatizando conceitos de Física Moderna e construção de atividades experimentais, posteriormente aplicadas a alunos do Ensino Médio.	Somente parte das atividades foi trabalhada com alunos. Portanto, pontos positivos diversos foram observados, como o envolvimento e o comprometimento dos alunos, aumento da compreensão dos conteúdos, dentre outros.

FILGUEIRA (2009)	O Lúdico no Ensino de Física: Elaboração e Desenvolvimento de um Minicongresso com Temas de Física Moderna no Ensino Médio	São apresentados os resultados de uma pesquisa realizada com alunos do Ensino Médio. Foi elaborado e desenvolvido um minicongresso com vários temas de Física Moderna e Contemporânea, dentre eles, o Efeito Fotoelétrico. O objetivo era apresentar um trabalho em um minicongresso a ser realizado na escola, seguindo todos os ritos acadêmicos.	Investigou-se a viabilidade de trabalhar com temas de Física Moderna e Contemporânea nesse nível de ensino por meio de uma atividade lúdica.
SOARES (2009)	Introdução de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio por Meio do Estudo de Ondas Eletromagnéticas	Propõe a partir da reorganização do tópico Ondas Eletromagnéticas, a introdução de tópicos de Física Quântica, tais como: o modelo atômico de Bohr, caráter dual da luz, raio-X e Efeito Fotoelétrico. Isso é feito para alunos do Ensino Médio, utilizando um material produzido para tal abordagem.	Faz parte desta dissertação um manual para uso do professor contendo os objetivos de cada aula proposta, a carga horária necessária para seu desenvolvimento, slides utilizados nas aulas, roteiros de laboratórios e atividades de avaliação.
PEREIRA (2011)	Controvérsia Entre o Modelo Corpuscular e Ondulatório da Luz: Um Caminho Para o Ensino da Óptica no Nível Médio	Propõe e avalia um projeto pedagógico construído a partir de uma abordagem histórico-filosófica, por meio da introdução de tópicos relativos à Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Foi montado um curso e produzido um material didático que prioriza a controvérsia acerca da natureza da luz, partindo de uma discussão do desenvolvimento da Óptica desde o surgimento da ciência na Antiga Grécia até a explicação do Efeito Fotoelétrico.	A avaliação do projeto aponta para a pertinência da abordagem histórico-filosófica como caminho para ultrapassar a excessiva abordagem da Óptica Geométrica da maioria dos cursos de Óptica de nível médio e, principalmente, para a inserção de tópicos relativos à FMC.
CARDOSO (2011)	Ensinando o Efeito Fotoelétrico por Meio de Simulações Computacionais: Elaboração de Roteiro de Aula de Acordo com Teoria da Aprendizagem Significativa	Foi elaborada uma sequência de atividades, aplicadas para alunos do Ensino Médio, caracterizadas pelo uso de simulações computacionais no Ensino de Física, de acordo com a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. Dentre alguns tópicos de Física, está o Efeito Fotoelétrico.	Os dados mostraram que a maioria dos alunos compreendeu os conceitos gerais relacionados ao fenômeno. O uso de simulações computacionais contribuiu para esse resultado.

MANGILI (2011)	Heinrich Rudolph Hertz e o Efeito Fotoelétrico	Analisa os experimentos realizados por Heinrich Rudolph Hertz relativos ao Efeito Fotoelétrico. Para isso, é consultada a obra <i>Electric Waves: Being Researches on the Propagation of Electric Action With Finite Velocity Through Space</i> .	Busca-se compreender em qual contexto tal efeito é abordado, procurando indícios que comprovam a sua descoberta.
ALVES (2011)	Um Estudo Multimodal de Textos Didáticos Sobre o Efeito Fotoelétrico	Investiga o fenômeno da multimodalidade, tal como ele se manifesta nos textos sobre o Efeito Fotoelétrico dos livros de Física selecionados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio. Fazem uma análise de como os autores desses livros empregam diferentes modos de comunicação na elaboração de textos sobre o Efeito Fotoelétrico, de modo a atingirem determinados objetivos retóricos ligados à descrição, explicação, injunção, definição, exemplificação e narração de objetos de conhecimento das ciências.	Os textos escolhidos são multimodais, assim, professores e produtores de materiais didáticos precisam aumentar sua compreensão sobre a complexidade do trabalho semiótico realizado pelos estudantes, leitores dos textos didáticos multimodais, confrontados com a tarefa de interpretar esse gênero textual.
GOMES (2011)	O Uso de Simulações Computacionais do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio	Investiga como uma simulação computacional pode ajudar o ensino do Efeito Fotoelétrico, no Ensino Médio. A intervenção didática foi realizada em quatro encontros consecutivos de cem minutos cada um.	Os estudantes classificaram a simulação computacional como uma boa forma de expor o conteúdo.
AMORIM (2012)	Efeito Fotoelétrico e Sua História: Recurso Didático à Luz da Epistemologia de Thomas Kuhn	Discute as condições de instigar a inserção da Física Quântica no Ensino Médio por meio do emprego do Efeito Fotoelétrico e sua história como recurso didático. Através de um minicurso, foram feitos debates, experimentos de baixo custo e realizadas simulações através de softwares disponíveis na Internet.	Os estudos corroboraram a ideia de que a inserção da física quântica pode ser feita utilizando-se a via histórica e atividades experimentais.

2.2 Um perfil das dissertações

O Quadro 6 trouxe um resumo de todas as dissertações pertencentes ao banco de teses da CAPES. Desta forma, para a análise, totalizam-se 15 produções acadêmicas.

A Figura 3 retrata o número de trabalhos publicados por ano, através de um gráfico. Isto para verificar se o Efeito Fotoelétrico tem sido um referencial para pesquisa, demonstrando assim, interesse pelo tema.

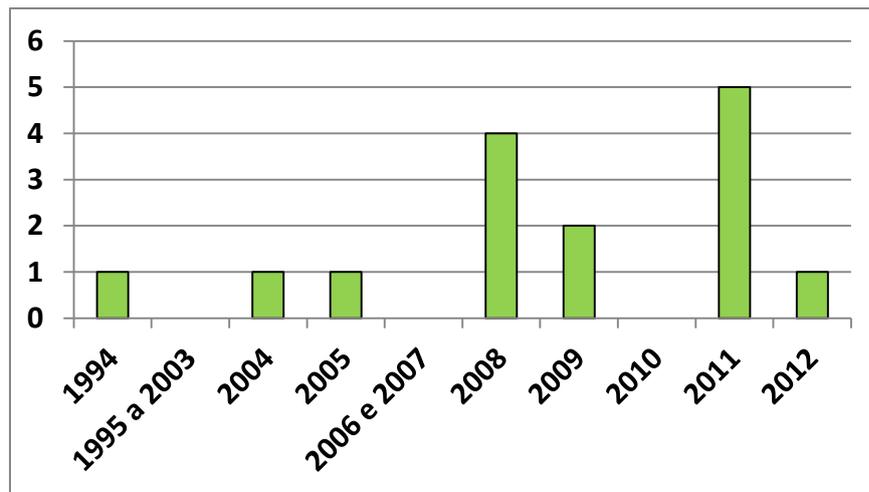


Figura 3. Trabalhos com enfoque no Efeito Fotoelétrico distribuídos por ano

O primeiro trabalho foi publicado em 1994. Somente em 2004 apareceu outro com enfoque no ensino do EFO. Percebeu-se também que no período de 2008 a 2012, houve o maior número de produções acadêmicas, correspondendo a 80% do total analisado.

Em síntese, temos um trabalho com público alvo, alunos de um curso técnico, outro, alunos de graduação em Física Licenciatura, e os demais, do Ensino Médio. Um tem natureza de investigação histórica-filosófica, não focando assim um público alvo específico. Nenhum deles tem como foco o Ensino Fundamental. A Figura 4 mostra estes dados:

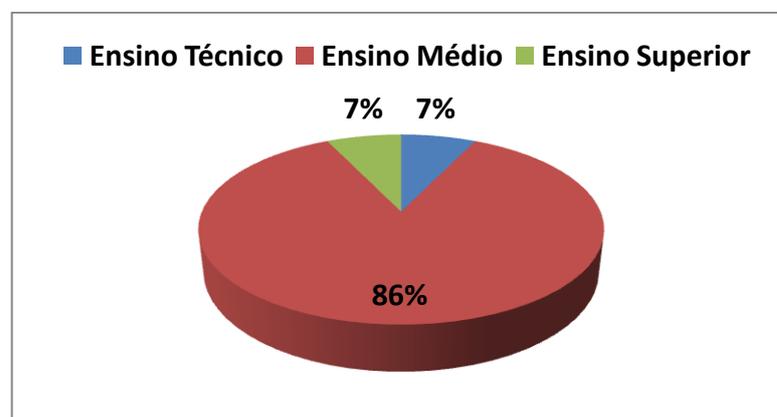


Figura 4. Público alvo dos trabalhos

Para termos um panorama dessas publicações, realocaremos-nos em algumas categorias de propostas metodológicas que foram criadas de acordo com a leitura dos resumos desses trabalhos. Reforçamos, que as mesmas trazem uma visão geral do trabalho, sem aprofundamento:

a) *Uso de metodologias diversas* – trabalhos com foco na confecção de planos de aula, na elaboração de módulos didáticos, no uso de atividades experimentais e em outras formas de metodologias.

b) *Uso de tecnologias de informação e de comunicação com/sem foco em teorias de ensino e aprendizagem* – trabalhos com uso e/ou confecção de modelagem computacional, simuladores e outros recursos computacionais, que apresentam, ou não, uma teoria de ensino e aprendizagem.

c) *Outras abordagens* – trabalhos que não se encaixam em nenhuma das outras categorias, com abordagens de naturezas distintas das mesmas.

O Quadro 7 traz um panorama geral com as características gerais dos trabalhos, separados em categorias. Alguns trabalhos se encaixam em mais de uma categoria, mas incluímos cada um deles de acordo com o enfoque melhor exposto pelo resumo lido.

Quadro 7. Divisão dos trabalhos por categoria

Categoria	Característica	Trabalho
<i>Metodologias diversas</i>	Atividade experimental	Silva (1994)
	Oficina pedagógica com atividade experimental	Kessler (2008)
	Minicongresso	Filgueira (2009)
	Material didático aplicado por meio da teoria de Ausubel	Soares (2009)
	Curso e material didático com abordagem histórico-filosófica	Pereira (2011)
	Minicurso com abordagem histórica e experimental	Amorim (2012)

Categoria	Característica	Trabalho
<i>Tecnologias de informação e comunicação com/sem teorias de ensino e aprendizagem</i>	Simulação computacional com enfoque teórico na teoria de Ausubel	Almeida (2004)
	Modelagem computacional com referência teórica de Rogers e Ausubel	Alvarenga (2008)
	Modelagem computacional	Vasconcelos (2008)
	Página de Internet e simulador computacional	Silva Neto (2008)
	Simulador computacional com referência teórica de Ausubel	Cardoso (2011)
	Simulação computacional	Gomes (2011)
<i>Outras abordagens</i>	Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly	Ferreira (2005)
	Fenômeno da multimodalidade e semiótica social	Alves (2011)
	Enfoque histórico do Efeito Fotoelétrico	Mangili (2011)

Na categoria Metodologias Diversas estão as pesquisas de:

- Silva (1994) que procura introduzir a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, com discussão dos paradoxos que colocaram a Física Clássica em dificuldades, que inclui a explicação do Efeito Fotoelétrico. O trabalho também utiliza atividades experimentais.
- Kessler (2008) que traz um planejamento e oferecimento de oficinas pedagógicas para professores do Ensino Médio, para a introdução de tópicos

diversos de Física Moderna e Contemporânea. Utilizam como auxílio, atividades experimentais.

- Filgueira (2009) que propõe a elaboração e desenvolvimento de um minicongresso procurando introduzir tópicos de Física Moderna e Contemporânea, dentre eles o Efeito Fotoelétrico.
- Soares (2009) propõe uma reorganização de conteúdos do tópico Ondas Eletromagnéticas, com a produção de um material específico, incluindo o Efeito Fotoelétrico.
- Pereira (2011) que propõe um curso e produz um material didático discutindo o surgimento da ciência na Antiga Grécia até a explicação do Efeito Fotoelétrico.
- Amorim (2012) que promove um minicurso, para alunos de Ensino Médio, introduzindo o Efeito Fotoelétrico, através de debates, experimentos de baixo custo e simulações computacionais.

Na categoria Tecnologias de Informação e Comunicação com/sem Teorias de Ensino e Aprendizagem estão as seguintes produções acadêmicas de:

- Almeida (2004) que traz um enfoque no uso de uma simulação computacional, como ferramenta de introdução do Efeito Fotoelétrico para alunos de um curso de Licenciatura em Física. Baseia-se ainda como referência teórica a Aprendizagem Significativa de Ausubel.
- Alvarenga (2008), que utiliza simuladores como auxílio para a introdução de tópicos que contribuem para a compreensão do dualismo onda-partícula, o qual inclui além do Efeito Fotoelétrico, outros tópicos como Efeito Compton e Radiação de Corpo Negro.
- Vasconcelos (2008), que foca o uso da modelagem computacional para a introdução do Efeito Elétrico no Ensino Médio.
- Silva Neto (2008), que usa uma página na internet, juntamente como simuladores computacionais, para auxiliar uma disciplina de um curso técnico em Radiologia Médica, explorando o Efeito Fotoelétrico além de outros conteúdos.
- Gomes (2011) e Cardoso (2011), que utilizam uma simulação computacional para a introdução do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio.

Já, na categoria Outras Abordagens estão os trabalhos de:

- Ferreira (2005) que traz um enfoque na Dualidade Onda-partícula que aborda o Efeito Fotoelétrico, portanto com o intuito de implementar uma abordagem baseada na Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly, no que se refere ao Ciclo da Experiência. O público alvo foi alunos do Ensino Médio.
- Alves (2011), que investiga o fenômeno da multimodalidade em textos sobre o Efeito Fotoelétrico de livros didáticos.
- Mangili (2011), que analisa os experimentos realizados por Heinrich Rudolph Hertz relativos ao Efeito Fotoelétrico consultando a obra *Electric Waves: Being Researches on the Propagation of Electric Action With Finite Velocity Through Space*.

A partir da divisão das produções acadêmicas por categorias, temos que:

- O uso das Tecnologias de Informação e Comunicação ocupa um grande espaço dos trabalhos, correspondendo a 40%. Desses trabalhos, 50% dão um enfoque na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel.
- 20% dos trabalhos apresentam enfoques distintos: a Teoria dos Construtos Pessoais de George; O Fenômeno da Multimodalidade e Semiótica Social; O Enfoque Histórico do Efeito Fotoelétrico.
- 40% trazem metodologias diversas para a introdução da Física Moderna e Contemporânea, que inclui a elaboração de cursos, minicursos, oficinas e minicongressos. Desses trabalhos, 50% utilizam atividades experimentais.

Ressaltamos que a proposta aqui apresentada enquadra-se nessa última categoria, porque propomos a introdução do Efeito Fotoelétrico no Ensino Fundamental a partir da criação de um Módulo Didático que também inclui atividades experimentais.

CAPÍTULO 3 - REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo aborda o referencial teórico utilizado neste trabalho para análise e investigação do Módulo Didático construído, que é apresentado integralmente no ANEXO A. Ele aborda os principais conceitos necessários para a compreensão da Teoria dos Campos Conceituais (TCC): Campos Conceituais, Conceitos, Esquemas, Situação, e Invariantes operatórios.

3.1 Introdução

Dentre as teorias de aprendizagem que se destacam na literatura e que procuraram entender como um indivíduo aprende, evidenciamos a Epistemologia Genética de Piaget e a Psicologia Sócio-Cultural de Vigotski. Davis e Oliveira (1990) comentam que ambas são consideradas interacionistas, ou seja, destacam que o organismo e o meio exercem ação recíproca. A diferença entre uma e outra é o fato de que a primeira, ao contrário da segunda, tem uma concepção interacionista de desenvolvimento, uma vez que a aquisição do conhecimento é um processo construído pelo indivíduo ao longo de toda sua vida, não por causa de pressões do meio.

Jean Piaget (1896-1980) defendeu a visão interacionista de desenvolvimento; e concebeu a ideia de que a criança possui uma lógica de funcionamento mental diferente, qualitativamente, da lógica do funcionamento mental do adulto. Investigou através de mecanismos como a lógica infantil se transforma em lógica adulta.

Na Epistemologia Genética de Piaget há a Teoria da Equilibração. Em síntese, Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008) destacam que a Teoria de Equilibração (PIAGET, 1986):

com seus conceitos de assimilação, acomodação, perturbação, compensação e equilíbrio majorante nos fornece amplas bases para explicar a emergência das novidades no curso das ações e operações de um sujeito frente a um objeto de conhecimento (CARVALHO JR e AGUIAR JR, 2008, p. 211).

De acordo com Davis e Oliveira (1990), a noção de equilíbrio é o alicerce da teoria de Piaget. O desenvolvimento cognitivo do indivíduo ocorre através de constantes desequilíbrios e equilibrações. Para um novo estado de equilíbrio são necessários dois mecanismos: a assimilação e a acomodação. Assim, tal desenvolvimento é um processo de equilibrações sucessivas que passa por diversas fases: a sensoriomotora, a preoperatória, a operatório-concreta e a operatório-formal.

Outra visão interacionista é apresentada por Lev Semiovitch Vigotski (1896-1934). Davis e Oliveira (1990) relatam que o desenvolvimento cognitivo é baseado na concepção de um organismo ativo, com um pensamento que é construído num ambiente histórico e social. Logo, é dado um destaque às possibilidades que o indivíduo dispõe a partir do ambiente em que vive; e que dizem respeito ao acesso que o mesmo tem a instrumentos físicos e simbólicos. Para Vigotski, o pensamento e a linguagem estão interligados.

Em resumo, o processo de desenvolvimento nada mais é do que a apropriação ativa do conhecimento que está presente na sociedade em que o indivíduo nasceu. Ele precisa aprender e integrar o conhecimento de sua cultura. A fala é apresentada e internalizada, permitindo o processamento de informações de uma forma mais elaborada pelo indivíduo. A aprendizagem envolve uma colaboração a partir de uma interação social.

Neste contexto, Gaspar e Monteiro (2005) destacam que:

A colaboração, como aqui está colocada, poderia ser entendida como interação a dois, aluno-professor. No entanto, parece claro que ao referir-se à ‘aprendizagem na escola’, Vygotsky não se restringe a essa díade, mas entende e estende essa colaboração a toda sala de aula, e, nesse sentido, parece- nos mais adequado falar em interação social (GASPAR e MONTEIRO, 2005, p. 233).

Em relação às duas teorias comentadas anteriormente, podemos situar algumas diferenças, tais como: o papel dos fatores internos e externos no desenvolvimento; a construção real; o papel da aprendizagem; o papel da linguagem no desenvolvimento e a relação entre linguagem e pensamento. Alguns autores as considerem como excludentes.

Outras visões consideram a Epistemologia Genética de Piaget e a Psicologia Sócio-Cultural de Vigotski como sendo complementares. É o que apresenta a Teoria dos Campos Conceituais (TCC), de Gerárd Vergnaud. Moreira (2002) reforça esta ideia:

Por outro lado, Vergnaud reconhece a importância da teoria de Piaget, destacando as ideias de adaptação, desequilíbrio e reequilíbrio como pedras angulares para a investigação em didática das Ciências e da Matemática. Mas acredita que a grande pedra angular colocada por Piaget foi o conceito de esquema (1996c, p. 206). Vergnaud reconhece igualmente que sua teoria dos campos conceituais foi desenvolvida também a partir do legado de Vygotsky. Isso se percebe, por exemplo, na importância atribuída à interação social, à linguagem e à simbolização no progressivo domínio de um Campo Conceitual pelos alunos. Para o professor, a tarefa mais difícil é a de prover oportunidades aos alunos para que desenvolvam seus esquemas na zona de desenvolvimento proximal (MOREIRA, 2002, p. 7 e 8).

As subseções a seguir trazem todos os conceitos necessários para a compreensão da TCC: Campos Conceituais, Conceitos, Esquemas, Situação, Invariantes operatórios.

3.2 A Teoria dos Campos Conceituais

A Teoria dos Campos Conceituais é:

Uma teoria cognitivista que visa fornecer um quadro coerente e alguns princípios de base para o estudo do desenvolvimento e da aprendizagem das competências complexas, nomeadamente daquelas que relevam das ciências e das técnicas (VERGNAUD, 1996, p. 155).

Esta teoria *começou por ser elaborada a fim de explicar o processo de conceitualização progressiva das estruturas aditivas, das estruturas multiplicativas, das relações número-espaço, da álgebra* (VERGNAUD, 1996, p. 155), ou seja, ela foi desenvolvida no âmbito da Matemática.

A TCC pode ser aplicada ao Ensino de Ciências, no entanto, para tal tarefa são necessárias algumas adaptações, uma vez que a Matemática e as Ciências, especificamente a Física, apresentam naturezas distintas. Moreira (2002) destaca:

Em Física, por exemplo, há vários campos conceituais -- como o da Mecânica, o da Eletricidade e o da Termologia -- que não podem ser ensinados, de imediato, nem como sistemas de conceitos nem como conceitos isolados. É necessária uma perspectiva desenvolvimentista à aprendizagem desses campos (MOREIRA, 2002, p. 8).

Gerárd Vergnaud é um psicólogo que pertence à tradição piagetiana, procurando investigar o sujeito do conhecimento em resposta a uma situação de ensino. Como destacam Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008): *o autor procura redirecionar o foco piagetiano do sujeito epistêmico para o do sujeito-em-situação. Esse deslocamento de objeto central de análise procura responder à pergunta central de como o sujeito aprende em situação* (p. 210). Tais autores, ainda destacam que os projetos de investigação de Piaget e Vergnaud são complementares no que se refere ao pensamento de atividades de intervenção didática em sala de aula.

Em resumo, a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, como enfatiza Moreira (2002), é:

Uma teoria cognitivista neopiagetiana que pretende oferecer um referencial mais frutífero do que o piagetiano ao estudo do desenvolvimento cognitivo e da aprendizagem de competências complexas, particularmente aquelas implicadas nas ciências e na técnica, levando em conta os próprios conteúdos do conhecimento e a análise conceitual de seu domínio. (MOREIRA, 2002, p. 8)

Desta forma, utilizaremos a TCC como sendo o principal referencial teórico, uma vez que permite compreender, como citado anteriormente, a aprendizagem do sujeito através de Situações, ou seja, o indivíduo é um sujeito-em-ação.

Através da TCC é possível também saber quais Conceitos-em-ação e quais Teoremas-em-ação são elencados diante de Situações diversas propostas. Através dela, podemos elaborar um conjunto de atividades que propicia todo o processo de construção, que vai desde a elaboração até a avaliação. Assim, o professor se coloca diante do desafio de elaborar aulas que propiciam situações das quais promoverão a aprendizagem e acaba por se apresentar como um agente importante neste processo.

No Ensino da Física, que é repleto de conceitos e teoremas, a TCC permite a facilitação do processo de conceitualização, já que a Física, além de conceitos e teoremas, também apresenta um grande conjunto de símbolos, tais como as fórmulas, que são de grande importância e que são vistas pelos alunos como um agente complicador.

3.2.1 Campos Conceituais

Vergnaud (1983 *apud* Moreira 2002) define Campo Conceitual (CC) como *um conjunto de problemas e situações cujo tratamento requer conceitos, procedimentos e representações de tipos diferentes, mas intimamente relacionados* (MOREIRA, 2002, p. 7). Em síntese, ele define o CC como um conjunto de Situações.

Vergnaud (1982 *apud* Sousa e Fávero 2002) se refere ao Campo Conceitual como:

[...] um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e provavelmente entrelaçados no processo de aquisição. Por exemplo, os conceitos de multiplicação, divisão, fração, razão, proporção, função linear, número racional, similaridade, espaço vetorial e análise dimensional pertencem todos a um grande Campo Conceitual que é o das estruturas multiplicativas (SOUSA & FÁVERO, 2002, p. 40).

Por exemplo, na Matemática o CC das estruturas aditivas é o conjunto das Situações cujo tratamento implica uma ou várias adições e subtrações, e ao mesmo tempo, é o conjunto dos conceitos e teoremas que permitem analisar essas Situações como tarefas matemáticas.

Para a Física, podemos citar o CC da eletricidade. As Situações a serem compreendidas e tratadas são distintas, dentre elas podemos citar: a iluminação de uma sala; a ligação de uma lâmpada a uma pilha; a compreensão do circuito elétrico de uma habitação ou de um automóvel; dentre outros.

Alguns trabalhos apresentam outros CCs da Física, com Situações diversas a serem compreendidas: Eletricidade (Resolução de problemas) – Sousa e Fávero (2002); Mecânica (Descrição do movimento de objetos em translação) - Escudero *et al.* (2003); Física Térmica (Calor e temperatura) – Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008); Física Quântica (Sistema Quântico) - Fanaro *et al.* (2009); Estrutura da Matéria (Física Nuclear, Radiação e Partículas elementares)

- Krey (2009); Física Aplicada na Medicina (Óptica, Ondas, Eletromagnetismo e Física Moderna e Contemporânea) - Parisoto *et al.* (2011).

Diante deste panorama da pesquisa em Ensino de Ciências, na qual diversos trabalhos retratam Campos Conceituais dentro da Física, corrobora a possibilidade do uso da TCC como ferramenta de aprendizado.

3.2.2 Conceitos

Na TCC, um Conceito não pode ser reduzido apenas à sua definição, se o intuito for o interesse pela sua aprendizagem e pelo seu ensino. Segundo Vergnaud (1996), o Conceito (C) é um tripé de três conjuntos (S, I, L):

$$C = (S, I, L)$$

Onde:

S – (Referente) - é o conjunto de Situações que dão sentido ao Conceito;

I – (Significado) é o conjunto das invariantes associadas aos Conceitos, nas quais assenta a operacionalidade dos esquemas;

L – (Significante) - é o conjunto de representações linguísticas e não linguísticas que permitem representar simbolicamente o Conceito, as suas propriedades, as Situações às quais ele se aplica e os procedimentos que dele se nutrem.

Vergnaud (1996) destaca que *estudar o desenvolvimento e o funcionamento de um conceito, no decurso da aprendizagem ou quando da sua utilização, é necessariamente considerar estes três planos ao mesmo tempo* (VERGNAUD, 1996, p. 166).

Dessa definição decorrem também três argumentos principais que levaram Vergnaud ao Conceito de Campo Conceitual, de acordo com Vergnaud (1983 p. 393 *apud* Sousa e Fávero 2002, p. 57):

- a) Um Conceito não se forma dentro de um único tipo de Situação;
- b) Uma Situação não se analisa com um único Conceito;
- c) A construção e apropriação de todas as propriedades de um Conceito ou de todos os aspectos de uma Situação é um processo de muito fôlego que se desenrola ao longo dos anos, às vezes uma dezena de anos, com analogias e mal-entendidos entre Situações, entre concepções, entre procedimentos, entre significantes.

3.2.3 Esquemas

Rezende Jr. (2006) relata que *o conceito de esquema foi inicialmente introduzido por Piaget para responder sobre as formas de organização das habilidades cognitivas, bem como as sensório-motoras* (REZENDE JR., 2006, p. 70).

Vergnaud (1996) define esquema como sendo a organização invariante da conduta para uma das classes de Situações. Nos esquemas deve-se procurar os conhecimentos-em-ação do sujeito, ou seja, os elementos cognitivos que vão permitir a ação do sujeito ser operatória. Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2002) citam um exemplo de como se verificar tais conhecimentos:

O conceito de esquema pode conduzir a análise dos conhecimentos-em-ação do sujeito. Uma das maneiras de se verificar tais conhecimentos é por meio do acompanhamento dos diversos momentos em que os estudantes são chamados a dar respostas a problemas. (CARVALHO JR. e AGUIAR JR., 2002, p. 216)

Por exemplo, as competências matemáticas são sustentadas por esquemas organizadores da conduta. O esquema da enumeração de uma pequena coleção por uma criança de 5 anos pode ser feita de várias formas, quando se trata de contar bombons ou pratos sobre uma mesa.

Sobre questões práticas em sala de aula, Vergnaud (1994, p. 58 *apud* Moreira 2002, p. 10) comenta:

Já que o núcleo do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização, Vergnaud destaca que é preciso dar toda atenção aos aspectos conceituais dos esquemas e à análise conceitual das situações nas quais os aprendizes desenvolvem seus esquemas na escola ou na vida real (1994, p. 58).

3.2.4 Situação

O conceito de Situação foi renovado por Guy Brousseau, que lhe deu um alcance didático que ele não tinha em psicologia, e um significado no qual a dimensão afetiva e dramática intervém da mesma forma que a dimensão cognitiva o faz.

Na Teoria dos Campos Conceituais, Vergnaud não toma o conceito de Situação numa visão ampla. O sentido tomado é o mesmo que é dado habitualmente pelos psicólogos, ou seja, *os processos cognitivos e as respostas do sujeito são função das situações com as quais eles se confrontam*. (VERGNAUD, 1996, p. 171)

São retidas duas ideias principais dentro desse contexto:

- A) A ideia de variedade: existe uma grande variedade de Situações num dado Campo Conceitual, e as variáveis de Situação são um meio de gerar de forma sistemática o conjunto das classes possíveis;
- B) A ideia de histórias: os conhecimentos dos alunos são formados pelas Situações com que eles se depararam e que progressivamente dominaram, nomeadamente pelas primeiras Situações susceptíveis de dar sentido aos conceitos e aos procedimentos que se pretende ensinar-lhes. (*ibid.*)

Em síntese, Rezende Jr. (2006) comenta que:

As situações constituem para Vergnaud a porta principal para a compreensão e domínio de CC, mas são necessários critérios rigorosos para definir a acepção dada ao seu conceito. Para Vergnaud (1990) o significado de situação está limitado ao sentido dado a este termo na psicologia, ou seja, muito próximo da ideia de “tarefa”, afastando-se do conceito de situação didática (REZENDE JR., 2006, p. 68).

De acordo com Vergnaud (1996):

Contudo, podem observar-se regularidades impressionantes nas crianças, na forma como abordam e tratam uma mesma situação, nas concepções primitivas que fazem dos objetos, das suas propriedades e das suas relações, e nas etapas pelas quais passam [...] Mas, apesar disso, o conjunto forma um todo coerente para um dado Campo Conceitual; é possível, nomeadamente, observar as principais filiações e as principais rupturas, o que constitui a principal justificação da teoria dos campos conceituais (VERGNAUD, 1996, p. 178).

São as Situações que dão sentido aos Conceitos, portanto, o sentido não está nas próprias Situações, pois o mesmo pode ser entendido como uma relação do sujeito com as Situações e os significantes.

Vergnaud distingue entre duas classes de Situações dentre as quais podemos compreender melhor a existência dos esquemas:

- a) As classes de Situações para as quais o sujeito dispõe, no seu repertório, num dado momento do seu desenvolvimento, e em determinadas circunstâncias, das competências necessárias ao tratamento relativamente imediato da Situação;
- b) As classes de Situações para as quais o sujeito não dispõe de todas as competências necessárias, que o obriga a um tempo para reflexão e para exploração, para hesitações, para tentativas abortadas, que conduz ao êxito ou ao fracasso.

Dessa forma, observa-se no primeiro caso que, para uma mesma classe de Situações há uma conduta automatizada, organizada por meio de um esquema único.

No segundo caso há um desencadeamento sucessivo de diversos esquemas, que podem levar à competição, e que, para chegarem à solução, devem ser acomodados, descombinados e recombinados. Neste processo ocorrem as descobertas.

3.2.5 Invariantes operatórios

Vergnaud designa pelas expressões Conceito-em-ação e Teorema-em-ação os conhecimentos que estão contidos nos esquemas. De uma forma mais global, podem ser chamados de Invariantes operatórios.

Ele também explica cada um da seguinte forma: *Um teorema-em-ação é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real; um conceito-em-ação é uma categoria de pensamento considerada como pertinente* (VERGNAUD, 1996, p. 202).

Rezende Jr.(2006) destaca que:

Os invariantes operatórios (conceito-em-ação e teorema-em-ação) são componentes essenciais dos esquemas (VERGNAUD, 1998, p. 167), mas um conceito-em-ação não é completamente um conceito nem um teorema-em-ação é um teorema, o que não implica em dizer que, progressivamente, os conceitos em-ação e teoremas-em-ação podem se tornar conceitos e teoremas científicos (REZENDE JR., 2006, p. 72).

Na mesma ideia, Parisoto *et al.* (2011) comentam:

Na ciência os conceitos e teoremas são explícitos e se pode discutir sua permanência e sua validade. Isto não ocorre necessariamente para os invariantes operatórios. Geralmente, estes não são explicitados, pois não se consegue fazê-lo (PARISOTO *et al.*, 2011, p. 2).

Os mesmos autores ainda definem que um Conceito-em-ação é um conhecimento necessário para a resolução de um problema ou uma questão, permitindo a sua interpretação. É ele que leva à busca de informações necessárias para resolver problemas, mas não permitem pensar. Para isso são usados os Teoremas-em-ação que são formados pelos Conceitos-em-ação. Somente os teoremas podem ser considerados verdadeiros ou falsos.

Vergnaud (1990, p. 145 *apud* Sousa e Fávero 2002, p. 60) esclarece que um Conceito-em-ação não é de fato um conceito e nem um Teorema-em-ação é, na verdade, um teorema. E ainda relata:

Na ciência, conceitos e teoremas são explícitos e pode-se discutir sua pertinência e sua veracidade, porém não é esse o caso dos invariantes operatórios. Conceitos e teoremas explícitos não são mais do que a parte visível do “iceberg” da conceitualização: sem a parte escondida formada pelos invariantes operatórios essa parte visível não seria nada. Reciprocamente, não se pode falar de invariantes operatórios integrados nos esquemas senão com a ajuda do conhecimento explícito (SOUSA e FÁVERO, 2002, p. 60).

As mesmas autoras tecem comentários destacando que:

[...] conceitos-em-ato e teoremas-em-ato podem, progressivamente, tornarem-se verdadeiros conceitos e teoremas científicos. Conceitos-em-ação e Teoremas-em-ação geralmente têm pequeno âmbito de relevância e validade e podem estar pobremente relacionados um aos outros, porém podem evoluir para conceitos e teoremas explícitos válidos em domínios amplos em sistemas fortemente integrados. O ensino deve tentar contribuir para que essa evolução de fato ocorra (*ibid.*).

Ao longo deste contexto, percebemos que Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação são distintos dos conceitos e dos teoremas científicos. Portanto, na TCC, os Invariantes operatórios são essenciais para a conceitualização, num determinado Campo Conceitual.

Assim, é possível identificar os Conceitos-em-ação e os Teoremas-em-ação advindos de Situações propostas em sala de aula. Por exemplo, o trabalho de Fanaro *et al.* (2009) traz a identificação de quais Teoremas-em-ação são utilizados por estudantes para resolver questões e problemas de Mecânica Quântica, propostos diante de Situações diversas.

Já o trabalho de Parisoto *et al.* (2011) propõe, além de outros objetivos, a busca de Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação diante de três Situações-problemas propostas em um curso que trata a Física aplicada na Medicina para dar sentido a conceitos de Ondas, Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna e Contemporânea.

3.3 A Física como um Campo Conceitual

3.3.1 Introdução

Como já foi discutido ao longo deste capítulo, Vergnaud (1996) resume um CC como um conjunto de Situações. Vergnaud desenvolveu a TCC tendo como interesse os Campos Conceituais das estruturas aditivas e multiplicativas.

Mesmo que a TCC teve como interesse inicial conceitos advindos da Matemática, ela não se restringe à essa ciência, podendo ser levada para outras áreas, inclusive para a Física.

Sobre a presença da TCC na Física, Sousa e Fávero (2002) relatam:

Na Física, por exemplo, há muitos campos conceituais que não podem ser ensinados, de imediato, como sistemas de conceitos nem como conceitos isolados. O estudo da aprendizagem da Mecânica, da Eletricidade ou da Termodinâmica requer o estudo psicogenético do domínio progressivo, de parte do aluno, dos campos, ou subcampos, conceituais correspondentes. Por exemplo, o Campo Conceitual mais amplo que é o da Eletricidade, o qual, por sua vez, integra o Campo Conceitual da Física Clássica (SOUSA e FÁVERO, 2002, p. 61).

No trabalho dessas autoras, os Campos Conceituais dos circuitos elétricos simples e das forças ganham ênfase. Elas investigam como os alunos chegam a dominar tais campos, identificando os Conceitos-em-ação e os Teoremas-em-ação que os estudantes usam para a abordagem de Situações que envolvem esses Campos Conceituais. Depois, são delineadas novas Situações que permitam o desenvolvimento de novos Conceitos-em-ação e novos Teoremas-em-ação que progressivamente podem levar ao desenvolvimento de conceitos e teoremas físicos adequados ao tratamento desse tipo de problemas (Situações).

No mesmo intuito, sobre a TCC na Física, Escudero *et al.* (2003) destaca que na Física, há muitos Campos Conceituais que não podem ser ensinados de forma de imediata. Por exemplo, no ensino da Mecânica, da Eletricidade e da Termodinâmica requer o estudo e o domínio progressivo de Campos Conceituais diversos. Por exemplo, na Física Clássica, há o Campo Conceitual da Mecânica.

No trabalho destes autores, o foco é dado na cinemática do movimento físico. Eles identificam, inicialmente, os Conceitos-em-ação e os Teoremas-em-ação que os alunos usam para abordar Situações relacionadas a este Campo Conceitual, o da cinemática. Depois propõem novas Situações que vão permitir o desenvolvimento de novos Conceitos-em-ação e Teoremas-em-ação levando ao desenvolvimento de novos conceitos e teoremas físicos que são adequados para o tratamento das Situações propostas deste campo.

A partir desse foco, é possível utilizar a TCC nas diversas áreas da Física: Mecânica, Óptica, Ondas, Eletromagnetismo, Termodinâmica, Física Moderna. Dentro de cada um desses, há outros campos que, para a sua compreensão são necessárias Situações diversas, que elencarão os Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação levando a teoremas e conceitos científicos e à sua conceitualização.

A elaboração de Situações deve ser pensada, ainda mais para o EF, devido à faixa etária e aos cuidados com que se deve ser ensinada a Física, já que é nesta etapa que oficialmente o currículo prescrito a introduz na Educação Básica. Para isso, concordamos com algumas reflexões de Krey (2009):

- A elaboração de Situações potencialmente significativas para os alunos não é tarefa fácil, e demanda um longo tempo de preparação;
- Situações baseadas apenas no domínio conceitual não são suficientes para que o aluno se sinta completamente envolvido;
- Situações consideradas desafiantes por cientistas em sua vivência profissional nem sempre são consideradas da mesma forma pelos alunos;
- Uma Situação potencialmente significativa (frutífera) para o aluno é aquela que o motive e o envolva, gerando grande interesse para que ele se empenhe em resolvê-la;
- Podemos ainda diferenciar as Situações quanto ao seu emprego em sala de aula: aquelas que se destinam à introdução de conceitos e as utilizadas como avaliação da aprendizagem. Sem esquecer que em Situações de avaliação pode também ocorrer aprendizagem.

Assim, a Física bem como a FM, representam um macro CC que inclui outros CCs

3.3.2 A Dualidade Onda-partícula como um Campo Conceitual

A FM engloba diversos tópicos que podem ser trabalhados na Educação Básica de acordo com a lista consensual de Ostermann e Moreira (1998): Física de Partículas e Cosmologia, Dualidade Onda-partícula, Efeito Fotoelétrico, Átomo de Bohr, Radioatividade, Raio-X, Fissão e Fusão Nuclear, Partículas Elementares e Leis de Conservação, Laser, Isolantes, Semicondutores, Condutores e Supercondutores.

Alguns desses tópicos podem ser reconhecidos como um CC, mas alguns cuidados devem ser tomados. Baseemo-nos na definição de que um Campo Conceitual é *conjunto de situações cujo domínio requer o domínio de vários conceitos de naturezas distintas* (MOREIRA, 2002, p. 23).

Tomando a Dualidade Onda-partícula (DOP) como um CC é necessário dominar conceitos diversos que abrangem vários fenômenos. O modelo ondulatório de Maxwell retrata a luz como onda eletromagnética. No modelo corpuscular, a luz é constituída de partículas denominadas fótons. A luz se comporta como onda ou como partícula dependendo do fenômeno no qual a observa, por exemplo, na interferência e na difração a luz só pode ser explicada pelo modelo ondulatório, já no Efeito Fotoelétrico é explicada pelo modelo corpuscular. Os dois modelos são necessários e se complementam, assim, a luz apresenta uma natureza dual, exibindo características de onda e de partícula, mas nunca as duas juntas. Esse é o Princípio da Complementaridade que foi proposto por Niels Bohr (1885-1962).

A compreensão da DOP requer alguns o conhecimento de alguns Conceitos: modelo ondulatório, ondas eletromagnéticas, modelo quântico, interferência, difração, Efeito Fotoelétrico e o Princípio da Complementaridade. Desta forma, a DOP é um Campo Conceitual, já que apresenta um conjunto de Situações que exige o domínio de Conceitos de naturezas distintas. Trabalhar todo este Campo Conceitual exige tempo e um bom planejamento, por isso escolhemos somente um tópico. E para tal finalidade, escolhemos com foco elaboração de atividades didáticas em sala de aula, com auxílio da TCC.

O trabalho de Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008) apresenta a TCC como instrumento para o planejamento e para a análise das atividades de intervenção didática. O foco de trabalho deles foi alunos do EM, durante o estudo da Física Térmica. No nosso estudo vamos adaptá-lo para o estudo do EFO, com foco nos alunos do Ensino Fundamental.

Para tal tarefa, os mesmos autores relatam:

A partir da análise do conhecimento a ser ensinado, certo aspecto de um Campo Conceitual é eleito para ser trabalhado em sala-de-aula. No campo da Física térmica, fizemos a escolha da distinção entre calor e temperatura, por entendermos que tal distinção inaugura a possibilidade de um estudo sistemático dos fenômenos térmicos (Carvalho Jr. e Aguiar Jr., 2008, p. 217).

Assim, dentro do Campo Conceitual Dualidade Onda-partícula, escolhemos o EFO. Uma vez estabelecido, passamos para outras etapas, antes de elaborar Situações que promovam a aprendizagem deste tópico.

Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008) relatam as outras etapas:

- Conexão entre o aspecto escolhido e as demais partes de um Campo Conceitual;
- Recorte da parte do Campo Conceitual que se quer ensinar;
- Inter-relações entre os aspectos envolvidos no Campo Conceitual.

Na próxima sessão, tais etapas serão melhor explicadas e já adaptadas para o Campo Conceitual escolhido para a elaboração de um Módulo Didático, no qual promoverá Situações que elencarão os Conceitos-em-ação e os Teoremas-em-ação para a compreensão do Efeito Fotoelétrico.

3.3.3 O Efeito Fotoelétrico no Campo Conceitual Dualidade Onda-partícula

O EFO é um fenômeno, como relatam Paranhos *et al.* (2008) que foi descoberto por Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894) nos anos de 1886 e 1887, ao confirmar experimentalmente a existência de ondas eletromagnéticas, fornecendo, assim, a validade da teoria eletromagnética de James Clerk Maxwell (1831 – 1879).

Cavalcante e Tavolaro (2002) destacam que Hertz percebeu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos, dentro de uma ampola de vidro, era facilitada pela incidência de radiação luminosa no eletrodo negativo, provocando a emissão de elétrons de sua superfície.

A explicação correta do fenômeno foi dada por Albert Einstein. Cavalcante e Tavolaro (2002) relatam isso:

[...] e o terceiro, que considerou o mais revolucionário, propôs a hipótese da quantização da radiação eletromagnética pela qual, em certos processos, a luz comporta-se como pacotes concentrados de energia, chamados fótons. Com esta hipótese, ele forneceu uma explicação para o efeito fotoelétrico (CAVALCANTE E TAVOLARO, 2002, p. 24).

Nesta etapa, Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008) relatam que:

Escolhido o ponto de partida, o professor estabelece as conexões desse aspecto do conteúdo com outros, no âmbito de um campo de conceitos interligados, recorrendo às próprias convicções acerca deste domínio do conhecimento humano e aos objetivos do ensino (CARVALHO JR. e AGUIAR JR., 2008, p. 217).

Baseado nas discussões teóricas, nós sugerimos a conexão do Conceito EFO dentro do Campo Conceitual DOP com outros Conceitos como é apresentado na Figura 5:

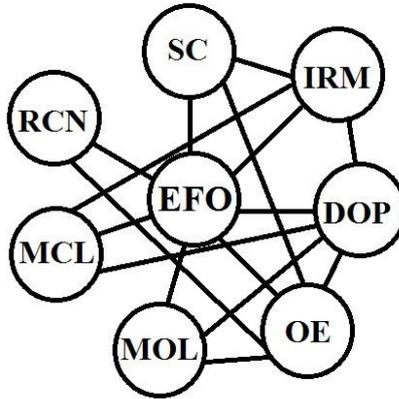


Figura 5. Conexões com o Efeito Fotoelétrico

Onde:

EFO - Efeito Fotoelétrico;

RCN – Radiação de Corpo Negro;

SC – Semicondutividade;

IRM – Interação da Radiação com a Matéria;

DOP – Dualidade Onda-partícula;

OE – Ondas Eletromagnéticas;

MOL – Modelo Ondulatório da Luz;

MCL – Modelo Corpuscular da Luz.

Cada um dos Conceitos em torno do EFO está diretamente ligado a ele e contribui para a sua compreensão e, com certeza, há outros que poderiam ser explicitados. Portanto, todos eles apresentam Conceitos bem amplos que impedem de serem estudados de forma bem minuciosa, sendo importante fazer um recorte.

Dentre os Conceitos do Campo Conceitual DOP há algumas relações do EFO com cada um deles. A compreensão do EFO remete à compreensão da luz como partícula, que leva à Dualidade Onda-partícula. Assim, há uma relação direta com o modelo ondulatório da luz e o modelo corpuscular da luz. A sua explicação traz a necessidade da relação com a radiação de corpo negro. O uso do aparato experimental deste fenômeno leva à necessidade de compreensão das ondas eletromagnéticas e semicondutividade. O fenômeno em si tem relação direta com a interação da radiação com a matéria.

3.3.4 Recorte no Campo Conceitual Dualidade Onda-partícula

Após terem sido feitas as conexões do EFO com outros Conceitos do Campo Conceitual DOP, é necessário fazer um recorte. No trabalho de Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008) sobre Física Térmica, eles destacam que: *Exploradas as possibilidades de conexões e exploração do Campo Conceitual, o professor estabelece um recorte no âmbito do campo previamente construído.* (CARVALHO JR. e AGUIAR JR., 2008, p. 217)

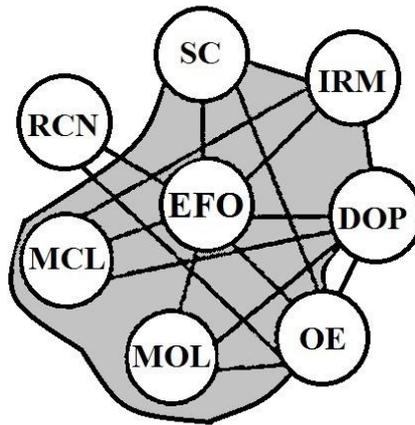


Figura 6. Recorte do Campo Conceitual Dualidade Onda-partícula

Na figura 6, a sombra acinzentada que permeia os Conceitos seleciona quais deles são prioritários para serem trabalhados dentro do planejamento estabelecido. Não significa que os conteúdos que ficaram fora não possam ser trabalhados em outros planejamentos, mas foi a escolha de nosso trabalho.

Dentre os conteúdos selecionados, estão: o Modelo Ondulatório da Luz e o Modelo Corpuscular da Luz que são explorados quando se apresenta a descoberta e a explicação correta do EFO. Dois Conceitos considerados importantes são o de semicondutividade e o de ondas eletromagnéticas, embora, não sejam explorados intensamente, já que são utilizados na compreensão do aparato experimental desse fenômeno.

Embora a DOP seja o Campo Conceitual, ela também se apresenta como um Conceito a parte em seu próprio Campo. Já que o EFO retrata a luz como partícula, torna-se inevitável não relacioná-lo com a Dualidade Onda-partícula.

A Radiação de Corpo Negro e a Interação da Radiação com a Matéria podem aparecer implicitamente na conceitualização do Efeito Fotoelétrico, mas não foram selecionadas para serem trabalhadas de forma explícita.

3.3.5 Inter-relações entre o Efeito Fotoelétrico e outros aspectos envolvidos no Campo Conceitual Dualidade Onda-partícula

O trabalho de Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008) esclarece que:

[...] o professor visualiza as situações de ensino e as variáveis didáticas relevantes para a construção de uma sequência de atividades coerentes e inter-relacionadas para o ambiente escolar, de forma cronologicamente organizada em termos de uma sequência didática. (CARVALHO JR. e AGUIAR JR., 2008, p. 218)

A Figura 7 traz algumas relações entre os Conceitos:

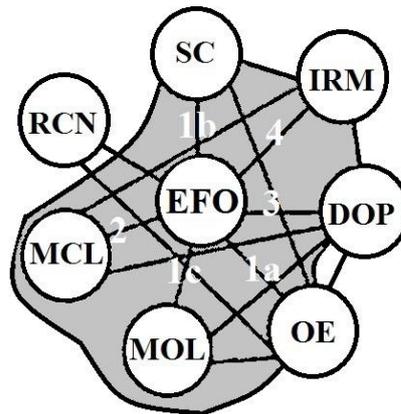


Figura 7. Inter-relações entre os Conceitos do Campo Conceitual Dualidade Onda-partícula

A partir das relações entre os Conceitos do EFO, podemos estabelecer agora uma sequência didática, de uma forma cronológica, promovendo Situações, de acordo com a TCC, para o ensino do EFO. Pela figura 7, podemos ver os caminhos a seguir:

1. Optou-se pela divisão desse primeiro caminho, pois para a introdução do EFO é necessária uma exposição de seu aparato experimental, e para isso há três caminhos que podem ser seguidos:
 - 1 a. O EFO ocorre para alguns tipos de radiações que sabemos que depende da frequência da radiação. É possível citar os “tipos” de luz falando sobre as ondas eletromagnéticas, através do espectro eletromagnético.
 - 1b. O EFO ocorre para alguns tipos de materiais de que são feitos os eletrodos. Podem ser materiais condutores ou semicondutores. Assim, é relevante citar a condutividade e a semicondutividade.
 - 1c. Uma vez estabelecido o que é o EFO, o modelo ondulatório da luz não consegue explicar o fenômeno, havendo uma contradição entre o que a teoria clássica diz e o que realmente ocorre na prática experimental. Quando se fala de espectro eletromagnético, remete implicitamente à compreensão da luz como onda.

2. O modelo corpuscular da luz consegue estabelecer a explicação correta para o EFO. Isto é feito por Albert Einstein, quebrando assim o conflito entre a teoria e a prática.
3. Ao se explicar o EFO, surge uma discussão se a luz é uma onda ou partícula, chegando-se à conclusão de que ela apresenta uma natureza dual.
4. O EFO está dentro da interação da radiação com a matéria.

Assim, podemos estabelecer classes de Situações depois que já passamos por todas as etapas. Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008) reforçam que:

Para Vergnaud, nas situações repousa a operacionalidade dos conceitos e, portanto, são as situações que conferem sentido a um dado conceito. Podemos entender as situações como sendo os problemas que o sujeito deve resolver. (CARVALHO JR. e AGUIAR JR., 2008, p. 218)

Nós identificamos algumas classes de Situações como sendo problemas gerais para o desenvolvimento do Conceito de EFO:

- a) Quais são os fatores que contribuem para que ocorra e para que não ocorra o EFO? Para qual tipo de radiação e para qual tipo de material de que é feito o eletrodo ocorre o EFO?
- b) Divergência entre teoria e prática: o que a Física Clássica explicava e o que acontecia no aparato experimental do EFO.
- c) Explicação correta do EFO: o que diz a teoria corpuscular e a explicação dada por Albert Einstein.
- d) O que é a luz: diante do EFO, qual é a natureza da luz – partícula ou onda.

Dentro do repertório de Conceitos que um estudante traz, existem Conceitos-em-ação que fazem parte da classe de Situações com as quais ele se depara. Estes Conceitos-em-ação podem ou não ser adequados, uma vez que dependem do tipo de Situação com que o aluno entrou em contato.

Destacamos alguns possíveis conceitos relacionados ao EFO. Eles não são Conceitos-em-ação, pois não são as categorias de entendimento de um sujeito diante de uma dada Situação. Tais conceitos tratam de conceitos científicos escolares para o Ensino Fundamental. Eles podem ser reconhecidos ou não pelos estudantes como fundamentais diante de uma Situação proposta. Eles também podem nem expressar desta forma que está sendo enunciado.

- a) Efeito Fotoelétrico: Emissão de elétrons por um catodo feito de material condutor ou semicondutor quando atingido por radiação eletromagnética;
- b) Frequência da corte: Frequência mínima da radiação incidente necessária para se arrancar um fotoelétron, ocorrendo assim o Efeito Fotoelétrico;

- c) Função trabalho: Energia mínima necessária para se arrancar um elétron de um material condutor ou semicondutor, sendo um valor que varia de acordo com a composição química deste material.
- d) Luz: É considerada uma partícula, diante do fenômeno EFO, uma vez que é composta por pacotes de energia denominados fótons.

Há classes de Situações, para as quais o sujeito apresenta em seu repertório, imediatamente na Situação proposta. Também há classes de Situações que o sujeito não dispõe de competências necessárias, imediatamente diante da Situação. Assim ele necessita de um tempo para reflexões que poderão levá-lo ao êxito diante desta Situação proposta. Logo, tais classes de Situações podem ser criadas. Os Teoremas-em-ação e os Conceitos-em-ação advêm de tais classes de Situações que serão propostas, uma vez que eles só terão sentido diante de tais Situações.

Enunciamos também algumas relações conceituais que não podem ser consideradas Teoremas-em-ação, da forma definida por Vergnaud, pois a consideramos importantes diante de uma situação didática escolar.

- a) O EFO ocorre quando a luz incide sobre uma placa condutora ou semicondutora emitindo elétrons.
- b) A ocorrência ou não do EFO depende da radiação incidente sobre a placa e de qual material tal placa é feita.
- c) Quando aumentamos a intensidade da luz, mais elétrons são arrancados.
- d) A ocorrência do EFO não depende da intensidade da luz que incide no catodo.
- e) O EFO é instantâneo e não depende de tempo nenhum de espera.
- f) A luz é composta por fótons, ou seja, pacotes de energia.
- g) A luz é onda e partícula, ao mesmo tempo.

Portanto, as classes de Situações elencadas para o EFO foram exploradas, nesse trabalho, a partir da criação de um Módulo Didático composto por três aulas que serão aplicadas para alunos do Ensino Fundamental. Desta forma, diante das Situações propostas, é possível elencar quais Conceitos-em-ação e quais Teoremas-em-ação os alunos trazem e quanto os mesmos se aproximam dos conceitos e teoremas científicos.

CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA: ELABORAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE PESQUISA E ANÁLISE DOS DADOS

4.1 Introdução

Partindo da premissa de que é possível inserir tópicos de Física Moderna no Ensino Fundamental, elaboramos um Módulo Didático (MD), presente no ANEXO A, tendo como tópico central o Efeito Fotoelétrico. Para explorá-lo de uma forma mais consistente, baseamo-nos na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1996), que foi utilizada como instrumento para planejamento e para a análise de atividades de intervenção didática proposto pelo trabalho de Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008), tal como foi apresentado no Capítulo 3.

A partir dessa vertente, o EFO foi situado como um Conceito do Campo Conceitual Dualidade Onda-partícula no qual o mesmo foi relacionado com outros Conceitos deste CC, tais como: Radiação de Corpo Negro; Semicondutividade; Interação da Radiação com a Matéria; Dualidade Onda-partícula; Ondas Eletromagnéticas; Modelo Ondulatório da Luz; e Modelo Corpuscular da Luz. Assim, foi possível situar quais Conceitos poderiam ser trabalhados no MD no que se referia ao EFO. Dentro do objetivo do trabalho, somente o Conceito de Radiação de Corpo Negro não seria abordado no MD.

Após o recorte dos Conceitos a serem trabalhados dentro do CC DOP, foi necessária a identificação de classes de Situações. Essas seriam problemas gerais que serviriam de guia para o desenvolvimento do Conceito EFO dentro da proposta do MD. Em síntese, elencamos as seguintes classes de Situações:

- Fatores essenciais para a ocorrência e não ocorrência do EFO;
- Explicação correta do fenômeno;
- Definição da luz na óptica do fenômeno.

Tais Situações deveriam ser criadas dentro do MD. Para isto elaboramos três aulas focadas nos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1994) que norteou tanto a metodologia organizacional do MD assim como a criação de Situações.

Pelas Situações criadas, Conceitos-em-ação e Teoremas-em-ação são elencados pelos alunos para explicar os Conceitos relacionados ao EFO. Nossa pesquisa consiste em analisá-los apresentando quais foram os Invariantes operatórios utilizados pelos alunos nas atividades do MD e qual foi a aproximação dos mesmos com conceitos e teoremas científicos.

O MD também apresenta uma atividade inicial que não pode ser considerada como uma Situação elaborada, já que o aluno não estaria diante de uma tarefa a ser cumprida. Ela também é analisada trazendo à tona os conceitos iniciais que os alunos apresentaram para o fenômeno a ser abordado no MD.

O presente capítulo traz os instrumentos usados para a coleta de dados da pesquisa. De forma específica, retrata todos os subsídios usados para a construção do MD, assim como sua adaptação a partir de uma aplicação das aulas-pilotos.

Situamos os sujeitos da pesquisa e o local onde ela ocorreu. Também destacamos os referenciais metodológicos pautados nos Três Momentos Pedagógicos descrevendo a construção do MD.

Apresentamos o processo de análise dos dados e as discussões pertinentes referentes a esta etapa da pesquisa destacando a base metodológica usada para a organização dos dados, Análise de Conteúdo de Moraes (1999) e a base metodológica para interpretação dos dados, Teoria dos Campos Conceituais.

Em síntese, nosso trabalho visa analisar os Conceitos-em-ação e Teoremas-em-ação apresentados pelos alunos para explicar Conceitos relacionados ao EFO dentro do CC Dualidade Onda-partícula.

4.2 Contexto de aplicação da pesquisa

Os sujeitos participantes da pesquisa são alunos do último ano do Ensino Fundamental de escolas distintas. O Quadro 8 apresenta as referidas escolas, as cidades em que estão situadas, a quantidade de alunos por turma e a frequência dos alunos por aula do Módulo Didático:

Quadro 8. Escolas que participaram da pesquisa

Escola	Cidade	Total de alunos na turma	Frequência na aula 1	Frequência na aula 2	Frequência na aula 3
<i>Escola Estadual Nossa Senhora de Lourdes</i>	<i>Maria da Fé</i>	34	33	33	33
<i>Escola Estadual Nossa Senhora de Lourdes</i>	<i>Maria da Fé</i>	34	32	31	31
<i>Escola Estadual Coronel Casimiro Osório</i>	<i>Itajubá</i>	30	25	22	22
<i>Escola Estadual Silvério Sanches</i>	<i>Itajubá</i>	30	22	22	22

Inicialmente foi criado um Módulo Didático piloto, presente no ANEXO B, que foi aplicado numa turma de 34 alunos, do período vespertino, do 9º ano do Ensino Fundamental que estudam na Escola Estadual Nossa Senhora de Lourdes, localizada em Maria da Fé, sul de Minas Gerais. A aplicação das aulas do módulo foi o horário da disciplina de Ciências, que ocorreu ao longo das últimas duas semanas do mês de maio de 2013. A média de participação de alunos por aula foi de 33 alunos.

Após a aplicação do módulo piloto algumas mudanças foram feitas, que serão discutidas posteriormente neste capítulo, resultando num Módulo Didático adaptado que está presente no ANEXO A. Em seguida, novas turmas foram selecionadas para aplicação desse material que ocorreu em uma nova turma na mesma escola, do período vespertino, do 9º ano do Ensino Fundamental, mas de outro professor de Ciências. A turma apresenta 34 alunos.

Antes da aplicação do Módulo Didático foi apresentado o Termo de consentimento livre e esclarecido, como está apresentado no ANEXO C, ao professor e aos alunos de todas as turmas selecionadas. Esse termo traz os objetivos da pesquisa e também relata que os nomes e a identidade dos alunos serão preservados, uma vez que optamos também pela gravação em vídeo das aulas. Esse termo também destaca que as aulas não apresentam caráter avaliativo formal da escola.

As aulas foram aplicadas no auditório da Escola Estadual Nossa Senhora de Lourdes e contaram com a grande frequência dos alunos. A primeira aula foi ministrada no começo de junho de 2013 e somente dez dias depois é que foram dadas as últimas duas aulas. Na primeira aula foram 32 alunos e nas duas últimas foram 31 alunos. O professor da disciplina optou por não acompanhar as aulas.

As outras duas turmas escolhidas foram da cidade de Itajubá, sul de Minas Gerais: a Escola Estadual Coronel Casimiro Osório e a Escola Estadual Silvério Sanches. Elas apresentam clientela diferentes, uma vez que se encontram em localizações diferentes.

A Escola Estadual Coronel Casimiro Osório oferece somente o Ensino Fundamental e a Escola Estadual Silvério Sanches oferece os Ensinos Fundamental e Médio. As duas turmas escolhidas, uma de cada escola, são do período matutino e têm em média 30 alunos.

Na Escola Estadual Coronel Casimiro Osório, as aulas foram dadas em dois dias, na última semana do mês de junho de 2013. Essas foram cedidas pela professora da disciplina de Ciências e aplicadas na biblioteca da escola, onde fica o material multimídia. No primeiro dia estiveram presentes 25 alunos e no segundo 22. A professora também escolheu não assistir, embora tenha ficado presente no local onde as aulas foram aplicadas, realizando outras atividades.

Na Escola Estadual Silvério Sanches, as aulas foram dadas num único dia, na primeira semana de julho de 2013. Além das duas aulas cedidas pela professora da disciplina, uma aula de outra professora, da disciplina de Geografia, também foi utilizada. A turma possui 30 alunos, mas, estiveram presentes apenas 22. A professora, nesse caso, também se ausentou.

4.3 Referencial metodológico de construção do Módulo Didático

Diante do contexto de pesquisa e da elaboração do MD, adotamos os Três Momentos Pedagógicos como referencial metodológico para a sua construção.

De acordo com Muenchen (2010), essa abordagem é uma dinâmica didático-pedagógica fundamentada pela perspectiva de uma abordagem temática, sendo disseminada, a partir da publicação ao final dos anos 1980, dos livros *Física* (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1992) e *Metodologia do Ensino de Ciências* (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1994). Foi abordada inicialmente por Delizoicov (1982).

Podemos diferenciar os Três Momentos Pedagógicos (MP), de acordo com Delizoicov e Angotti (1994), da seguinte forma:

1. *Problematização Inicial*: neste MP, questões e/ou situações são apresentadas fazendo com que os alunos exponham o que pensam sobre tais situações. Sua função vai além de motivar a introdução de um conteúdo específico. Ela também faz a ligação desse conteúdo com situações reais conhecidas e presenciadas pelos alunos, as quais eles provavelmente não dispõem de conhecimentos suficientes para interpretá-los de uma forma geral, ou, correta.

Muenchen e Delizoicov (2011) complementam que:

Nesse momento pedagógico, os alunos são desafiados a expor o que pensam sobre as situações, a fim de que o professor possa ir conhecendo o que eles pensam. Para os autores, a finalidade desse momento é propiciar um distanciamento crítico do aluno ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão e fazer com que ele sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém. (MUENCHEN e DELIZOICOV, 2011, p. 85)

2. *Organização do Conhecimento*: neste segundo MP, o conhecimento necessário para a compreensão do tema e da Problematização Inicial é estudado de forma sistemática. O professor desenvolve definições, conceitos e relações. Um conteúdo é programado em termos instrucionais de tal forma que o aluno aprenda percebendo a existência de outras visões e explicações para as questões

problematizadoras e situações¹⁷ iniciais. Assim, o aluno pode comparar este conhecimento com o seu, podendo usá-lo para melhor interpretar tais questões e compreender os fenômenos envolvidos.

3. *Aplicação do Conhecimento*: o último MP destina-se a abordar de forma sistemática o conhecimento incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar as situações iniciais que determinaram o seu estudo e outras que não são ligadas ao conteúdo trabalhado, mas que podem ser explicadas pelo mesmo conhecimento. Podem ser trabalhados exercícios, problemas e atividades que devem ser resolvidas pelos alunos.

Para a elaboração das aulas dentro do MD, optamos por uma organização focada nos Três MPs. Principalmente, na Aplicação do Conhecimento, há a possibilidade da construção de tarefas, exercícios, problemas e questões que devem ser resolvidas pelos alunos. Aqui há a presença evidente de Situações¹⁸ que podem ser elaboradas para que Conceitos-em-ação e Teoremas-em-ação possam ser utilizados no processo de conceitualização.

4.3.1 Construção do Módulo Didático de um tópico de Física Moderna

Detalharemos a elaboração do MD, presente no Anexo A, composto por três aulas, baseado nos Três MPs, com aplicação para alunos do último ano do EF.

As atividades elaboradas no MD, denominadas Atividade I e Atividade II, são os objetos de análise, que estão presentes, respectivamente nos ANEXOS D e E. Além de detalhá-las, assim como esclarecer sua finalidade, também expomos os textos elaborados, chamados de Texto Didático I e Texto Didático II, presentes, respectivamente, nos ANEXOS F e G. Ao longo da exibição do MD, já ressaltamos as modificações feitas, após as aulas do módulo piloto, presente no ANEXO B.

Optamos pela elaboração de um plano que contém apenas três aulas, devido às propostas das classes de Situações, como já destacadas no Capítulo 3. Cada aula contém 50 minutos, totalizando 150 minutos. O Quadro 9 traz uma visão geral da distribuição das aulas, relacionando-as com os Três MPs.

¹⁷ Destacamos que o significado de situação, apresentado na abordagem didática dos Três Momentos Pedagógicos, não é o mesmo da Teoria dos Campos Conceituais, ou seja, situação nem sempre é sinônimo de tarefa a ser cumprida, assim como é exigida na Teoria dos Campos Conceituais.

¹⁸ O significado de Situação aqui é o de tarefa a ser cumprida de acordo com a Teoria dos Campos Conceituais.

Quadro 9. Plano de aulas do Módulo Didático

Aula	Momentos	Tempo
1. Introdução e Problematização	Problematização inicial	1 aula (50 min)
	Aplicação da <i>Atividade I</i> . (15 minutos) Leitura do <i>Texto Didático I</i> . (10 minutos) Discussão da <i>Atividade I</i> e do <i>Texto Didático I</i> . (25 minutos)	
2. Explicação do Efeito Fotoelétrico	Organização do conhecimento	1 aula (50 min)
	Leitura do <i>Texto Didático II</i> . (20 minutos) Explicação do Efeito Fotoelétrico a partir do <i>Texto Didático II</i> . (30 minutos)	
3. Aplicação do conhecimento	Aplicação do conhecimento	1 aula (50 min)
	Exibição e explicação de um experimento de baixo custo: <i>“Ouça seu controle remoto!”</i> . (20 minutos) Realização da <i>Atividade II</i> . (30 minutos)	
	Total	3 aulas (150 min)

A primeira aula, denominada Introdução e Problematização, contém três partes, com o intuito de fazer uma Problematização Inicial. Esta problematização está focada na definição da natureza da luz e no funcionamento do sistema de iluminação pública.

Na primeira parte os alunos devem responder individualmente a algumas questões no material impresso, no período de 15 minutos, dentro da Atividade I que deve ser entregue ao professor. Inicialmente, elaboramos três questões (ANEXO H) que, após as aulas piloto,

passaram por modificações (ANEXO D). Tais questões e modificações são apresentadas no Quadro 10:

Quadro 10: Questionário inicial da Atividade I do módulo piloto

	Atividade I: Responda às perguntas a seguir:
Nº	PERGUNTA
1	O que é a luz?
2	Através de uma câmera digital ou de seu celular, você já deve ter tirado uma fotografia de você mesmo, de seus amigos ou de seus familiares, para colocar em alguma rede social, ou, para guardar de recordação. Você já deve ter percebido que em ambientes escuros, a fotografia sairá com poucos detalhes. E se você aponta a câmera para alguma fonte de luz, como o sol, a fotografia também não fica tão boa. Por que a luz afeta a qualidade da foto?
3	Ao caminhar pelas ruas, você já deve ter visto que ao entardecer, as luzes dos postes se acendem sozinhas. Elas irão se apagar somente ao amanhecer do outro dia. Como as luzes dos postes se acendem e se apagam sozinhas?

Após as aulas-pilotos, a segunda questão foi eliminada do Módulo Didático, uma vez que não é explorada nas outras aulas, assim como a primeira e a terceira perguntas são.

Na segunda parte da aula, ao longo de 10 minutos, as perguntas da Atividade I são feitas para os alunos, propiciando uma discussão inicial. Continuando neste processo de problematizar, entregamos aos alunos o Texto Didático I, cujo título é *O Efeito Fotoelétrico no cotidiano*. Foram dados 10 minutos para uma leitura em grupo. O texto sem modificações está presente no ANEXO I.

Tal texto responde a terceira pergunta do questionário inicial, ou seja, explica o funcionamento do sistema de iluminação pública. Com a eliminação da segunda pergunta, o texto também sofreu modificações, assim, a parte que explicava o funcionamento de câmeras digitais foi eliminada. O Texto Didático I com modificações encontra-se presente no ANEXO F.

A terceira parte consistiu em terminar o processo da Problematização Inicial, com a discussão do texto proposto juntamente com as questões iniciais.

A segunda aula foca a explicação do EFO a partir da explicação dada por Albert Einstein para este fenômeno. Ela traz a Organização do Conhecimento, uma vez que vários conceitos expostos na primeira aula necessitam de uma explicação, dentre eles, o significado do EFO. Procura-se relacionar o funcionamento dos postes com este fenômeno, ou seja, nos postes há um dispositivo que manifesta o EFO.

Foi proposto o Texto Didático II, para ser lido em 20 minutos, cujo título é a *Explicação do Efeito Fotoelétrico*. Ele está presente no ANEXO G. Na segunda parte, ao longo de 30 minutos, é feita uma abordagem do material através de uma aula expositiva.

O Texto Didático II é iniciado com a pergunta: “O que é o Efeito Fotoelétrico?”. Ele traz uma definição inicial do EFO, com uma pequena explicação do seu aparato experimental, utilizando a Figura 8. O texto foi impresso para ser entregue aos alunos.

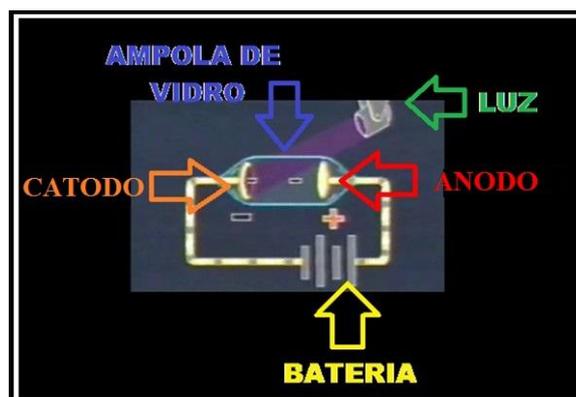


Figura 8. Aparato experimental do Efeito Fotoelétrico

Como a Figura 8 se apresentou muito escura, uma vez que com sua impressão, se torna pouco visível em relação às cores, foi substituída pela Figura 9:

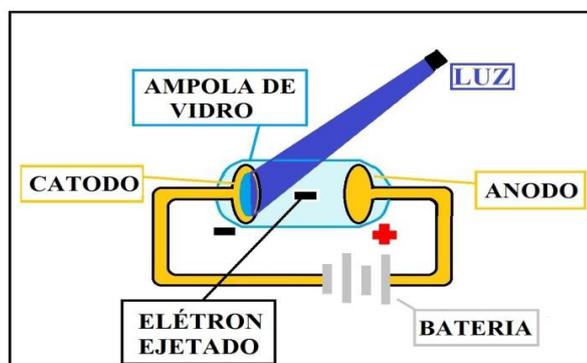


Figura 9. Imagem modificada do aparato experimental do Efeito Fotoelétrico

É apresentada a definição do Efeito Fotoelétrico e quando ele ocorre. A outra parte do texto traz a explicação que a Física Clássica dava para o fenômeno.

Uma exploração mais elaborada é feita para a função trabalho como mostra o fragmento a seguir:

Assim, o fóton, ao colidir com um elétron do material condutor ou semicondutor, transfere toda sua energia para ele, e, a energia adquirida pelo elétron vai permitir sua ejeção do material. Parte desta energia vai ser utilizada para arrancar o fotoelétron, ou seja, aquela mesma quantidade de energia, que é a mínima necessária para que seja possível arrancar o elétron. Ela é chamada de função trabalho, assim, cada material apresenta um valor, como é apresentado na tabela a seguir:

Tabela 1: Função trabalho de alguns materiais

Material	Função trabalho (eV)	Material	Função trabalho (eV)
Sódio	2,28	Ferro	4,50
Cobalto	3,90	Cobre	4,70
Alumínio	4,08	Prata	4,73
Chumbo	4,14	Platina	6,35

Finalizando, o texto esclarece que Einstein consegue dar uma explicação correta para o fenômeno esclarecendo o conflito entre teoria e prática experimental.

A última aula pauta a Aplicação do Conhecimento. O objetivo dela é compreender uma das aplicações tecnológicas do EFO ao que se refere ao fototransistor a partir da exibição de um experimento.

Nessa aula, há a divisão de dois momentos: 20 minutos para a exibição de um experimento de baixo custo e 30 para a realização da Atividade II, apresentada no ANEXO E.

O experimento de baixo custo é denominado “Ouça seu controle remoto!”. Ele foi adaptado do artigo “Física Moderna no Ensino Médio: um experimento para abordar o Efeito Fotoelétrico” (Silva e Assis, 2012). A Figura 10 retrata este experimento:

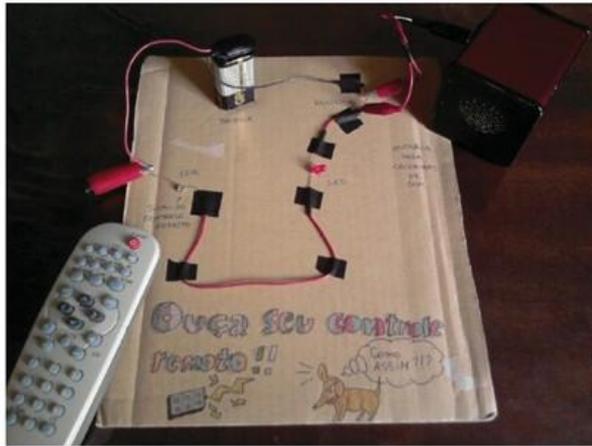


Figura 10. Circuito montado do experimento “Ouça seu controle remoto!”

Os materiais que são necessários para a montagem deste experimento são:

- 1 bateria 9V;
- 1 fototransistor;
- 1 LED de qualquer cor;
- 1 pino fêmea P2 para conectar a caixa de som;
- 1 resistor de 680Ω e $1/8 \text{ W}$;
- 1 suporte para bateria;
- Um controle remoto comum de televisão ou de outro aparelho.
- Caixinha de som de computador ou de rádio.

O seu esquema do circuito é apresentado a seguir na Figura 11:

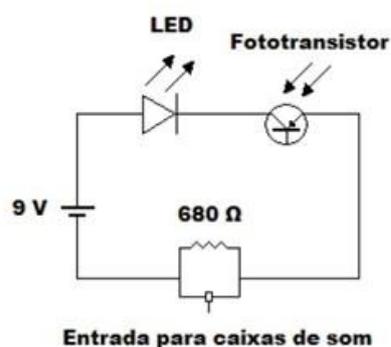


Figura 11. Esquema do circuito do experimento. Fonte: Silva e Assis (2012)

No trabalho dessas autoras é apresentado o funcionamento do experimento e é dada a sua explicação. Para a sua montagem é preciso verificar a polaridade do LED. Como o LED é um diodo, ele conduz a corrente elétrica apenas em um único sentido. O LED apresenta uma das “perninhas” ligeiramente maior que a outra. Esse é o polo positivo do componente e deve ser ligado ao polo positivo da bateria.

A bateria, o fototransistor, o LED e o resistor são ligados em série. Com os jacarés, liga-se o pino fêmea P2 em paralelo com o resistor. O som é gerado a partir da variação da d.d.p obtida no resistor, que é a mesma da caixinha de som, pois ela está ligada em paralelo com esse resistor. Essa variação de d.d.p. é resultado da alteração da corrente elétrica no circuito provocada pela variação da resistência do fototransistor ao ser atingido pelo infravermelho pulsado do controle remoto.

Para testar o funcionamento do circuito, basta iluminar o fototransistor com um *laser*. Se o LED acender é por que está tudo conectado corretamente. Para testar a saída de som, as caixinhas devem ser conectadas ao circuito e o infravermelho deve ser incidido no fototransistor usando um controle remoto de televisão. Se tudo estiver bem conectado, o som do controle remoto semelhante ao “som de um helicóptero” será ouvido, devido ao fato de o infravermelho do controle ser pulsado. O circuito pode ser montado sobre um papelão duro utilizando-se fios de ligação e fita isolante ou solda para conectar cada elemento ao circuito.

A explicação anterior é retratada no MD que deve ser utilizado pelo professor. Não aborda profundamente todos os conceitos pertinentes ao experimento devido ao público alvo que são os alunos do EF. Assim, é feita uma abordagem mais qualitativa e geral sem adentrarmos em conceitos que necessitam de outras áreas da Física que necessitariam de mais tempo para serem explicados.

A segunda parte da aula utiliza o experimento anterior para a realização da Atividade II que é apresentada no ANEXO J. Aqui entra o terceiro MP: a Aplicação do Conhecimento. Esta atividade é entregue aos alunos e os mesmos devem devolvê-la ao professor. Foram selecionadas três perguntas, como exposto a seguir:

Atividade II

*Na descrição do experimento feito na aula, “**Ouçá seu controle remoto!**” temos o seguinte: É através do resistor que escutamos o som do sinal do controle remoto. Esse som é gerado devido à variação de ddp obtida no resistor, que é a mesma da caixinha de som, pois ela está ligada em paralelo com esse resistor. Essa variação de ddp é resultado da alteração da corrente elétrica no circuito, provocada pela alteração da resistência do LDR (Light Dependent Resistor) ao ser atingido pelo infravermelho pulsado do controle remoto. (Silva & Assis, 2012)*

Agora responda:

- a) *Qual é o nome do fenômeno que está presente neste experimento? O que ele diz sobre a natureza da luz?*
- b) *Por que ele ocorre?*
- c) *Quais fatores poderiam influenciar para que ele não ocorresse?*

Após as aulas piloto, foram realizadas algumas mudanças na formulação das perguntas anteriores, como apresenta o ANEXO E. O enunciado ficou o mesmo. As perguntas ficaram da seguinte forma:

- a) *O que é a luz?*
- b) *Para ouvirmos o “som do helicóptero”, foi necessário o uso do controle remoto. Além dele, o que mais provocou este som? Por quê?*
- c) *Quando ouvimos o “som de helicóptero”, ao apertarmos as teclas do controle remoto, significa que está ocorrendo o Efeito Fotoelétrico. Por que o barulho não continua, mesmo sem apertar tais teclas?*

Em síntese, tivemos na sequência das atividades algumas mudanças:

- Na Atividade I, uma mudança de três questões para duas.
- O Texto Didático I sofreu uma modificação no sentido de exclusão da parte que se refere ao funcionamento das câmeras digitais.
- O Texto Didático II não sofreu nenhuma modificação, apenas na imagem que retrata o aparato experimental do Efeito Fotoelétrico.
- A Atividade II sofreu modificações na formulação das questões, continuando com três questões como atividade final.

4.3.2 Situações elaboradas no Módulo Didático

O conceito de Situação, de acordo com a TCC, tem o sentido de tarefa. Em síntese, Rezende Jr. (2006) comenta:

As situações constituem para Vergnaud a porta principal para o a compreensão e domínio de CC, mas são necessários critérios rigorosos para definir a acepção dada ao seu conceito. Para Vergnaud (1990) o significado de situação está limitado ao sentido dado a este termo na psicologia, ou seja, muito próximo da ideia de “tarefa”, afastando-se do conceito de situação didática. (REZENDE JR., 2006, p. 68)

Com o significado de Situação como uma ideia próxima ao de tarefa, podemos encontrar dentro dos Três MPs um caminho para criação de Situações. Isso pode ser feito especificamente através da Aplicação do Conhecimento.

Esse MP destina-se a abordar de forma sistemática o conhecimento incorporado pelo aluno para analisar e interpretar as situações iniciais que determinaram o seu estudo e outras que não são ligadas ao conteúdo trabalhado. Também podem ser trabalhados exercícios, problemas e atividades que devem ser resolvidas pelos alunos.

Logo podemos considerar esse MP como sendo passível da criação de Situações, uma vez que aplicando exercícios, problemas e atividades, criamos Situações.

O Quadro 11 traz uma síntese das atividades elaboradas dentro do Módulo Didático, destacando aquelas que podem ser consideradas como Situações dentro da Aplicação do Conhecimento, ou seja, destacamos o que é uma atividade didática do módulo e o que é uma Situação elaborada:

Quadro 11. Apresentação das atividades com seus objetivos

Módulo Didático		Proposta	Objetivos
Aula	Atividade		
1	Atividade I	Responder às duas questões iniciais referentes à natureza da luz e ao funcionamento do sistema de iluminação pública.	Destacar, através de um questionário inicial, quais concepções iniciais os alunos usam para explicar o conceito de luz e o funcionamento dos postes.
1	Texto Didático I	Ler e discutir o texto sobre a explicação do sistema de iluminação pública.	Utilizar um texto didático sobre a explicação do sistema de iluminação pública, como instrumento de Problematização Inicial.
2	Texto Didático II	Ler e discutir o texto sobre o Efeito Fotoelétrico.	Utilizar um texto didático sobre o Efeito Fotoelétrico, como ferramenta para Organização do Conhecimento.
3	Atividade Experimental	Interagir com um experimento de baixo custo com enfoque no Efeito Fotoelétrico.	Utilizar um experimento de baixo custo sobre o Efeito Fotoelétrico, como instrumento para Organização do Conhecimento.
3	Situações: Atividade Experimental e Atividade II	Responder às três questões, a partir de um experimento de baixo custo com enfoque no Efeito Fotoelétrico.	Destacar quais os <i>Conceitos-em-ação</i> e os <i>Teoremas-em-ação</i> são elencados pelos alunos, sobre a natureza da luz e sobre o Efeito Fotoelétrico, na etapa de Aplicação do Conhecimento.

A partir das Situações criadas na terceira aula, é necessário investigar o domínio dos alunos frente ao Campo Conceitual em questão, identificando, assim, os Conceitos-em-ação e

os Teoremas-em-ação trazidos por eles, referentes à conceitualização da luz e do EFO dentro do Campo Conceitual Dualidade Onda-partícula. Relembramos que a escolha desses conceitos foi feita tomando como base o trabalho de Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008), que apresenta a TCC como um instrumento de planejamento e análise das atividades de intervenção didática.

A partir da Problematização Inicial é possível destacar as concepções iniciais dos alunos referentes a estes conceitos, portanto, não podemos considerá-las como Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação, visto que essa atividade inicial, a Atividade I, não se enquadra dentro do significado de Situação que é uma tarefa a ser cumprida.

Os Três MPs, sobretudo a Aplicação do Conhecimento, promovem a interação entre o professor e os alunos, permitindo assim, a elaboração de Situações que fazem com que os alunos baseem-se no Teoremas-em-ação e nos Conceitos-em-ação permitindo a conceitualização do Efeito Fotoelétrico.

Em síntese, o MP foi elaborado escolhendo-se o Campo Conceitual DOP, no qual se encontra o EFO. Este, por sua vez, tem a mesma natureza fenomenológica da fotossíntese e de outros fenômenos, ou seja, a interação da radiação com a matéria. Tal abordagem fenomenológica sobre o conteúdo de fotossíntese está fortemente presente no currículo de Ciências do Ensino Fundamental, como discutido no Capítulo 1. Assim, a inserção do EFO no EF não implica na inserção de um fenômeno novo, mas em um fenômeno proposto nessa etapa da Educação Básica.

O uso de um experimento de baixo custo também contribui para a compreensão do aluno em relação ao fenômeno proposto. A escolha da TCC e dos Três Momentos Pedagógicos na construção e na análise do Módulo Didático, no nosso ponto de vista, promove a aprendizagem do conceito proposto, já que o aluno utiliza seus esquemas diante das Situações elaboradas, realmente se comportando como um sujeito-em-ação.

Portanto, em nossa pesquisa, vamos interpretar se os Invariantes operatórios elencados diante das Situações criadas no Módulo Didático se aproximam dos teoremas e conceitos científicos.

4.3.2.1 A atividade experimental como uma Situação

Na perspectiva teórica da psicologia sociocultural de Vigotski, em que a mediação do outro é importante no processo de aprendizagem, alguns autores propõem a importância de atividades experimentais no ensino de Física, uma vez que elas não são só um meio de ensinar o conteúdo conceitual, mas também contribuem para o desenvolvimento do aluno, através da

mediação docente. A utilização de experimentos não requer recursos caros, podendo ser feitos experimentos de baixo custo.

Para essa proposta, utilizamos um experimento de baixo custo, do tipo expositivo, chamado “Ouça seu controle remoto!”, com a proposta de auxiliar na compreensão do fenômeno conhecido como EFO. Esse experimento exemplifica a ocorrência deste fenômeno, a partir do uso de fototransistores em um circuito. Um controle remoto é utilizado porque emitem ondas de infravermelho que são detectadas no circuito montado, gerando um barulho que chamamos de “som de helicóptero”. Além do controle remoto, colocamos o circuito próximo de uma lâmpada fluorescente, de uma lanterna, de um *laser* e um celular. No caso da lanterna não ocorre interferência em nenhuma situação. O *laser* sempre provoca uma pequena interferência. Já no caso da lâmpada fluorescente e do celular ocorreu interferência.

Apresente exposição não pode ser considerada como uma Situação, pois os alunos não estarão, necessariamente, cumprindo uma tarefa. Mas o seu uso se faz necessário porque este experimento será a o responsável para a elaboração de questões que remetem à compreensão da interação da radiação com a matéria e da natureza da luz.

Após a exposição do experimento é dada uma explicação levando a uma compreensão implícita de que a luz pode interagir com a matéria. O controle remoto incide luz infravermelha que interage com o fototransistor fazendo o “som de helicóptero”.

A nossa preocupação não foi em apresentar uma abordagem para EFO que tratasse de fórmulas e explicações complexas. O experimento foi utilizado para a criação da Situação elaborada no MD que chamamos de Atividade II.

4.3.2.2 Apresentação da Atividade II

A Atividade II é baseada no experimento “Ouça seu controle remoto!”, cujo enunciado é apresentado a seguir:

*Na descrição do experimento feito na aula, “**Ouça seu controle remoto!**”, temos o seguinte:*

O “som de helicóptero” é gerado devido à variação de ddp obtida no resistor, que é a mesma da caixinha de som, pois ela está ligada em paralelo com esse resistor. Essa variação de ddp é resultado da alteração da corrente elétrica no circuito, gerada no fototransistor ao ser atingido pelo infravermelho pulsado do controle remoto.

Agora responda:

- a) O que é a luz?*
- b) Para ouvirmos o “som do helicóptero”, foi necessário o uso do controle remoto. Além dele, o que mais provocou este som? Por quê?*

- c) *Quando ouvimos o “som de helicóptero”, ao apertarmos as teclas do controle remoto, significa que está ocorrendo o Efeito Fotoelétrico. Por que o barulho não continua, mesmo sem apertar tais teclas?*

Vamos analisar os objetivos de cada uma das questões propostas nessa atividade, já que, a partir dela, juntamente com o uso do experimento de baixo custo, foram criadas Situações, das quais serão analisados os Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação elencados pelos alunos no processo de conceitualização da luz e do fenômeno de interação da radiação com a matéria, a partir do funcionamento do sistema de iluminação pública. Os objetivos são apresentados a seguir:

a) O que é a luz?

Esta pergunta é mantida da Atividade I, e investigamos através dela, como os alunos conceituam a luz, no contexto do fenômeno Efeito Fotoelétrico. Assim, analisamos como os eles utilizam de seus esquemas mentais para elencar Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação no processo de conceitualização da luz. Verificamos como tais Invariantes operatórios podem ou não se aproximar-se de teoremas e conceitos científicos.

Dentre as respostas, os alunos podem apresentar uma natureza dual para a definição da luz, ou seja, que ela é uma onda e uma partícula, ou responder que ela apresenta apenas uma natureza, ou é apenas partícula ou é apenas onda.

b) Para ouvirmos o “som do helicóptero”, foi necessário o uso do controle remoto. Além dele, o que mais provocou este som? Por quê?

Nessa pergunta, investigamos se os alunos conseguem compreender a interação da radiação com a matéria associando que o Efeito Fotoelétrico ocorre quando utilizamos as ondas de infravermelho emitidas do controle remoto apontando para o fototransistor ligado no circuito. Quando ocorre o “som do helicóptero”, ou seja, ao apertarmos uma tecla do controle remoto, há o Efeito Fotoelétrico.

Além do controle remoto, foram utilizados alguns objetos: um celular fazendo uma ligação ou mandando uma mensagem, uma lâmpada fluorescente, um laser e uma lanterna. Para alguns deles podem ocorrer alguma interferência, mas nenhuma igual ao “som de helicóptero”. Assim, os alunos podem responder: o laser, a luz fluorescente ou o celular.

As respostas podem justificar que ocorre o barulho por causa da onda emitida por cada um deles, inclusive, do controle remoto. Também podem responder que é por causa do fototransistor.

c) Quando ouvimos o “som do helicóptero”, ao apertarmos as teclas do controle remoto, significa que está ocorrendo o Efeito Fotoelétrico. Por que o barulho não continua, mesmo sem apertar tais teclas?

Investigamos nessa pergunta como os alunos conseguem explicar a não ocorrência do Efeito Fotoelétrico, ou seja, se ele compreende a inexistência da interação da radiação com a matéria quando o controle remoto para de emitir radiação não interagindo mais com o fototransistor.

Após o término da atividade, se possível, é feita ainda uma consulta oral das respostas dadas pelos alunos na Atividade II.

4.4 Análise e resultados

4.4.1 Introdução

Nesta seção apresentamos os dados e as suas respectivas análises. A apresentação dos dados tem como referencial metodológico a Análise de Conteúdo.

A Análise de Conteúdo (AC) apresentada por Moraes (1999) constitui-se de uma metodologia de pesquisa utilizada na descrição e interpretação de documentos e textos das mais diversas classes. As fontes de análise podem se constituir de quaisquer materiais oriundos da comunicação verbal ou não-verbal, como cartas, cartazes, jornais, revistas, informes, livros, entrevistas, gravações etc. Olabuenaga e Ispizúa (1989, p.185) *apud* Moraes (1999, p. 8) destacam que um texto contém muitos significados:

- (a) o sentido que o autor pretende expressar pode coincidir com o sentido percebido pelo leitor do mesmo;
- (b) o sentido do texto poderá ser diferente de acordo com cada leitor;
- (c) um mesmo autor poderá emitir uma mensagem, sendo que diferentes leitores poderão captá-la com sentidos diferentes;
- (d) um texto pode expressar um sentido do qual o próprio autor não esteja consciente. (MORAES, 1999, p. 8)

A AC permite a organização dos dados, assim como sua interpretação, a partir das seguintes etapas: preparação das informações; unitarização; categorização; descrição; e interpretação:

- 1) *Preparação das informações*: consiste em ler o material e selecionar o que será imprescindível para o que se deseja pesquisar, de modo que essa seleção seja representativa e pertinente aos objetivos da análise;
- 2) *Unitarização*: consiste em reler o material para definir as unidades de análise, obtendo mensagens divididas em elementos menores; é dividido em quatro etapas:

- a) Rer ler cuidadosamente os materiais com a finalidade de definir as unidades de análise. Elas podem ser palavras, frases, temas ou documentos integralmente.
 - b) Ler novamente e identificar as unidades de análise.
 - c) Isolar as unidades de análise, isto é, retirar o fragmento escolhido do texto integral para que ele possa ser classificado.
 - d) Definir as unidades de contexto. Essas são maiores que as unidades de análise e poderão conter várias dessas.
- 3) *Categorização*: organizar os dados considerando o que há de comum entre eles;
 - 4) *Descrição*: é a apresentação dos dados obtidos;
 - 5) *Interpretação*: é a análise propriamente dita, na qual se deve interpretar de forma mais aprofundada as mensagens transmitidas, não apenas descrevendo-as.

A partir das respostas dadas pelos alunos nas atividades elaboradas no MD, utilizamos a AC na organização dos dados. As quatro primeiras etapas são necessárias para a apresentação dos dados tanto da Atividade I quanto da II.

4.4.2 Apresentação dos dados

A Análise de Conteúdo segundo Moraes (1999) permite a organização dos dados, através de quatro etapas: preparação das informações; unitarização; categorização e descrição. A interpretação é utilizada na análise dos dados.

Na preparação das informações, Moraes (1999) destaca que esse processo consiste em:

Identificar as diferentes amostras de informação a serem analisadas. Para isto recomenda-se uma leitura de todos os materiais e tomar uma primeira decisão sobre quais deles efetivamente estão de acordo com os objetivos da pesquisa. Iniciar o processo de codificação dos materiais estabelecendo um código que possibilite identificar rapidamente cada elemento da amostra de depoimentos ou documentos a serem analisados. Este código poderá ser constituído de números ou letras que a partir deste momento orientarão o pesquisador para retornar a um documento específico quando assim o desejar. (MORAES, 1999, p. 11)

Esta etapa consistiu na leitura de todas as respostas dos alunos referentes às Atividades I e II. Esta foi nossa coleta de dados.

Mas como selecionar tais informações? O objetivo da pesquisa é compreender como a TCC pode ser usada como instrumento de elaboração e análise de um tópico de FM no EF no caso da pesquisa, o EFO.

Para cada atividade, podemos fazer alguns questionamentos em relação à escolha na preparação dos dados que contribui na seleção das informações:

- a) Atividade I

- Quais as concepções iniciais trazidas pelos alunos sobre a natureza da luz?
- Tais concepções se aproximam de concepções científicas?
- Que concepções os alunos trazem para explicar o funcionamento da iluminação pública?
- Eles compreendem que existe a interação da luz com a matéria nesse processo?

b) Atividade II

- Quais Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação os alunos utilizam para conceituar a luz?
- Estes Invariantes operatórios se aproximam ou se distanciam dos teoremas e conceitos científicos?
- O experimento de baixo custo permite a compreensão da interação da luz com a matéria?
- A introdução do Efeito Fotoelétrico contribui na compreensão de que é possível a luz interagir com a matéria?

Após a leitura dos dados, é necessário passar para a próxima etapa: a unitarização. De acordo com Moraes (1999), ela consiste em reler os materiais com a finalidade de definir a unidade de análise; reler todos os materiais e identificar neles as unidades de análise; isolar cada uma dessas unidades; e definir as de contexto.

Foram definidas quatro unidades de análise para cada pergunta da Atividade I:

(P1)¹⁹ Pergunta 1 - Energia e Claridade (que foram incluídas na unidade de contexto Óptica Geométrica); Força Magnética e Onda Eletromagnética (que foram incluídas na unidade de contexto Eletromagnetismo).

(P2) Pergunta 2 – Programação eletrônica automática e Programação humana (que foram incluídas na unidade de contexto Programação eletrônica ou humana); Presença de um sensor e Presença de um dispositivo (que foram incluídas na unidade de contexto Interação da luz com o sensor ou dispositivo). O Quadro 12 traz a divisão das unidades de contexto:

Quadro 12. Unidades de análise e de contexto da Atividade I

Atividade	Pergunta	Unidade de análise	Unidade de contexto
I	<i>P1. O que é a luz?</i>	Energia	Óptica Geométrica
		Claridade	
		Força Magnética	Eletromagnetismo
		Onda Eletromagnética	

¹⁹ As perguntas 1 e 2 da Atividade I serão chamadas, respectivamente, de P1 e P2. As perguntas 1, 2 e 3 da Atividade II serão chamadas, respectivamente, de P3, P4 e P5.

Atividade	Pergunta	Unidade de análise	Unidade de contexto
I	<i>P2. Ao caminhar pelas ruas, você já deve ter visto que ao entardecer, as luzes dos postes se acendem sozinhas. Elas irão se apagar somente ao amanhecer do outro dia. Como as luzes dos postes se acendem e se apagam sozinhas?</i>	Programação eletrônica automática	Programação eletrônica ou humana
		Programação humana	
		Presença de um sensor	Interação da luz com o sensor ou dispositivo
		Presença de um dispositivo	

Para a atividade II, temos a seguinte divisão:

(P3) Pergunta 1 – quatro unidades de análise: Ondas eletromagnéticas e Partículas (que foram incluídas na unidade de contexto Modelo Ondulatório); Onda ou partícula e Onda magnética ou molécula (que foram incluídas na unidade de contexto Modelo Dual).

(P4) Pergunta 2 – seis unidades de análise: Laser, Lâmpada e Celular (que foram incluídas na unidade de contexto Modelo ondulatório ou corpuscular); Fototransistor, LDR e Sensor (que foram incluídos na unidade de contexto Interação da Radiação com o sensor).

(P5) Pergunta 3 – quatro unidades de análise: O infravermelho não é acionado e Não emite radiação (que foram incluídas na unidade de contexto Interrupção da luz vermelha); Não detecta a radiação e não haverá o Efeito Fotoelétrico (que foram incluídos dentro da unidade de contexto Interação da Radiação com o sensor). O Quadro 13 traz a divisão:

Quadro 13. Unidades de análise e de contexto da Atividade II

Atividade	Pergunta	Unidade de análise	Unidade de contexto
II	<i>P3. O que é a luz?</i>	Ondas eletromagnéticas	Modelo Ondulatório ou Corpuscular
		Partículas	
		Onda ou partícula	Modelo Dual
		Onda magnética ou molécula	
	<i>P4. Para ouvirmos o “som de helicóptero”, foi necessário o uso do controle remoto. Além dele, o que mais provocou este som? Por quê?</i>	Laser	Tipo de radiação
		Lâmpada	
		Celular	
		Fototransistor	Interação da radiação com o sensor
LDR			
Sensor			

Atividade	Pergunta	Unidade de análise	Unidade de contexto
II	<i>P5. Quando ouvimos o “som de helicóptero”, ao apertarmos as teclas do controle remoto, significa que está ocorrendo o Efeito Fotoelétrico. Por que o barulho não continua, mesmo sem apertar tais teclas?</i>	O infravermelho não é acionado	Interrupção da luz infravermelha
		Não emite radiação	
		Não detecta a radiação	Interação da radiação com o sensor
		Não haverá o efeito fotoelétrico	

Após a preparação das informações e a unitarização, temos a categorização, que de acordo com Moreira (1999) *é um procedimento de agrupar dados considerando a parte comum existente entre eles.*

Desta forma, foram criadas as seguintes categorias para agrupamento das respostas de P1 a P5: AP – Aproximação dos conceitos físicos, NA – Sem aproximação dos conceitos físicos, AU – Automatização eletrônica ou humana, SE - Sensor, NC – Não cita a interação e IN – Cita a interação, sendo duas categorias para cada pergunta, que são mais bem explicadas no Quadro 14:

Quadro 14. Criação das categorias

Atividade/Pergunta	Objetivo da atividade	Categorias
Atividade I – P1 e Atividade II – P3	Definir a natureza da luz.	AP - respostas que parcial ou totalmente se aproximam de definições físicas dadas à luz. NA - respostas que não se aproximam das definições físicas dadas à luz.
Atividade I – P2	Justificar o acendimento automático da luz dos postes.	AU - automatização eletrônica ou humana - é controlado automaticamente por dispositivos eletrônicos ou por seres humanos. SE - sensor ou dispositivo - é controlado por um dispositivo ou sensor.
Atividade II – P4 e P5	Explicar a existência da interação da radiação com a matéria a partir do Efeito Fotoelétrico.	NC - Não cita a interação da luz com o fototransistor. IN - Cita a interação da luz com o fototransistor.

Uma vez incluídas as respostas em categorias, é necessário descrevê-las e apresentá-las. Essa próxima etapa é chamada de descrição. Moraes (1999) destaca que:

Uma vez definidas as categorias e identificado o material constituinte de cada uma delas, é preciso comunicar o resultado deste trabalho. A descrição é o primeiro momento desta comunicação. (MORAES, 1999)

Vamos descrever as respostas agrupadas por categorias.

A P1 (O que é a luz?) trouxe respostas, que foram incluídas em duas categorias, AP (se aproximam) e NA (não se aproximam).

A primeira categoria chamada de AP (aproxima) são respostas que, parcialmente ou totalmente, se aproximam das definições físicas dadas para a luz. Dentro dessa categoria há dois conjuntos de respostas.

O primeiro conjunto de respostas explica a luz como sendo a responsável por enxergarmos os objetos ao nosso redor citando que a luz bate no objeto, é refletida e chega aos nossos olhos. Aqui temos uma visão clássica da luz, como se aprende em aulas de Óptica Geométrica.

O segundo conjunto de respostas define a luz como uma onda eletromagnética. Novamente, é dada uma visão clássica para a luz.

O Quadro 15 traz exemplos das respostas para as duas categorias:

Quadro 15. Concepções iniciais dadas para a definição da luz – categoria AP

Definição para a luz	Aluno	Resposta
Responsável por enxergarmos as coisas.	47	<i>Luz é a claridade que bate nos objetos e o reflexo vem em nossos olhos, isso que faz a gente enxergar se não ouvesse²⁰ luz a gente não encheria nada como no escuro.</i>
Onda eletromagnética.	65	<i>Luz é uma onda eletromagnética.</i>

A segunda categoria denominada NA (não se aproxima) representa o conjunto de respostas que não se aproxima de definições físicas para a luz, ou seja, as concepções iniciais não se aproximam de definições que podemos considerar como científicas. Entre tais

²⁰ As respostas dos alunos foram transcritas sem correção ortográfica e de gramática. Eles se apresentam tal qual foram escritas pelos alunos.

respostas, há uma variedade de concepções iniciais trazidas pelos alunos, que veremos a seguir no Quadro 16:

Quadro 16. Concepções iniciais dadas para a definição da luz – categoria NA

Definição para a luz	Aluno	Resposta
Clareza	9	<i>Luz é clareza, quando está escuro, acendemos a luz e tudo clareia. Existe a luz do sol e a luz elétrica, a luz do sol é uma luz natural, já a luz do poste é artificial.</i>
Importante para a vida	14	<i>É um fator que nos possibilita a visão, sem luz não podemos enxergar, sem luz não sobreviveríamos, também possibilita outros processos, como por exemplo a fotossíntese nas plantas (que nos dá o oxigênio), ou seja, a luz é essencial para a nossa vida.</i>
Energia elétrica	37	<i>Luz é uma corrente de energia, e um fenômeno da física.</i>
Outras definições	41	<i>A luz é uma mistura de gases que quando juntos forma um tipo de gás luminoso que pode se manifestar de várias formas na atmosfera.</i>

Há várias respostas dadas pelos alunos que não se aproximam de definições físicas como as citadas anteriormente. Em síntese, o gráfico a seguir, traz todas as concepções iniciais sobre a definição do conceito de luz que se enquadram nas respostas da categoria NA:

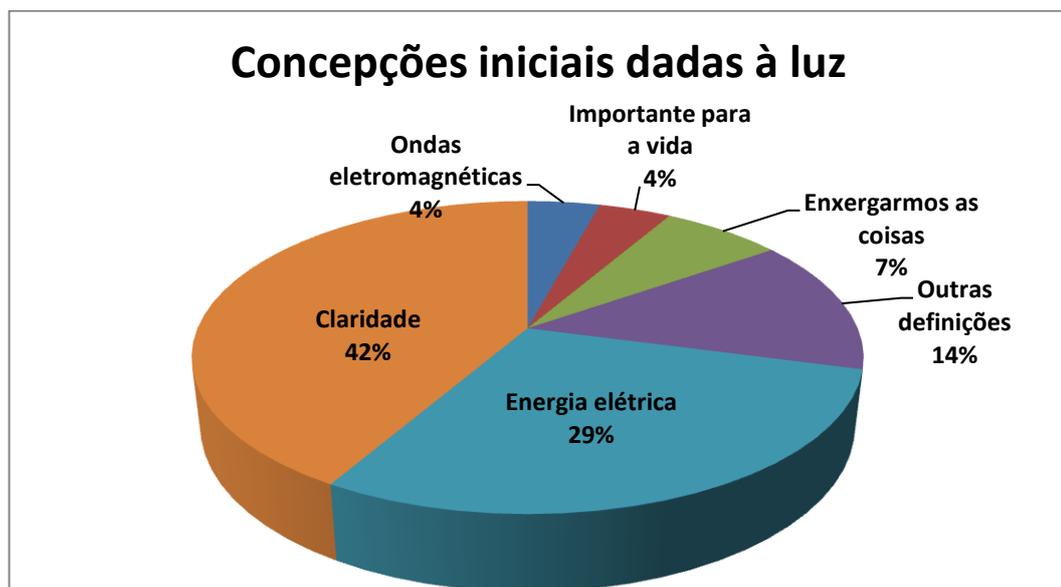


Figura 12. Concepções iniciais dadas à luz

As respostas trazidas pelo Quadro 15 e pelo Gráfico 1 foram divididas em quatro grupos:

- 5% relacionam a luz como sendo importante para a vida, como, por exemplo, no processo da fotossíntese. Apesar de ser uma resposta aceitável, não há para esta resposta uma aproximação com conceitos científicos.
- 17% trazem definições diversas para a luz que não podem ser associadas em um único grupo. A luz é citada como força magnética, mistura de gases, força ativada, etc. Embora alguns desses conceitos sejam de natureza científica, devido ao contexto da pergunta, eles não conceptualizam a luz da forma física correta. É como ocorre no uso da expressão “força magnética”.
- 31% definem a luz como sendo energia elétrica ou a relaciona com a eletricidade. Novamente é uma resposta aceitável, portanto, não explica a luz de uma forma cientificamente correta.
- 47% cita a luz como claridade ou como a responsável por deixar tudo claro permitindo nós enxergarmos as coisas. A resposta não se apresenta definições que se aproximam de conceitos científicos, embora não esteja errada.

A P2 procura compreender como os alunos explicam o funcionamento automático da luz dos postes. As respostas ficaram divididas entre duas categorias: AU (automatização) e SE (sensor).

Em síntese, o Gráfico 2 mostra quais são as concepções iniciais dos alunos ao responderem porque a luz dos postes se acende e se apaga sozinha:

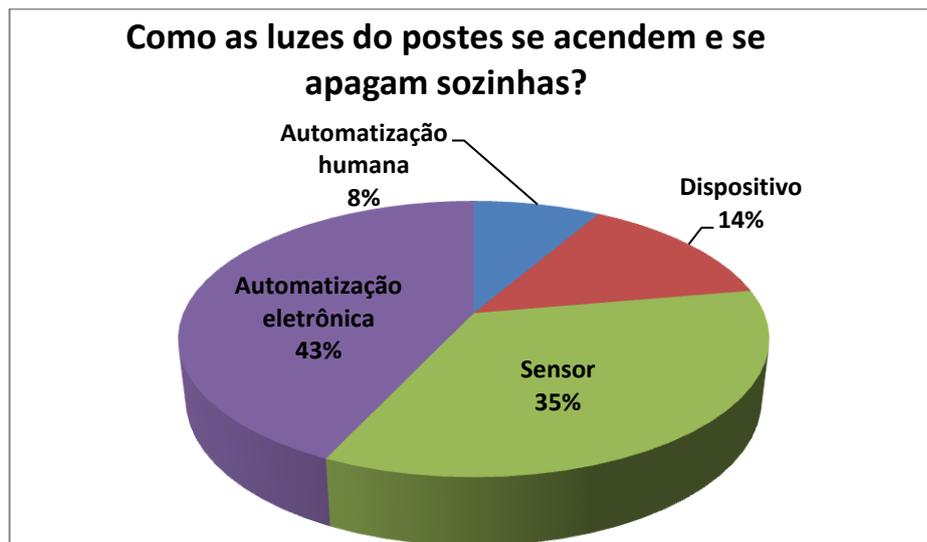


Figura 13. Concepções iniciais dadas ao funcionamento dos postes

A categoria AU (automatização) são respostas que explicam que a luz dos postes é controlada automaticamente por dispositivos eletrônicos como computadores programados

para isso, ou por seres humanos que fazem o serviço manualmente. Vejamos alguns exemplos no Quadro 17:

Quadro 17. Concepções iniciais dadas para o funcionamento dos postes – categoria AU

Concepção inicial	Exemplo
Automatização eletrônica	Aluno 5: <i>“É que quando fica tarde e como um programa que faz acender e quando amanhece o sol aparece esse programa apaga.”</i> Aluno 57: <i>“Com um tipo de maquina que está programada para apagar ou acender quando entardecer ou amanhecer.”</i>
Automatização humana	Aluno 2: <i>“Os próprios humanos comandam isso.”</i> Aluno 15: <i>“E o eletricista que acende e apaga a luz do poste que faz iluminar a rua em que nos andamos.”</i>

As concepções iniciais referentes à automatização eletrônica explicam que a luz dos postes se acende e se apaga sozinha porque existe um programa de computador, ou uma máquina que faz a luz acender e apagar.

Em relação às concepções que se relacionam com a automatização humana, o ser humano ou uma central de distribuidora de energia elétrica é responsável por acender e apagar a luz de uma forma manual e não programada.

A categoria SE (sensor) consiste numa categoria de respostas que explica que a luz dos postes se acende e se apaga sozinha por causa de um dispositivo que detecta a luz. A seguir, temos alguns exemplos no Quadro 18:

Quadro 18. Concepções iniciais dadas para o funcionamento dos postes – categoria SE

Concepção inicial	Exemplo
Sensor	Aluno 40: <i>“Na minha opinião, há algum tipo de censor no poste, e quando escurece, a luz acende, e quando o dia amanhece, e o sol chega, o censor percebe e apaga a luz do poste.”</i>
Dispositivo	Aluno 33: <i>“Há um dispositivo que pode identificar quando é dia ou noite”</i>

Nessa categoria, as respostas mostram que existe um sensor ou um dispositivo. Esses vão detectar se é dia ou noite e vão acender e apagar a luz sem a necessidade de programação computacional, eletrônica ou humana. 14% das respostas foram dadas para dispositivo e, 35%, para sensor.

Em síntese, temos que as respostas da Atividade I apresentaram as concepções iniciais dos alunos sobre duas questões distintas, a partir da Problematização Inicial.

Em relação à definição da natureza da luz, os alunos apresentaram as seguintes concepções: a luz são ondas eletromagnéticas; ela é importante para a vida; permite enxergarmos as coisas; a luz é claridade; é energia elétrica; dentre outras definições.

Sobre o funcionamento dos postes, parte das respostas explicou que a luz do poste se acende e se apaga sozinha por causa de um sensor, ou por causa de um dispositivo, ou seja, há uma interação da luz solar com o presente objeto. As demais concepções trouxeram que a luz se acende e se apaga via programação automática ou por controle humano. Essas respostas retratam que os alunos não compreendem que existe a interação da radiação com a matéria.

A Atividade II apresenta três perguntas. Reapresentamos cada uma delas novamente:

P3. O que é a luz?

P4. Para ouvirmos o “som de helicóptero”, foi necessário o uso do controle remoto. Além dele, o que mais provocou este som? Por quê?

P5. Quando ouvimos o “som de helicóptero”, ao apertarmos as teclas do controle remoto, significa que está ocorrendo o Efeito Fotoelétrico. Por que o barulho não continua, mesmo sem apertar tais teclas? Para a primeira pergunta da Atividade II também foram criadas duas categorias. A categoria AP (se aproximam) e a categoria NA (não se aproximam).

A categoria chamada de AP são respostas que, parcialmente ou totalmente, se aproximam das definições físicas dadas para a luz.

O Quadro 19 traz exemplo das respostas das naturezas dadas para a luz dentro da categoria AP.

Quadro 19. Exemplos de respostas trazidas na categoria AP

Exemplos
<i>Aluno 49: “A luz e uma partículas.”</i>
<i>Aluno 2: “A luz são ondas eletromagnéticas.”</i>
<i>Aluno 38: “A luz é uma onda e uma partícula. Ela pode ser as duas coisas.”</i>

A segunda categoria denominada NA representa o conjunto de respostas que não se aproximam de definições físicas dadas para a luz. Vejamos alguns exemplos no Quadro 19:

Quadro 20. Exemplos de respostas dadas na categoria NA

Exemplos
<i>Aluno 15: “Luz é a claridade que nos faz caminhar.”</i>
<i>Aluno 36: “Luz é um tipo de brilho que clarea quando esta escuro e nos encher para não tropeçar.”</i>
<i>Aluno 24: “E uma iluminação que clarea o ar para encherarmos tudo ao nosso redor.”</i>

As respostas da P4 e da P5 foram reagrupadas nas categorias: NC – cita interação e IN – não cita a interação. A categoria IN - cita a interação da luz com o fototransistor. A

categoria NC - não cita a interação da luz com o fototransistor, A seguir, no Quadro 21, estão alguns exemplos das respostas dadas agrupadas nesta categoria:

Quadro 21. Exemplos de respostas da categoria IN

Exemplos
P4
<i>Aluno 10: “A luz, pois ela liberou ondas eletromagnéticas que o LDR capitou, causando interferência”</i>
<i>Aluno 44: “Sim, layser, celular, lâmpada fluorescente e notebook. Porque a luz estava em contato com o fototransistor que estava dando interferência.”</i>
P5
<i>Aluno 4: “Quando para de apertar o infra vermelho para de ativar o LDR”</i>
<i>Aluno 8: “Porque ao apertar essas teclas que emitem os elétrons e acontece o efeito fotoelétrico.”</i>

A categoria NC, abrange-se um conjunto de respostas que não mencionam a interação da radiação com o fototransistor. A seguir estão os exemplos de respostas desta categoria no Quadro 22:

Quadro 22. Exemplos de respostas da categoria NC

Exemplos
P4
<i>Aluno 6: “Os celulares e as lampadas, porque elas emitem radiação.”</i>
<i>Aluno 14: “A luz, por causa da radiação que sai das lampadas.”</i>
P5
<i>Aluno 2: “Porque o controle não está emitindo infra-vermelho.”</i>
<i>Aluno 9: “Porque ele não aciona a luz infravermelha.”</i>

4.4.3 Análise dos dados e resultados

A análise dos dados culmina na etapa da interpretação da AC, pois de acordo com ela: *É importante que procure ir além, atingir uma compreensão mais aprofundada do conteúdo das mensagens através da inferência e interpretação.* (MORAES, 1999, p. 16)

Para isso, utilizamos a TCC, ou seja, vamos analisar os Conceitos-em-ação e os Teoremas-em-ação que os alunos utilizaram na Situação criada no MD verificando qual é a aproximação dos mesmos com conceitos e teoremas científicos. A análise é feita a partir das atividades propostas no módulo, ou seja, a partir das três questões elaboradas na Atividade II.

Enquanto na Atividade I, temos noções iniciais dos alunos tanto para a definição da luz quanto para a percepção da interação da luz com a matéria, na Atividade II, buscamos a interpretação por meio da Teoria dos Campos Conceituais, para essas mesmas visões da luz e da sua interação com a matéria.

Vamos analisar as respostas dadas pelos alunos. O Quadro 23 traz os exemplos das respostas da P3, que estão incluídas dentro da categoria AP, explicitando os Teoremas-em-ação e os Conceitos-em-ação.

Quadro 23. Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação elencados para a definição da luz – categoria AP

Porcentagem de respostas	Teoremas-em-ação	Conceitos-em-ação
7%	<i>Aluno 49: “A luz é uma partículas.”</i>	Partícula
	<i>Aluno 50: “Luz é partículas e massa.”</i>	Partícula e massa
34%	<i>Aluno 22: “É uma onda magnética.”</i>	Onda magnética
	<i>Aluno 2: “A luz são ondas eletromagnéticas.”</i>	Onda eletromagnética
59%	<i>Aluno 38: “A luz é uma onda e uma partícula. Ela pode ser as duas coisas.”</i>	Onda e partícula
	<i>Aluno 52: “A luz são ondas magnética e partículas”</i>	Onda magnética e partícula
	<i>Aluno 40: “São partículas e ondas eletromagnéticas.”</i>	Onda eletromagnética e partícula

Uma das visões da natureza da luz é a visão exclusivamente corpuscular, que corresponde a 7%. Para isso apresentamos os Teoremas-em-ação e os Conceitos-em-ação que fazem parte deste conjunto de respostas:

Partícula - Algumas respostas usam somente o Conceito-em-ação *partícula* na construção do Teorema-em-ação para a definição da luz, como o aluno 49. Ele se aproxima totalmente da definição física corpuscular dada para a luz.

Partícula e massa – Há respostas que trazem conjuntamente os Conceitos-em-ação *partícula e massa*, como o aluno 50. Tais respostas se aproximam de forma parcial do conceito físico dado para a luz, porque quando se fala que luz é massa, não faz sentido dentro de uma definição científica.

Outra visão dada para luz é a natureza ondulatória. O total de 34% das respostas apresenta em seus Teoremas-em-ação, Conceitos-em-ação que remetem a esta definição para a luz. A seguir, temos os Invariantes operatórios trazidos para estas respostas:

Onda eletromagnética - O mais correto para um teorema físico para luz é utilizar o Teorema-em-ação, que apresenta o Conceito-em-ação *onda eletromagnética*, assim como faz o aluno 2, já que esse é o conceito físico exato utilizado para definir a luz como onda.

Onda magnética - Ao se usar o Conceito-em-ação *onda magnética*, como é citado pelo aluno 22, nos leva a compreender que a luz tem uma natureza ondulatória, portanto, o uso do Conceito-em-ação *onda magnética* não é exatamente o que é utilizado na definição científica dada para a luz.

A maior parte das respostas, num total de 59%, retrata a luz com uma natureza dual, ou seja, a luz é uma onda e uma partícula ao mesmo tempo. Os Teoremas-em-ação, que apresentam os Conceitos-em-ação, que incluem esta visão para a luz são:

Onda magnética e partícula – é citado pelo aluno 52. Aproxima-se parcialmente da definição científica dada para a luz quando a mesma é definida como sendo dual. Novamente o uso do Conceito-em-ação *onda magnética* não se aproxima corretamente da definição física dada para luz, já que o mais adequado seria o uso do Conceito-em-ação *onda eletromagnética*.

Onda e partícula (citado pelo aluno 38) e *Onda eletromagnética e partícula* (citado pelo aluno 40) são os Conceitos-em-ação que melhor se aproximam da definição científica dada para a natureza dual da luz.

Em síntese, temos que os Teoremas-em-ação que se aproximaram de definições científicas retrataram a luz por meio de três naturezas distintas: natureza ondulatória, natureza corpuscular e natureza dual. O gráfico a seguir traz uma visão geral para as respostas dadas para esta pergunta em relação às definições dadas para a natureza da luz:

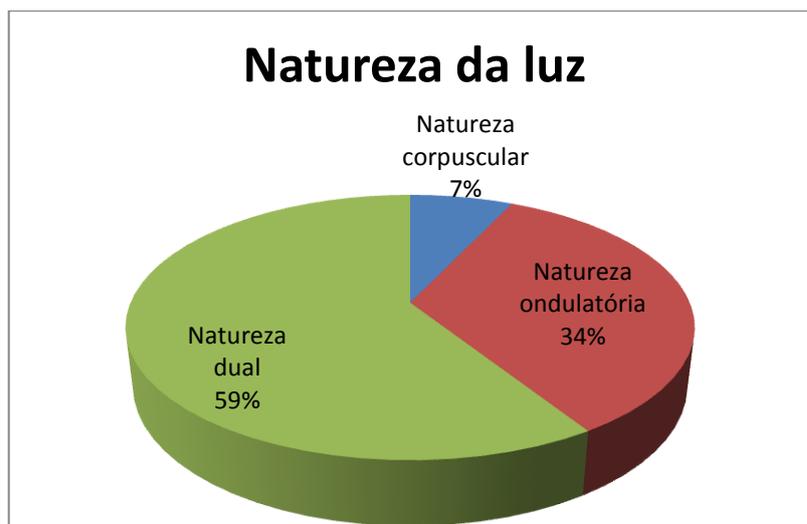


Figura 14. Definições da luz distribuídas na categoria AP

Dentro da categoria NA, apresentamos o conjunto de respostas que trazem Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação que não se aproximam de definições físicas dadas à luz. Vejamos alguns exemplos no Quadro 24:

Quadro 24. Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação elencados para a definição da luz – categoria NA

Teoremas-em-ação	Conceitos-em-ação
<i>Aluno 15: “Luz é a claridade que nos faz caminhar.”</i>	Claridade
<i>Aluno 36: “Luz é um tipo de brilho que clareia quando esta escuro e nos enche para não tropeçar.”</i>	Brilho
<i>Aluno 24: “É uma iluminação que clareia o ar para encherarmos tudo ao nosso redor.”</i>	Iluminação
<i>Aluno 5: “São elétrons que quando uma luz forte bate os elétrons anda e contém partícula mas não tem massa. E possui ondas eletromagnéticas que é chamado Efeito Fotoelétrico.”</i>	Elétrons
<i>Aluno 12: Luz são partículas elétricas que se compõem as ondas elétricas.</i>	Partículas elétricas
<i>Aluno 28: “A luz é quando as cargas de energia se chocam fazendo uma energia e a outra criar um feixe de luz.”</i>	Cargas de energia
<i>Aluno 54: “É uma corrente com uma onda eletromagnética.”</i>	Corrente
<i>Aluno 71: “É quando duas força de energia se chocam.”</i>	Forças de energia
<i>Aluno 7: “São ondas de protons que andam em linha reta, é que bater nos objetos e voltam nos nossos olhos, possibilitando visão nossa.”</i>	Ondas de prótons

Dos Teoremas-em-ação apresentados no quadro anterior, temos que:

- A luz é apresentada como *claridade*, *brilho* e *iluminação*. Tais Conceitos-em-ação não podem ser considerados como conceitos científicos, uma vez que não existem essas grandezas na Física, quando se define a luz.
- A luz é apresentada como *elétrons* e *corrente*. Embora esses Conceitos-em-ação sejam conceitos físicos, eles não fazem sentido dentro do teorema físico que define a luz.
- *Partículas elétricas*, *cargas de energia*, *forças de energia* e *ondas de prótons* são Conceitos-em-ação que não conseguem se aproximar de conceitos físicos, e assim, conseqüentemente, não explicam a luz de uma forma científica. Portanto, os Conceitos-em-ação isolados: *partículas*, *cargas*, *energia*, *forças*, *onda* e *prótons*, se aproximam de conceitos físicos.

Em resumo, os Teoremas-em-ação que não se aproximaram dos conceitos físicos para a luz apresentaram definições como brilho, claridade, iluminação, elétrons, partículas elétricas, cargas de energia, corrente, forças de energia, ondas de prótons, dentre outras.

As respostas da P4 e da P5 têm o objetivo de fazer com que os alunos percebam a existência da interação da radiação com a matéria, no caso, da luz com o fototransistor, através do Efeito Fotoelétrico. Suas respostas se apresentaram dentro das categorias: IN - cita a interação da luz com o fototransistor; categoria NC - não cita a interação da luz com o fototransistor.

A categoria IN traz respostas que mencionam a interação da radiação com o fototransistor. Vamos elencar os Teoremas-em-ação e os Conceitos-em-ação, trazidos pelos alunos, que explicitam esta interação como é apresentado no Quadro 25:

Quadro 25. Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação que retratam a interação da radiação com a matéria – categoria IN

Teoremas-em-ação	Conceitos-em-ação
P4	P4
<i>Aluno 10: “A luz, pois ela liberou ondas eletromagnéticas que o LDR capitou, causando interferência”</i>	<i>Ondas eletromagnéticas e LDR</i>
<i>Aluno 44: “Sim, layser, celular, lâmpada fluorescente e notebook. Porque a luz estava em contato com o fototransistor que estava dando interferência.”</i>	<i>Luz e fototransistor</i>
<i>Aluno 57: “O celular, a lampada, o notebook, a televisão, laizer, isso aconteceu por causa do Efeito Fotoelétrico.”</i>	<i>Efeito Fotoelétrico</i>
P5	P5
<i>Aluno 4: “Quando para de apertar o infra vermelho para de ativar o LDR”</i>	<i>Infravermelho e LDR</i>
<i>Aluno 8: “Porque ao apertar essas teclas que emitem os elétrons e acontece o efeito fotoelétrico.”</i>	<i>Elétrons e Efeito Fotoelétrico</i>
<i>Aluno 32: “Por que não tem mais o contato das luzes com o sensor que faz o “barulho de helicóptero”.”</i>	<i>Luz e sensor</i>

O primeiro exemplo retrata um conjunto de respostas que utilizam os Conceitos-em-ação *ondas eletromagnéticas* e *LDR* ao elaborar um Teorema-em-ação que explica que o “barulho de helicóptero” ou interferência (como é chamado na resposta do aluno 10) é causado por ondas eletromagnéticas liberadas pela luz que são captadas pelo LDR. Apesar de o aluno utilizar o termo LDR em vez de fototransistor, compreendemos que essa explicação deixa explícita a compreensão da existência da interação da radiação com o fototransistor, ou seja, está ocorrendo o Efeito Fotoelétrico, embora o aluno não explicita esta última informação.

Os Conceitos-em-ação trazidos pelo aluno 44 são *luz* e *fototransistor*. O Teorema-em-ação retrata que a luz interage com o fototransistor, provocando interferência que seria o “som de helicóptero”.

Já, o aluno 57 apresenta um conjunto de respostas que citam que o “som de helicóptero” ocorre porque está ocorrendo o Efeito Fotoelétrico, de forma bem explícita e clara. Portanto, o barulho não ocorre para o *notebook* e para televisão, como cita esse aluno.

O aluno 4, por sua vez justifica que o barulho pelo fato de que o infravermelho não ativa mais o LDR. Apesar de utilizar o Conceito-em-ação *LDR* ao invés de *fototransistor*, este Teorema-em-ação retrata a compreensão de que há interação da radiação com a matéria.

A resposta do aluno 8 abrange respostas que explicam que as teclas emitem elétrons que fazem ocorrer o Efeito Fotoelétrico. Apesar do Conceito-em-ação, *elétrons*, não estar adequando diante da explicação científica, fica claro também que este Teorema-em-ação retrata a interação da radiação com a matéria, por meio da citação direta da ocorrência do Efeito Fotoelétrico.

O aluno 32 utiliza os Conceitos-em-ação *luz* e *sensor*. Aqui fica claro que o Teorema-em-ação apresentado explicita a interação da radiação com a matéria, já que cita que a luz não está mais em contato com o sensor.

A categoria NC abrange um conjunto de respostas que não mencionam a interação da radiação com o fototransistor. Para compreender melhor a não citação, vamos apresentar os Teoremas-em-ação e os Conceitos-em-ação como transcritos nestas respostas do Quadro 26:

Quadro 26. Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação que retratam a interação da radiação com a matéria – categoria NC

Teoremas-em-ação	Conceitos-em-ação
P4	P4
Aluno 6: “Os celulares e as lampadas, porque elas emitem radiação.”	<i>Radiação</i>
Aluno 14: “A luz, por causa da radiação que sai das lampadas.”	<i>Radiação</i>
Aluno 29: A lâmpada porque a radiação dela e bem grande e esta ocorrendo o Efeito Fotoelétrico.	<i>Radiação e Efeito Fotoelétrico</i>
P5	P5
Aluno 2: “Porque o controle não está emitindo infra-vermelho.”	<i>Infravermelho</i>
Aluno 9: “Porque ele não aciona a luz infravermelha.”	<i>Luz infravermelha</i>
Aluno 26: “Não continua por causa do infra vermelho”	<i>Infravermelho</i>

Os Teoremas-em-ação apresentados pelas respostas dos alunos 6, 14 e 29 representam um conjunto de respostas que utilizam o Conceito-em-ação *radiação*, exceto o aluno 29, que também utiliza o Conceito-em-ação *Efeito Fotoelétrico*. Ao explicarem que a radiação é emitida, seja pelo celular ou pela lâmpada, tais respostas não fazem uma menção direta da interação desta radiação com o fototransistor, portanto, fica implícita esta relação.

As respostas dos alunos 2, 9 e 26 utilizam o Conceito-em-ação *infravermelho* ou *luz infravermelha* para explicar que o barulho do helicóptero não continua porque não está sendo emitida a luz infravermelha. Também não fica explícita a citação da interação da luz infravermelha com o fototransistor, mas o fato de citar que ela não está sendo emitida pode se inferir que existe sim esta interação.

Em síntese, temos que as perguntas P4 e P5 procurou compreender se há a interação da luz com o fototransistor, através do Efeito Fotoelétrico. Há respostas que citam a interação da luz com o fototransistor, de forma explícita e, há respostas para as duas perguntas que não citam a interação da radiação com a matéria de forma bem clara. Isso ocorre de forma implícita. Destacamos os Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação²¹ apresentados que contribuíram para a concepção de que a luz interage com a matéria:

- Captação de *ondas eletromagnéticas* pelo *LDR*;
- Interferência da *luz* no *fototransistor*;
- Ocorrência do *Efeito Fotoelétrico*;
- Ativação do *LDR* pelo *infravermelho*;
- Contato da *luz* com o *sensor*.
- Emissão de *radiação*.
- Emissão da *luz infravermelha*.

Na Atividade I, os alunos do E.F. definiam a luz utilizando conceitos não científicos, por exemplo, a luz era definida como claridade. Após a aplicação do MD, os alunos apresentaram Conceitos-em-ação e Teoremas-em-ação que se aproximaram de conceitos e teoremas científicos para luz: a luz é uma partícula; a luz é uma onda; a luz é uma onda e uma partícula. Assim, a luz passou a ter uma definição mais elaborada de uma forma mais científica.

O experimento permitiu a compreensão da existência da interação da radiação com a matéria. Na primeira atividade os alunos não conseguiam explicar porque a luz do poste se

²¹ Está em itálico.

acendia e se apagava sozinha, não sabendo explicar que existia a interação da luz solar com o dispositivo LDR presente no poste. Após a aplicação do MD, os alunos perceberam a existência da interação do infravermelho emitido pelo controle remoto com o fototransistor do experimento, já que, se as teclas do controle deixassem de ser pressionadas, não haveria mais barulho e quando elas fossem tocadas novamente, o “som de helicóptero” voltaria.

A definição de Efeito Fotoelétrico foi compreendida no MD, mas de forma prática, com o experimento. Inicialmente os alunos não tinham noção do que seria esse fenômeno, mas ao perceberem que o “som de helicóptero” ocorria por causa da interação do infravermelho com o fototransistor, eles passaram a nomear o fenômeno ocorrido como Efeito Fotoelétrico.

Dentro da rede de conceitos do CC Dualidade Onda-partícula, os alunos conseguiram ter uma noção prévia dos conceitos: Efeito Fotoelétrico, Semicondutividade, Interação da Radiação com a Matéria, Dualidade Onda-partícula, Ondas eletromagnéticas, Modelo Corpuscular da Luz e Modelo Ondulatório da Luz.

Diante dos resultados que o MD propiciou, verifica-se que foi possível a introdução de um tópico de FM no EF, ou seja, do EFO, que contou com o uso de um experimento de baixo custo.

Entretanto, destacamos algumas dificuldades referentes à elaboração, aplicação e análise do MD. Apesar do cuidado tomado no uso de uma linguagem apropriada para elaborar os textos desse material e utilizar imagens que contribuíssem para a compreensão do tópico a ser ensinado, ainda sim, nos esbarramos num vocabulário que exigiu mais atenção, assim como imagens mais compreensíveis. Do módulo-piloto para o módulo reelaborado houve algumas adaptações que foram necessárias após a sua aplicação. Isso mostra as limitações desse material e que o mesmo também pode ser modificado para se adequar às necessidades de alunos do EF.

A escolha de assuntos dentro do EFO se restringiu ao objetivo da pesquisa de se introduzir FM no EF, no sentido de dar uma ênfase fenomenológica, ou seja, deixar claro que há interação da radiação com a matéria. Logo, quando se construiu este material houve uma reflexão sobre a importância da escolha de alguns assuntos que levariam a esse objetivo, mas que de certa forma não contribuiu com o aprendizado do aluno devido a sua complexidade. Isso aconteceu com a seleção e explicação do assunto referente à Função Trabalho.

A proposta de aplicação do experimento de baixo custo no qual há a interação do infravermelho de um controle remoto com um circuito montado contendo vários elementos, dentre eles, um LDR, também apresentou problemas. Em primeiro lugar, esse dispositivo teve

que ser substituído por um fototransistor já que o experimento não funcionava com o LDR. Após montado, o mesmo ficou somente em caráter de exposição apresentando pouca interatividade com os alunos. Estas foram algumas limitações que levaram à discussão da relevância de sua aplicação.

A análise das respostas permitiu verificar um aprendizado que levou os alunos a compreenderem a existência da interação da radiação com a matéria e que a luz tem uma natureza dual. Os alunos aprenderam que a luz é onda e partícula, mas isso se apresenta de forma superficial, o que não justifica que os alunos saibam conceituar exatamente a luz de forma correta e científica. Agora, essas definições fazem parte de seus repertórios de esquemas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo inicial de nosso trabalho foi analisar os resultados provenientes da aplicação de um Módulo Didático com o intuito de introduzir o Efeito Fotoelétrico no último ano do Ensino Fundamental, que na pesquisa, foi aplicado em três escolas distintas sul mineiras.

Primeiramente, procuramos na literatura trabalhos que traziam justificativas para a introdução da FM no Ensino Médio, uma vez que essa questão já tem sido difundida nas pesquisas de Ensino de Ciências há mais de uma década. A partir deste debate, prolongamos as discussões para a introdução da FM no EF, no qual apresentamos, a seguir, alguns dos pontos relevantes neste contexto:

- O EF necessita de uma reforma curricular na área das Ciências Naturais, na qual se insere a Física.
- Alunos do EF estão em contato com aparelhos e artefatos atuais e também se deparam com diversos fenômenos cotidianos que somente são compreensíveis pela FM;
- Estes alunos também podem ser instigados através do que o futuro pode apresentar no que se refere aos desafios propostos pela Física e ao desenvolvimento da ciência;
- Estão aptos a realizar alguns dos experimentos referentes a tópicos de FM propostos por alguns trabalhos acadêmicos.

A partir da aplicação do MD que teve como tema central o Efeito Fotoelétrico, ao situarmos este tópico nas justificativas acima, percebemos que ele se enquadra dentro das justificativas anteriores, tais como apresentamos nos desdobramentos a seguir:

- O EFO não está presente de uma forma explícita nas propostas curriculares do EF, nem nos PCNs e nem nos CBCs;
- Ele explica o funcionamento de aparelhos e artefatos como os postes de iluminação pública, câmeras de celulares, visores sensíveis à radiação infravermelha, esteiras de supermercado, portas automáticas de prédios, dentre outros.

- O EFO pode ser introduzido e explicado a partir de experimentos de baixo custo que podem ser utilizados e construídos por alunos do EF, que se torna uma ferramenta de aprendizagem.

Focando novamente no MD, iniciou-se um trabalho de busca de indicadores que permitiram o encontro de bases essenciais para a construção deste material, com foco no objetivo da pesquisa. Cada aula foi planejada tomando também como base os objetivos necessários destinados a essa etapa da Educação Básica pela LDB e os objetivos necessários para o ensino e aprendizagem dentro das Ciências Naturais.

De acordo com o artigo 32 da LDB (1996), o EF deve promover a formação básica do cidadão, por meio de diferentes aspectos, tais como a compreensão do ambiente natural e da tecnologia. O EFO se aproxima tanto de um, quanto de outro, já que ele promove a compreensão de diversos aparatos tecnológicos, assim como apresenta uma natureza fenomenológica presente em outras situações do cotidiano, como, por exemplo, na fotossíntese, no diagnóstico obtido por chapas de raios-x, no tratamento de câncer através da radioterapia, dentre outros.

Desta forma, foi construído e aplicado o MD, constituído por três aulas. O pesquisador se envolveu em todas as etapas da pesquisa, que foi desde a construção do material, que envolveu também a aplicação de um piloto, até a sua aplicação, sendo esse um aspecto relevante nesse trabalho.

Baseando-se nos aspectos metodológicos de construção do MD, foi possível perceber que os Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1994) se adequaram à introdução da FM no EF, porque tal metodologia estava focada no tema “EFO”, ou seja, esta metodologia é pautada em trabalhos temáticos. Isso é relevante quando enxergamos o EFO dentro de um tema mais abrangente: a interação da radiação com a matéria.

Além disso, os Três MPs também se apresentaram como ferramenta complementar em parte do processo da tomada da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1996) como instrumento de planejamento e de análise de atividades de intervenção didática. Nessa metodologia, Situações foram criadas no sentido de tarefa a ser cumprida, das quais foram elencados Conceitos-em-ação e Teoremas-em-ação que contribuíram para o processo de conceitualização da luz.

Se, na Aplicação do Conhecimento, é sistematizado o conhecimento que foi incorporado pelo aluno através de exercícios e problemas, então é possível criar Situações dentro do terceiro MP. Isso foi feito em nosso trabalho, dentro do MD e as respostas dadas pelos alunos se tornaram nosso objeto de análise.

Para a análise dos dados obtidos, no intuito de compreender como foi o aprendizado dos alunos, também foi tomada como base a Teoria dos Campos Conceituais, que juntamente com a Análise de Conteúdo de Moraes (1999), permitiu a apresentação, a descrição e interpretação dos dados.

Aqui destacamos mais um ponto relevante, uma vez que a AC envolve cinco etapas: preparação das informações; unitarização; categorização; descrição; e interpretação. Nessa última etapa os dados podem ser interpretados de diversas formas, inclusive tomando como base a TCC, ou seja, os Conceitos-em-ação e os Teoremas-em-ação podem ser interpretados com o intuito de compreender o quanto eles se aproximam dos conceitos e dos teoremas científicos. No caso, os mesmos foram apresentados pelos alunos dentro das atividades propostas no MD.

Os resultados promoveram uma consistência satisfatória no que se refere ao aprendizado do EFO, uma vez que os alunos do EF, diante da introdução de um tópico de FM, apresentaram conceitos e teoremas que se aproximaram dos científicos para explicar o fenômeno proposto no MD.

Alguns também se distanciaram dos conceitos, mas os novos Invariantes operatórios desenvolvidos ficaram presentes nos Esquemas dos alunos que em outra oportunidade de estudo do EFO, poderão ser apresentados e novamente modificados. Por exemplo, a definição da luz como onda e/ou partícula.

É importante ressaltar que a construção, aplicação e análise do MD alcançaram os objetivos da pesquisa. Embora os alunos do EF participantes na pesquisa não saibam definir o EFO assim como é feito pelos alunos do EM, a base fenomenológica ficou clara, ou seja, os alunos conseguiram compreender que a luz pode interagir com a matéria.

Aproximando-se ou não da conceitualização do EFO, o MD promoveu a apresentação de conceitos que são essenciais para a compreensão do fenômeno. Dentre eles, está o conceito de luz que pelas respostas dos alunos foi explicado como sendo onda, partícula ou com natureza dual.

O uso de um experimento de baixo custo se tornou crucial em diferentes aspectos:

- Foi relevante para a introdução do EFO no EF;
- Promoveu a percepção de que a radiação pode interagir com a matéria, contribuindo assim na discussão importante desta pesquisa no que se refere à base fenomenológica comum de fenômenos diversos;

- Apresentou-se como uma valiosa ferramenta no processo de criação de Situações com o intuito de fazer com que os alunos percebam Conceitos-em-ação e Teoremas-em-ação.

É importante compreender que a eficácia de se introduzir tais tópicos não está na complexidade de que é feito este processo e nem na análise minuciosa do processo de ensino e aprendizagem na qual se deve ter um rigor e exigência de que todos os conceitos envolventes no tópico devem ser compreendidos pelos alunos. O processo consiste em introduzir alguns dos conceitos e aceitar que eles não serão desenvolvidos somente nessa atividade inicial, e sim, ao longo de diversos processos de ensino e aprendizagem aos quais o aluno ainda será submetido.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. C. P. **Uma alternativa para o ensino de Física Quântica Introdutória, numa perspectiva de Aprendizagem Significativa através da utilização do software “Física com Ordenador” e de mapas conceituais.** 2004. 212 p. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho de Bauru, São Paulo.
- ALVARENGA, L. L. **Introdução à Física Moderna no Ensino Médio através da Discussão do Dualismo Onda-Partícula.** 2008. 127 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física) - Universidade do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.
- ALVES, E. G. **Um estudo multimodal de textos didáticos sobre o Efeito Fotoelétrico.** 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade de Minas Gerais, Minas Gerais.
- AMORIM, M. A. **Efeito Fotoelétrico e sua história: recurso didático à luz da epistemologia de Thomas Kuhn.** 2012. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco.
- BOSS, S. L. B. SOUZA FILHO, M. P. MIANUTTI, J. CALUZI, J. J. Inserção de conceitos e experimentos físicos nos anos iniciais do Ensino Fundamental: uma análise à luz da Teoria de Vigotski. **Revista Ensaio.** V. 14, n. 3, p. 289-312, 2012.
- BRASIL, **Lei nº 9.394**, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, v.134, n.248, p.27833-41, 23 de dezembro de 1996. Seção 1, Lei Darcy Ribeiro.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Fundamental.** Brasília: Ministério da Educação, 1997.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Fundamental.** Brasília: Ministério da Educação, 1998.
- CARDOSO, S. O. O. **Ensinando o Efeito Fotoelétrico por meio de simulações computacionais: elaboração de aula de acordo com a teoria da aprendizagem significativa.** 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências e Matemática) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Minas Gerais.
- CARUSO, F. OGURI, V. **Física Moderna – Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos.** 2ª reimpressão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006, 608 p.
- CARVALHO, A. M. P. VANNUCCHI, A. O currículo de Física: inovações e tendências nos anos noventa. **Investigações em Ensino de Ciências.** v. 1, p. 3-19, 1996.
- CARVALHO JR., G. D. de. AGUIAR JR., O. Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física.** v. 25, n. 2, p. 207-227, 2008.

CAUM, C. GALIETA, T. O “Conteúdo Básico Comum”: análise linguística da Proposta Curricular de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**. v. 5, n. 3, 2012.

CAVALCANTE, M. A. TAVOLARO, C. R. C. Uma caixinha para estudo de espectros. **Física na Escola**. v. 3, n. 2, p. 40-42, 2002.

CAVALCANTE, M. A. TAVOLARO, C. R. C. HAAG, R. Experiências em Física Moderna. **Física na Escola**. v. 6, n. 1, p. 75-82, 2005.

DAVIS, Cláudia. OLIVEIRA, Z. **Psicologia na Educação**. São Paulo. Cortez, 1990.

DELIZOICOV, D. ANGOTTI, J.A. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 1994.

EISBERG, H. RESNICK, R. **Física Quântica – Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Tradução de Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. v. único. 10ª reimpressão. Rio de Janeiro: Campus, 1979, 928 p.

ESCUADERO, C. MOREIRA, M. A. CABALLERO, M. C. Teoremas-em-acción y conceptos-en-acción en clases de Física Introductoria en secundaria. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. v. 2, n. 3, 201-226, 2003.

FANARO, M. de los A. OTERO, M. R. MOREIRA, M. A. Teoremas-em-acto y conceptos-em-acto en dos situaciones relativas a la noción de sistema cuántico. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 9, n. 3, 2009.

FERREIRA, N. O. **Utilizando o ciclo da experiência de Kelly para investigar a compreensão do comportamento dual da luz**. 2005. 151 p. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco.

FILGUEIRA, S. S. **O lúdico no ensino de física: elaboração e desenvolvimento de um minicongresso com temas de física moderna no Ensino Médio**. 2009. 104 p. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Goiás, Goiás.

GASPAR, A. MONTEIRO, I. C. C. Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da Teoria de Vygotsky. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 10, n. 2, p. 227-254, 2005.

GOMES, V. C. **O uso de Simulações Computacionais do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio**. 2011. 112 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba.

KESSLER, S. L. **O Ensino de Física Moderna no Ensino Médio: Necessidades e dificuldades no Oeste Catarinense**. 2005. 106 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

KREY, I. **Implementação de uma Proposta de Ensino para a disciplina de Estrutura da Matéria Baseada na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud**. 2009. 256 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

LENZ, J. A. FLORCZAK, M. A. Atividade experimental: conservação da energia mecânica. **Física na Escola**. V. 13, n. 1, 2012.

MANGILI, A. I. **Heinrich Rudolph Hertz e o Efeito Fotoelétrico**. 2011. 122 f. Dissertação (Mestrado em História da Ciência) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo.

MEDEIROS S. C. S. COSTA, M. F. B. da C. LEMOS, E.dos S. O ensino e aprendizagem dos temas fotossíntese e respiração: práticas pedagógicas baseadas na aprendizagem significativa. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. v. 8 N. 3, 2009.

MELHORATO, R. L. NICOLI, G. T. Da física clássica a moderna: o simples toque de uma sirene. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 34, n. 3, 2012.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais. **Conteúdos Básicos Comuns: Ciências – Ensino Fundamental**. Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais, 2005.

MORAES, R. Análise de Conteúdo. **Revista Educação**. Porto Alegre, n37, Março 1999.

MOREIRA, M. A. A teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 7, n. 1, p. 7-29, 2002.

MUENCHEN, C. **A disseminação dos três momentos pedagógicos: um estudo sobre práticas docentes na região de Santa Maria/RS**. 2010. 273 p.. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

MUENCHEN, C. DELIZOICOV, D. Os três momentos pedagógicos na edição de livros para professores. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**. v. 1, n. 1, p. 84-97, 2011.

NOBREGA, F. K. MACKEDANZ, L. F. O LHC (Large Hadron Collider) e a nossa física de cada dia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 35, n. 1, 2013.

OLIVEIRA, F. F. VIANNA, D. M. GERBASSI, R. S. Física Moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.

OLIVEIRA, E. S. LIMA, I. S. DUTRA, G. Construção de fonte para banco óptico de baixo custo. **Física na Escola**. V. 13, n. 1, 2012.

OSTERMANN, F. **Tópicos de Física Contemporânea em Escolas de Nível Médio e na Formação de Professores de Física**. 1999. 433f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

OSTERMANN, F. CAVALCANTI, C. J. H. Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola. **Física na Escola**. v. 2, n. 1, p. 13-18, 2001.

OSTERMANN, F. MOREIRA, M. A. Tópicos de Física Contemporânea na Escola Média: um Estudo com a Técnica Delphi, anais do VI EPEF. Florianópolis, 1998.

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, p. 23-48, 2000.

PARANHOS, R. R. G. RICHARD, V. L. PIZANI, P. S. Lâmpada de Hg para experimentos e demonstrações de física moderna: introdução ao efeito fotoelétrico e outros tópicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 30, n. 4, p. 4502.1-4502.6, 2008.

PARISOTO, M. F. MORO, J. T. MOREIRA, M. A. **Teoremas e Conceitos-em-ação na Física Aplicada na Medicina. XIX SNEF – Manaus – 2011.**

PENA, F. L. A. RIBEIRO FILHO, A. Obstáculos para o uso da experimentação no ensino de Física: um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas brasileiras publicados em periódicos nacionais da área (1971-2006). **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 9, n. 1, 2009.

PEREIRA, J. L. **Controvérsia entre o modelo corpuscular e ondulatório da luz: um caminho para o ensino da óptica no nível médio**. 2011. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências e Matemática) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro. 58f.

PINO, P. V. OSTERMANN, F. MOREIRA, M. A. Concepções epistemológicas veiculadas pelos parâmetros curriculares nacionais na área de ciências naturais de 5º a 8º série do Ensino Fundamental. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 5, n. 2, 2005.

REZENDE, F. OSTERMANN, F. Formação de professores de Física no Ambiente Virtual Interage: Um exemplo voltado para a introdução da FMC no Ensino Médio. **Física na Escola**. v. 5, n. 2, p. 15-19, 2004.

REZENDE JR., M. F. **O processo de conceitualização em situações diferenciadas na formação inicial de professores de física**. 2006. 276 p. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

RIBEIRO, J. L. P. VERDEAUX, M. F. S. Reflexão e polarização em óculos 3D. **Física na Escola**. V. 13, n.1, 2012.

RICARDO, E. C. Implementação dos PCN em sala de aula: dificuldades e possibilidades. **Física na Escola**. V. 4, n. 1, 2003.

RICARDO, E. C. ZYLBERSZTAJN, A. Os parâmetros curriculares nacionais na formação inicial dos professores das Ciências da Natureza e Matemática do Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 12, n. 3, p. 339-355, 2007.

ROCHA FILHO, J. B. SALAMI, M. A. HILLEBRAND, V. Construção de uma célula fotoelétrica para fins didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 555-561, 2006.

ROSA, C. W. ROSA, A. B. PECATTI, C. Atividades experimentais nas séries iniciais: relato de uma investigação. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. v. 6, n. 2. 263-274. 2007.

SACRISTÁN, J. G. **O currículo**: uma reflexão sobre a prática. Tradução Ernani F. da F. Rosa. 3 ed. Porto Alegre: ArtMed, 2000.

SCHOREDER, C. Uma proposta para a inclusão da Física nas séries iniciais do Ensino Fundamental. Uma proposta para a inclusão da Física nas séries iniciais do Ensino Fundamental. **Experiências em Ensino de Ciências**. v. 1. n. 1. P. 23 – 32, 2006.

SCHULZ, P. A. B. Nanociência de baixo custo em casa e na escola. **Física na Escola**. V. 8, n. 1, 2007.

SILVA, A. C. ALMEIDA, M. J. P. M. Física Quântica no Ensino Médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 28, n. 646, p. 624-652, 2011.

SILVA, A. I. **O Efeito Fotoelétrico: Contribuições ao Ensino de Física Contemporânea no Segundo Grau**. 1994. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

SILVA, L. F. ASSIS, A. Física Moderna no Ensino Médio: um experimento para abordar o Efeito Fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.29, n. 2, p. 313-324, 2012.

SILVA NETO, J. **A Física Moderna no Processo de Formação de Técnicos na Área de Radiologia Médica**. 2008. 156 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física) – Universidade do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

SIQUEIRA, M. PIETROCOLA, M. Espalhamento de Rutherford na sala de aula do Ensino Médio. **Física na Escola**. v. 11, n. 2, p. 9-11, 2010.

SOARES, M. S. **Introdução de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio por Meio do Estudo de Ondas Eletromagnéticas**. 2009. 104 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências) – Universidade de Brasília, Brasília.

SOUSA, C. M. S. G. FÁVERO, M. H. Análise de uma situação de resolução de problemas de Física, em situação de interlocução entre um especialista e um novato, à luz da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 7, n. 1, p. 55-75, 2002.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v.9, n.3, p.209-214, 1992.

VALADARES, E. C. MOREIRA, A. M. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v. 15, n. 2: p. 121-135, 1998.

VASCONCELOS, F. H. L. **Objeto de aprendizagem como ferramenta de modelagem computacional exploratória ao Ensino de Física**. 2008. 137 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) – Universidade Federal do Ceará, Ceará.

VERGNAUD, G. A Teoria dos Campos Conceituais. In: BRUN, Jean (dir.). **Didáctica das matemáticas**. Trad. Maria José Figueiredo. Lisboa: INSTITUTO PIAGET, p. 155–191,1996.

ZOMPERO, A. de F. LABURU, C. E. Significados de fotossíntese apropriados por alunos do Ensino Fundamental a partir de uma atividade investigativa mediada por múltiplos modos de representação. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 16, n. 2, p. 179-199, 2011.

ANEXOS

ANEXO A – MÓDULO DIDÁTICO ADAPTADO APÓS AS AULAS PILOTOS

Este material representa o Módulo Didático adaptado após as aulas-pilotos. Deve ser usado pelo professor como um plano de três aulas.

MÓDULO DIDÁTICO – 3 AULAS

O Efeito Fotoelétrico

Este Módulo Didático aborda o fenômeno conhecido como Efeito Fotoelétrico. Este fenômeno foi crucial para o reaparecimento do modelo corpuscular da luz através da explicação dada por Albert Einstein.

Objetivos gerais

Compreender a natureza da luz como partícula a partir da explicação do Efeito Fotoelétrico.

Conteúdo

Efeito Fotoelétrico.

Quadro Sintético

Sua estruturação tem como base os Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1994): Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento.

Atividade	Momento Pedagógico	Tempo
1. Introdução e Problematização	<i>Problematização Inicial</i>	1 aula (50 min)
	Preenchimento da <i>Atividade I.</i> (15 minutos) Leitura do <i>Texto Didático I.</i> (10 minutos) Discussão da <i>Atividade I</i> e do <i>Texto Didático I.</i> (25 minutos)	
2. Explicação do Efeito Fotoelétrico	<i>Organização do Conhecimento</i>	1 aula (50 min)
	Leitura do <i>Texto Didático II.</i> (20 minutos) Explicação do Efeito Fotoelétrico a partir do <i>Texto Didático II.</i> (30 minutos)	
3. Aplicação do Conhecimento	<i>Aplicação do Conhecimento</i>	1 aula (50 min)
	Exibição e explicação de um experimento de baixo custo: <i>“Ouça seu controle remoto!”</i> . (20 minutos) Realização da <i>Atividade II.</i> (30 minutos)	
	Total	3 aulas (150 min)

AULA 1 – INTRODUÇÃO E PROBLEMATIZAÇÃO

Objetivo: Compreender a interação existente entre a radiação e a matéria, a partir da existência de fenômenos naturais, da vida e da tecnologia, relacionando posteriormente com a noção do fenômeno conhecido como Efeito Fotoelétrico.

Conteúdo: Onda, Partícula, Luz, Radiação e Efeito Fotoelétrico.

Desenvolvimento Metodológico:

Primeira Parte: Será dada a *Atividade I* aos alunos para que façam individualmente, respondendo às duas questões propostas. (15 minutos)

Atividade I

Responda as perguntas a seguir:

1. *O que é a luz?*
2. *Ao caminhar pelas ruas, você já deve ter visto que ao entardecer, as luzes dos postes se acendem sozinhas. Elas irão se apagar somente ao amanhecer do outro dia. Como as luzes dos postes se acendem e se apagam sozinhas?*

Segunda Parte: Será dado o *Texto Didático I* para ser lido por todos individualmente e depois em voz alta. (10 minutos)

Texto Didático I – O Efeito Fotoelétrico no cotidiano

Olhando ao nosso redor, vemos que a tecnologia tem avançado ao longo dos anos e que, a cada dia mais, está presente no nosso dia a dia.

Ao caminhar pelas ruas você perceberá que as luzes dos postes de iluminação pública se acendem e se apagam sozinhas. Em suas mãos você poderá estar com um celular, ouvindo música, fazendo uma ligação ou tirando uma fotografia de você mesmo para colocar numa rede social. Mas você já parou para pensar por que as luzes dos postes se acendem e se apagam sozinhas? Vamos responder a esta pergunta.

Para entendermos o funcionamento do sistema de iluminação pública, é necessário compreendermos o que é uma célula fotocondutiva. Ela é feita de materiais como o sulfeto de cádmio. Quando se incide uma luz sobre ela, os elétrons, em vez de serem extraídos do material, permanecem nela como elétrons livres, diminuindo sua resistência elétrica, tornando-a mais condutora. Este tipo de material apresenta resistência elétrica muito alta em ambientes escuros e muito baixa em ambientes bem iluminados. Esses materiais constituem os fotorresistores LDR (Light Dependent Resistor).

Logo, a iluminação de postes de ruas depende do dispositivo LDR. Quando ele é exposto ao sol, ele passa a dispor de elétrons livres, diminui sua resistência, permitindo

assim que a corrente elétrica possa passar através de uma bobina que desligará a lâmpada. À noite, a resistência é alta, impede a corrente de passar pela bobina que ligará a lâmpada.

Por detrás da situação anterior, está um fenômeno chamado Efeito Fotoelétrico. Este fenômeno foi observado pela primeira vez, por Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894), nos anos de 1886 e 1887, ao confirmar experimentalmente a existência de ondas de rádio.

O Efeito Fotoelétrico é a emissão de elétrons por materiais condutores e semicondutores quando atingidos por radiação eletromagnética com uma determinada frequência específica.

Terceira Parte: Serão discutidas as questões da **Atividade I** associando com o **Texto Didático I**. (25 minutos)

Recursos didáticos: Apresentação em slides, data show, lousa e giz, material impresso.

Tempo: 50 minutos

AULA 2 – EXPLICAÇÃO DO EFEITO FOTOELÉTRICO

Objetivo: Compreender e explicar o Efeito Fotoelétrico a partir da explicação dada por Albert Einstein para o fenômeno.

Conteúdo: Efeito Fotoelétrico.

Desenvolvimento Metodológico

Primeira Parte: A aula será iniciada com uma pequena discussão da aula anterior em relação às perguntas, dando um enfoque no Efeito Fotoelétrico. (5 minutos)

Segunda Parte: Será feita a leitura individual pelos alunos do **Texto Didático II**. (15 minutos)

Texto Didático II – Explicação do Efeito Fotoelétrico

O que é o Efeito Fotoelétrico? Para compreendermos este fenômeno usaremos a Figura 1. Nela há um exemplo de aparato experimental do Efeito Fotoelétrico: ele envolve duas placas condutoras ou semicondutoras, que são encerradas numa ampola de vidro, no qual se faz vácuo. Tais placas podem ser feitas de sódio ou de metais como alumínio, por exemplo. Ligando tudo a uma bateria, uma diferença de potencial é estabelecida entre as placas, e ao incidirmos uma luz sobre o eletrodo negativo, o anodo, elétrons poderão ser emitidos desta placa, e os mesmos serão atraídos e coletados pelo eletrodo positivo, o catodo, gerando assim corrente elétrica. Este elétron ejetado pelo fóton é chamado de fotoelétron.

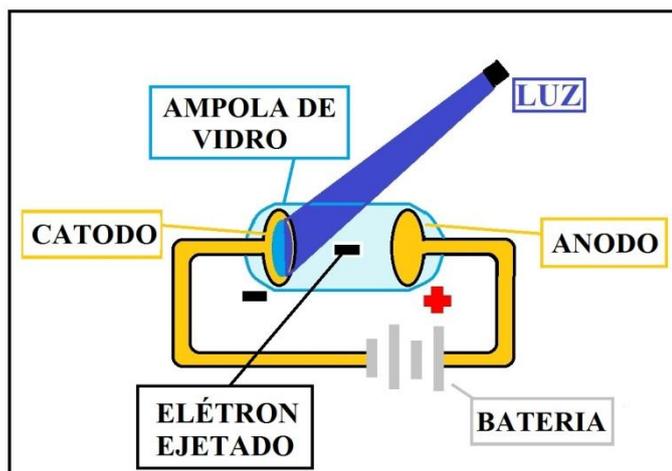


Figura 1. Aparato experimental do Efeito Fotoelétrico

Quando ocorre o Efeito Fotoelétrico?

Os materiais que manifestam mais facilmente esta propriedade são o zinco, o magnésio, o lítio, o sódio, o potássio e o rubídio. Mas em outros materiais como o cobre, o ferro, a prata e o alumínio, também pode ocorrer o Efeito Fotoelétrico.

Para cada um dos materiais anteriores, vai existir uma frequência mínima da luz incidente que conseguirá arrancar os fotoelétrons. Por exemplo, para metais alcalinos como o sódio e o potássio, a frequência mínima, que é chamada de frequência de corte, corresponde à da luz visível. E o número de fotoelétrons emitidos por unidade de tempo é proporcional à intensidade da radiação incidente. Quanto mais forte for a luz, mais fotoelétrons são arrancados.

A explicação do Efeito Fotoelétrico

A Física Clássica não conseguia explicar este fenômeno, porque a teoria explicava uma coisa e a na prática ocorria outra. Para ela quanto maior a intensidade da luz incidente, maior seria a energia cinética, assim maior sua velocidade. Portanto a energia cinética do fotoelétron não depende da intensidade da luz.

Outro ponto é que se houvesse intensidade suficiente, todas as frequências de luz arrancariam fotoelétrons, mas para ocorrer o fenômeno existe uma frequência mínima que depende do material das placas coletoras.

O último ponto é que existiria um intervalo de tempo para que ocorra o Efeito Fotoelétrico, mas este fenômeno é quase que instantâneo, ou seja, a radiação incide na placa e, imediatamente, elétrons são ejetados.

A explicação correta do fenômeno foi dada por Albert Einstein (1879 – 1955) em 1905, o que lhe rendeu o prêmio Nobel em 1921. De acordo com ele, a energia da luz, não se distribui uniformemente pelo espaço. Ele propôs a quantização da luz, ou seja, a energia radiante é quantizada em pacotes concentrados, que posteriormente receberiam o nome de fótons. Ele estendeu o conceito de quantização da energia de Planck, para ondas eletromagnéticas em geral. Assim esses pacotes de energia são como pacotes de energia (E) que é proporcional à frequência (f) da radiação:

$E = h.f$	$h = 6,63.10^{-34} \text{ J.s} - \text{constante de Planck}$
-----------	--

Assim, o fóton ao colidir com um elétron do material condutor ou semicondutor, transfere toda sua energia para ele e a energia adquirida pelo elétron vai permitir sua ejeção do material. Parte desta energia vai ser utilizada para arrancar o fotoelétron, ou seja, aquela mesma quantidade de energia, que é a mínima necessária para que seja possível arrancar o elétron. Ela é chamada de função trabalho, assim cada material apresenta um valor, como é apresentado na tabela a seguir:

TABELA 1: FUNÇÃO TRABALHO DE ALGUNS MATERIAIS

Material	Função trabalho (eV)	Material	Função trabalho (eV)
Sódio	2,28	Ferro	4,50
Cobalto	3,90	Cobre	4,70
Alumínio	4,08	Prata	4,73
Chumbo	4,14	Platina	6,35

Assim a hipótese de Einstein respondeu às três objeções levantadas pelo Efeito Fotoelétrico: com a intensidade da luz dobrada, o número de fótons também é dobrado, duplicando a corrente fotoelétrica; existe um limiar de frequência da luz que permite arrancar fotoelétrons, assim se a frequência for menor que a frequência de corte não existirá energia necessária para ejetar fotoelétrons, para qualquer intensidade; e haverá a emissão imediata do fotoelétron, quando pelo menos um fóton é absorvido por um átomo.

Recursos didáticos: Apresentação em slides, data show, giz e lousa, material impresso.

Tempo: 50 minutos

AULA 3 – APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

Objetivo: Compreender uma das aplicações tecnológicas do Efeito Fotoelétrico, ao que se refere ao fototransistor, a partir da exibição de um experimento.

Conteúdo: Emissão Fotoelétrica e Efeito Fotoelétrico Interno.

Desenvolvimento Metodológico

Primeira Parte: Será exibido um experimento de baixo custo *“Ouça seu controle remoto!”*, relacionando com a explicação do Efeito Fotoelétrico. (20 minutos)

O experimento foi retirado e adaptado do artigo: SILVA, L. F. ASSIS, A. Física Moderna no Ensino Médio: um exemplo para abordar o Efeito Fotoelétrico. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v. 29, n. 2, p. 313-324, 2012.

Montagem:

Os materiais que são necessários para a montagem do experimento *“Ouça seu controle remoto!”* são:

- 1 bateria 9V;
- 1 fototransistor;
- 1 LED de qualquer cor;
- 1 pino fêmea P2 para conectar a caixa de som;
- 1 resistor de 680Ω e $1/8 \text{ W}$;
- 1 suporte para bateria;
- Um controle remoto comum de televisão ou de outro aparelho.
- Caixinha de som de computador ou de rádio.

A montagem do experimento é representada na Fig. 2. Para a sua montagem, primeiramente é preciso verificar a polaridade do LED. Como o LED é um diodo, ele conduz a corrente elétrica apenas em um único sentido. Ao comprar o LED, você perceberá que uma das “perninhas” é ligeiramente maior que a outra. Esse é o polo positivo do componente e deve ser ligado ao polo positivo da bateria.

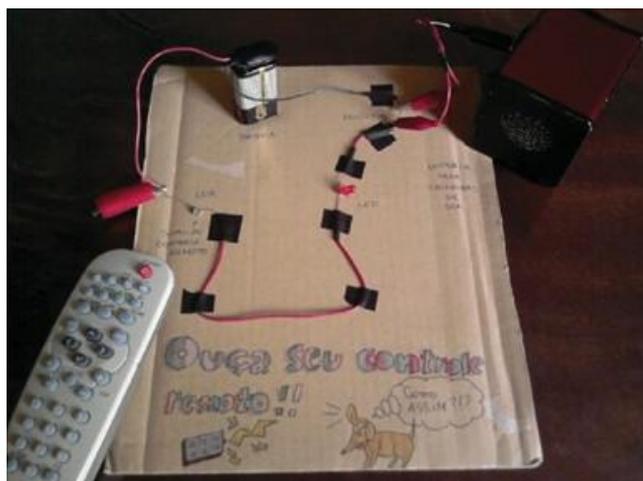


Figura 2. Circuito montado do experimento “Ouça seu controle remoto!”

A bateria, o fototransistor, o LED e o resistor são ligados em série nessa ordem (observar o circuito ilustrado na Fig. 3). Com os jacarés, liga-se o pino fêmea P2 em paralelo com o resistor. É através do resistor que escutaremos o som do sinal do controle remoto. Esse som é gerado devido à variação de ddp obtida no resistor, que é a mesma da caixinha de som, pois ela está ligada em paralelo com esse resistor. Essa variação de ddp é resultado da alteração da corrente elétrica no circuito, gerada no fototransistor ao ser atingido pelo infravermelho pulsado do controle remoto.

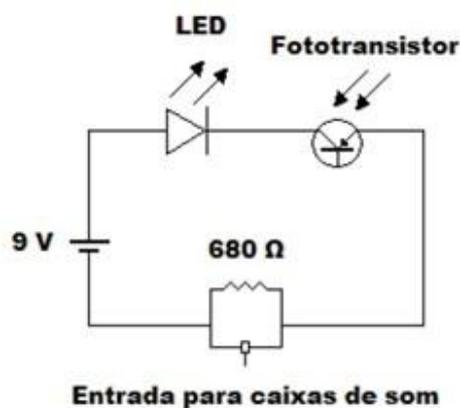


Figura 3. Esquema do circuito do experimento

Para testar o funcionamento do circuito, basta iluminar o fototransistor com um *laser*. Se o LED acender, é por que está tudo conectado corretamente. Senão, verifique as ligações e a polaridade do LED. Pode ser que a polaridade foi trocada ou que algum fio não esteja ligado de forma adequada.

Para testar a saída de som, conecte as caixinhas de som ao circuito, e incida o infravermelho no fototransistor, usando um controle remoto de televisão. Se tudo estiver bem

conectado, o som do controle remoto semelhante ao som de um helicóptero será ouvido, devido ao fato de o infravermelho do controle ser pulsado.

O circuito pode ser montado sobre um papelão duro utilizando-se fios de ligação e fita isolante ou solda para conectar cada elemento ao circuito.

Segunda Parte: A partir do experimento, será proposta a seguinte atividade:

Atividade II

*Na descrição do experimento feito na aula, “**Ouçá seu controle remoto!**”, temos o seguinte:*

O “som de helicóptero” é gerado devido à variação de ddp obtida no resistor, que é a mesma da caixinha de som, pois ela está ligada em paralelo com esse resistor. Essa variação de ddp é resultado da alteração da corrente elétrica no circuito, gerada no fototransistor ao ser atingido pelo infravermelho pulsado do controle remoto.

Agora responda:

- a) O que é a luz?*
- b) Para ouvirmos o “som do helicóptero”, foi necessário o uso do controle remoto. Além dele, o que mais provocou este som? Por quê?*
- c) Quando ouvimos o “som de helicóptero”, ao apertarmos as teclas do controle remoto, significa que está ocorrendo o Efeito Fotoelétrico. Por que o barulho não continua, mesmo sem apertar tais teclas?*

Recursos didáticos: Apresentação em slides, data show, giz, lousa e experimento.

Tempo: 50 minutos

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAVALCANTE, M. A. TAVOLARO, C. R. C. Uma caixinha para estudo de espectros.

Física na Escola. v. 3, n. 2, p. 40-42, 2002.

BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H. **Física**, v. 3; 2a edição. São Paulo: Saraiva, 2010, 368 p.

EISBERG, H. RESNICK, R. **Física Quântica – Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas.** Tradução de Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. v. único. 10ª reimpressão. Rio de Janeiro: Campus, 1979, 928 p.

FUKE, L. F.; KAZUHITO; Y. **Física para o Ensino Médio**, v. 3. 1a edição. São Paulo: Saraiva, 2010, 288 p.

PARANHOS, R. R. G. RICHARD, V. L. PIZANI, P. S. Lâmpada de Hg para experimentos e demonstrações de física moderna: introdução ao efeito fotoelétrico e outros tópicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física.** v. 30, n. 4, p. 4502.1-4502.6, 2008.

SANT’ANNA, B.; MARTINI, G.; REIS, H. C.; SPINELLI, W. **Conexões com a Física**, v. 3. 1a edição. São Paulo: Moderna, 2010, 360 p.

SILVA, L. F. ASSIS, A. Física Moderna no Ensino Médio: um exemplo para abordar o Efeito Fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 29, n. 2, p. 313-324, 2012.

VALADARES, E. C. MOREIRA, A. M. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v. 15, n. 2, p. 121-135, 1998.

ANEXO B – MÓDULO DIDÁTICO PILOTO

Este Módulo Didático foi elaborado para ser aplicado como piloto. Foi criado para uso do professor como um plano de três aulas.

Módulo Didático – 3 aulas

O Efeito Fotoelétrico

Este Módulo Didático abordará o fenômeno conhecido como Efeito Fotoelétrico. Este fenômeno foi crucial para o reaparecimento do modelo corpuscular da luz através da explicação dada por Albert Einstein.

Objetivos gerais

Compreender a natureza da luz como partícula a partir da explicação do Efeito Fotoelétrico.

Conteúdo

- Efeito Fotoelétrico

Quadro Sintético

Atividade	Momentos	Tempo
1. Introdução e Problematização	Problematização inicial	1 aula
	Preenchimento do <i>Questionário I</i> . (15 minutos)	
	Leitura do <i>Texto Didático I</i> . (10 minutos)	
	Discussão do <i>Questionário I</i> e do <i>Texto Didático I</i> . (25 minutos)	
2. Explicação do Efeito Fotoelétrico	Organização do conhecimento	1 aula
	Leitura do <i>Texto Didático II</i> . (20 minutos)	
	Explicação do Efeito Fotoelétrico a partir do <i>Texto Didático II</i> (30 minutos)	
3. Aplicação do conhecimento	Aplicação do conhecimento	1 aula
	Exibição e explicação de um experimento de baixo custo: <i>“Ouça seu controle remoto!”</i> (20 minutos)	
	Realização da <i>Atividade I</i> (30 minutos)	
	Total	3 aulas

Aula 1 – Introdução e Problematização

Objetivo: Compreender a interação existente entre a radiação e a matéria, a partir da existência de fenômenos naturais, da vida e da tecnologia, relacionando posteriormente com a noção do Efeito Fotoelétrico.

Conteúdo: Onda, Partícula, Luz, Radiação e Efeito Fotoelétrico.

Desenvolvimento Metodológico:

Primeira Parte: Será dado o *Questionário I* aos alunos para que respondam individualmente. (15 minutos)

Questionário I

Nº	PERGUNTA
1	O que é a luz?
2	Através de uma câmera digital ou de seu celular, você já deve ter tirado uma fotografia de você mesmo, de seus amigos ou de seus familiares, para colocar em alguma rede social ou para guardar de recordação. Você já deve ter percebido que em ambientes escuros, a fotografia sairá com poucos detalhes. E se você aponta a câmera para alguma fonte de luz, como o sol, a fotografia também não fica tão boa. Por que a luz afeta a qualidade da foto?
3	Ao caminhar pelas ruas, você já deve ter visto que ao entardecer, as luzes dos postes se acendem sozinhas. Elas irão se apagar somente ao amanhecer do outro dia. Como as luzes dos postes se acendem e se apagam sozinhas?

Segunda Parte: Será dado o *Texto Didático I* para ser lido em voz alta. (10 minutos)

Texto Didático I – O Efeito Fotoelétrico no dia-a-dia

Olhando ao nosso redor, vemos que a tecnologia tem avançado ao longo dos anos e que a cada dia mais, está presente no nosso dia-a-dia.

Ao caminhar pelas ruas você perceberá que as luzes dos postes de iluminação pública se acendem e se apagam sozinhas. Em suas mãos você poderá estar com um celular, ouvindo música, fazendo uma ligação ou tirando uma fotografia de você mesmo para colocar numa rede social. Mas você já parou para pensar por que as luzes dos postes se acendem e se apagam sozinhas? Ou como é possível armazenar uma fotografia num celular? Vamos responder estas perguntas a seguir.

Um celular ou uma câmera digital apresenta o dispositivo de carga acoplada (CCD – charge-coupled device). É um dispositivo de captação de luz muito sensível, formado por um pequeno chip quadrado de material semicondutor e que possui uma grande quantidade de sensores fotoelétricos. Quando um fóton que vem do objeto fotografado atinge um deles, um elétron é liberado e captado por um sistema eletrônico que registra qual sensor recebeu. Em seguida, o sistema soma a quantidade total de elétrons vindos de cada sensor e mapeia sua localização, reconstituindo a imagem completa, formando assim a imagem digital.

Para entendermos o funcionamento do sistema de iluminação pública, é necessário compreendermos o que é uma célula fotocondutiva. Ela é feita de materiais como o sulfeto de cádmio. Quando se incide uma luz sobre ela, os elétrons, em vez de serem extraídos do

material, permanecem nele como elétrons livres, diminuindo sua resistência elétrica, tornando-o mais condutor. Este tipo de material apresenta resistência elétrica muito alta em ambientes escuros e muito baixa em ambientes bem iluminados. Esses materiais constituem os fotorresistores LDR (Light Dependent Resistor).

Logo, a iluminação de postes de ruas depende do dispositivo LDR. Quando ele é exposto ao sol, ele passa a dispor de elétrons livres, diminui sua resistência, permitindo assim que a corrente elétrica possa passar através de uma bobina que desligará a lâmpada. À noite, a resistência é alta, impede a corrente de passar pela bobina que ligará a lâmpada.

Por detrás das situações anteriores, está um fenômeno chamado Efeito Fotoelétrico. Este fenômeno foi observado pela primeira vez, por Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894), nos anos de 1886 e 1887, ao confirmar experimentalmente a existência de ondas de rádio.

O Efeito Fotoelétrico é a emissão de elétrons por materiais condutores e semicondutores quando atingidos por radiação eletromagnética com uma determinada frequência específica.

Terceira Parte: Serão discutidas as questões do *Questionário I* associando com o *Texto Didático I*. (25 minutos)

Recursos didáticos: Apresentação em slides, data show e material impresso.

Tempo:

Aula 2 – Explicação do Efeito Fotoelétrico

Objetivo: Compreender e explicar o Efeito Fotoelétrico a partir da explicação dada por Albert Einstein para o fenômeno.

Conteúdo: Dualidade Onda-partícula e Efeito Fotoelétrico.

Desenvolvimento Metodológico

Primeira Parte: A aula será iniciada com uma pequena discussão da aula anterior em relação às perguntas, dando um enfoque no Efeito Fotoelétrico. (5 minutos)

Segunda Parte: Será feita a leitura individual pelos alunos do *Texto Didático II*. (15 minutos)

Texto Didático II – Explicação do Efeito Fotoelétrico

Mas o que é o Efeito Fotoelétrico? Para compreendermos este fenômeno usaremos a figura 1. Nela há um exemplo de aparato experimental do Efeito Fotoelétrico: Ele envolve duas placas condutoras ou semicondutoras, que são encerradas numa ampola de vidro, no qual se faz vácuo. Tais placas podem ser feitas de sódio ou de metais como alumínio, por exemplo. Ligando tudo a uma bateria, uma diferença de potencial é estabelecida entre as placas, e ao incidirmos uma luz sobre o eletrodo negativo, o anodo, elétrons poderão ser emitidos desta placa, e os mesmos serão atraídos e coletados pelo eletrodo positivo, o catodo, gerando assim corrente elétrica. Este elétron ejetado pelo fóton é chamado de fotoelétron.

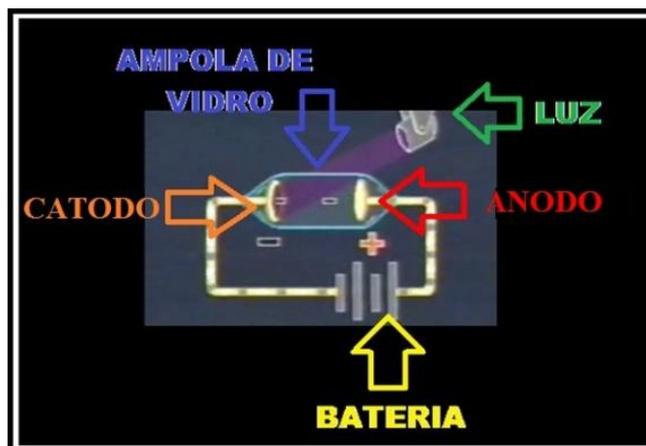


Figura 1. Aparato experimental do Efeito Fotoelétrico

Quando ocorre o Efeito Fotoelétrico?

Os materiais que manifestam mais facilmente esta propriedade são o zinco, o magnésio, o lítio, o sódio, o potássio e o rubídio. Mas em outros materiais como o cobre, o ferro, a prata e o alumínio, também pode ocorrer o Efeito Fotoelétrico.

Para cada um dos materiais anteriores, vai existir uma frequência mínima da luz incidente que conseguirá arrancar os fotoelétrons. Por exemplo, para metais alcalinos como o sódio e o potássio, a frequência mínima, que é chamada de frequência de corte, corresponde à da luz visível. E o número de fotoelétrons emitidos por unidade de tempo é proporcional à intensidade da radiação incidente. Quanto mais forte for a luz, mais fotoelétrons são arrancados.

A explicação do Efeito Fotoelétrico

A Física Clássica não conseguia explicar este fenômeno, porque a teoria explicava uma coisa e a na prática ocorria outra. Para ela quanto maior a intensidade da luz incidente, maior seria a energia cinética, assim maior sua velocidade, mas a energia cinética do fotoelétron não depende da intensidade da luz. Outro ponto é que se houvesse intensidade suficiente, todas as frequências de luz arrancariam fotoelétrons, mas para ocorrer o fenômeno existe uma frequência mínima que depende do material das placas coletoras. O último ponto é que existiria um intervalo de tempo para que ocorra o Efeito Fotoelétrico, mas este fenômeno é quase que instantâneo, ou seja, a radiação incide na placa e, imediatamente, elétrons são ejetados.

A explicação correta do fenômeno foi dada por Albert Einstein (1879 – 1955) em 1905, o que lhe rendeu o prêmio Nobel em 1921. De acordo com ele, a energia da luz, não se distribui uniformemente pelo espaço. Ele propôs a quantização da luz, ou seja, a energia radiante é quantizada em pacotes concentrados, que posteriormente receberiam o nome de

fótons. Ele estendeu o conceito de quantização da energia de Planck, para ondas eletromagnéticas em geral. Assim esses pacotes de energia são como pacotes de energia (E) que é proporcional à frequência (f) da radiação:

$E = h.f$	$h = 6,63.10^{-34} \text{ J.s} - \text{constante de Planck}$
-----------	--

Assim, o fóton ao colidir com um elétron do material condutor ou semiconductor, transfere toda sua energia para ele, e, a energia adquirida pelo elétron vai permitir sua ejeção do material. Parte desta energia vai ser utilizada para arrancar o fotoelétron, ou seja, aquela mesma quantidade de energia, que é a mínima necessária para que seja possível arrancar o elétron. Ela é chamada de função trabalho, assim cada material apresenta um valor, como é apresentado na tabela a seguir:

Tabela 1: Função trabalho de alguns materiais

Material	Função trabalho (eV)	Material	Função trabalho (eV)
Sódio	2,28	Ferro	4,50
Cobalto	3,90	Cobre	4,70
Alumínio	4,08	Prata	4,73
Chumbo	4,14	Platina	6,35

Assim a hipótese de Einstein respondeu às três objeções levantadas pelo Efeito Fotoelétrico: com a intensidade da luz dobrada, o número de fótons também é dobrado, duplicando a corrente fotoelétrica; existe um limiar de frequência da luz que permite arrancar fotoelétrons, assim se a frequência for menor que a frequência de corte não existirá energia necessária para ejetar fotoelétrons, para qualquer intensidade; e haverá a emissão imediata do fotoelétron, quando pelo menos um fóton é absorvido por um átomo.

Recursos didáticos: Apresentação em slides, data show, giz, lousa e texto impresso.

Tempo: 50 minutos

Aula 3 – Experimento

Objetivo: Compreender uma das aplicações tecnológicas do Efeito Fotoelétrico, ao que se refere ao dispositivo LDR, a partir da exibição de um experimento.

Conteúdo: Efeito Fotoelétrico Interno.

Desenvolvimento Metodológico

Primeira Parte: Será exibido um experimento de baixo custo *“Ouça seu controle remoto!”*, relacionando com a explicação do Efeito Fotoelétrico e com uma aplicação tecnológica deste fenômeno, o dispositivo LDR, mas sem mencionar tal relação diretamente. (20 minutos)

O experimento foi retirado do artigo:

SILVA, L. F. ASSIS, A. Física Moderna no Ensino Médio: um exemplo para abordar o Efeito Fotoelétrico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. v. 29, n. 2, p. 313-324, 2012.

Montagem

Os materiais necessários para a montagem do experimento estão listados na Tabela 1. A maioria desses materiais pode ser adquirida em uma loja de componentes eletrônicos. Na tabela há, também, o custo aproximado de cada material.

Tabela 1 – Relação de materiais para a montagem do experimento "Ouça seu controle remoto!"

<i>Material</i>	<i>Custo aproximado (em 2012)</i>
- 1 bateria de 9 V	R\$ 3,25
- 1 LDR	R\$ 0,90
- 1 LED vermelho (ou de outra cor)	R\$ 0,65
- 1 pino fêmea P2 (para conectar a caixa de som)	R\$ 3,50
- 1 resistor de 680 Ω e 1/8 W	R\$ 0,10
- 2 jacarés	R\$ 0,35 (cada)
- 1 suporte para bateria	R\$ 1,00
- um controle remoto comum de televisão	R\$ 10,00
- caixinha de som de computador ou de rádio	Variável

A montagem do experimento está representada na Fig. 1. Para a sua montagem, primeiramente é preciso verificar a polaridade do LED (não há polaridade no LDR). Como o LED é um diodo, ele conduz a corrente elétrica apenas em um único sentido. Ao comprar o LED, você perceberá que uma das “perninhas” é ligeiramente maior que a outra. Esse é o polo positivo do componente e deve ser ligado ao polo positivo da bateria.



Figura 2. Circuito montado do experimento “Ouça seu controle remoto!”. Fonte: Silva e Assis (2012)

A bateria, o LDR, o LED e o resistor são ligados em série nessa ordem (observar o circuito ilustrado na Fig. 2). Com os jacarés, liga-se o pino fêmea P2 em paralelo com o resistor. É através do resistor que escutaremos o som do sinal do controle remoto. Esse som é gerado devido à variação de ddp obtida no resistor, que é a mesma da caixinha de som, pois ela está ligada em paralelo com esse resistor. Essa variação de ddp é resultado da alteração da corrente elétrica no circuito, provocada pela alteração da resistência do LDR ao ser atingido pelo infravermelho pulsado do controle remoto.

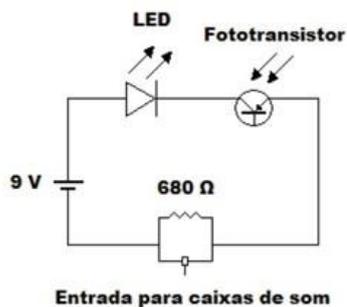


Figura 3. Esquema do circuito do experimento. Fonte: Silva e Assis (2012)

Para testar o funcionamento do circuito, basta iluminar o LDR com um *laser*. Se o LED acender, é por que está tudo conectado corretamente. Senão, verifique as ligações e a polaridade do LED. Pode ser que a polaridade foi trocada ou que algum fio não esteja ligado de forma adequada.

Para testar a saída de som, conecte as caixinhas de som ao circuito, e incida o infravermelho no LDR, usando um controle remoto de televisão. Se tudo estiver bem conectado, o som do controle remoto semelhante ao som de um helicóptero será ouvido, devido ao fato de o infravermelho do controle ser pulsado.

O circuito pode ser montado sobre um papelão duro utilizando-se fios de ligação e fita isolante ou solda para conectar cada elemento ao circuito. Para substituir os fios de ligação e a fita isolante ou a solda (Fig. 1), pode-se utilizar um *proto-board*, uma espécie de placa (adquirida em lojas especializadas em componentes eletrônicos) onde se pode montar o circuito.

Segunda Parte: A partir do experimento, será proposta a seguinte questão:

Na descrição do experimento feito na aula, “***Ouçá seu controle remoto!***” temos o seguinte:

É através do resistor que escutamos o som do sinal do controle remoto. Esse som é gerado devido à variação de ddp obtida no resistor, que é a mesma da caixinha de som, pois ela está ligada em paralelo com esse resistor. Essa variação de ddp é resultado da alteração da corrente elétrica no circuito, provocada pela alteração da resistência do LDR (Light Dependent Resistor) ao ser atingido pelo infravermelho pulsado do controle remoto. (Silva & Assis, 2012)

Agora responda:

- Qual é o nome do fenômeno que está presente neste experimento? O que ele diz sobre a natureza da luz?
- Por que ele ocorre?
- Quais fatores poderiam influenciar para que ele não ocorresse?

Recurso didáticos: Apresentação em slides, data show, giz, lousa e experimento.

Tempo: 50 minutos

Referências Bibliográficas

- CAVALCANTE, M. A. TAVOLARO, C. R. C. Uma caixinha para estudo de espectros. **Física na Escola**. v. 3, n. 2, p. 40-42, 2002.
- BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H. **Física**, v. 3; 2a edição. São Paulo: Saraiva, 2010, 368 p.
- EISBERG, H. RESNICK, R. **Física Quântica – Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Tradução de Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. v. único. 10ª reimpressão. Rio de Janeiro: Campus, 1979, 928 p.
- FUKE, L. F.; KAZUHITO; Y. **Física para o Ensino Médio**, v. 3. 1a edição. São Paulo: Saraiva, 2010, 288 p.
- PARANHOS, R. R. G. RICHARD, V. L. PIZANI, P. S. Lâmpada de Hg para experimentos e demonstrações de física moderna: introdução ao efeito fotoelétrico e outros tópicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 30, n. 4, p. 4502.1-4502.6, 2008.
- SANT'ANNA, B.; MARTINI, G.; REIS, H. C.; SPINELLI, W. **Conexões com a Física**, v. 3. 1a edição. São Paulo: Moderna, 2010, 360 p.
- SILVA, L. F. ASSIS, A. Física Moderna no Ensino Médio: um exemplo para abordar o Efeito Fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 29, n. 2, p. 313-324, 2012.
- VALADARES, E. C. MOREIRA, A. M. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v. 15, n. 2, p. 121-135, 1998.

ANEXO C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O Termo de Consentimento de Livre e Esclarecido foi entregue, em duas vias, aos alunos retratando o objetivo da pesquisa e detalhes relacionados à mesma. Uma via ficou com os alunos e outra ficou com os pesquisadores.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENSINO DE CIÊNCIAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa como voluntário(a). Após receber os esclarecimentos e as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento (duas páginas), que está em duas vias. Uma delas é sua, e a outra dos pesquisadores. Em caso de recusa, você não será penalizado(a) de forma alguma. Em caso de dúvida, você poderá esclarecê-las com os pesquisadores relacionados abaixo.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

Título do Projeto: O Efeito Fotoelétrico no Ensino Fundamental

Pesquisador Responsável: Prof. Dr. Mikael Frank Rezende Junior – Instituto de Física e Química/UNIFEI

Contato: mikaeljr@gmail.com

Pesquisador participante: Lucas de Paulo Lameu – Mestrando do Programa de Pós-Graduação Ensino de Ciências

Contato: (35) 9174-9327 – lucas.lameu@yahoo.com

Descrição da pesquisa (conforme Res. CNS n.º 196/96)

Com essa pesquisa, temos como objetivo principal analisar como os alunos do 9º ano do Ensino Fundamental, a partir de três aulas, compreendem a natureza da luz, partindo de suas concepções iniciais e avançando para a explicação e discussão do fenômeno conhecido como Efeito Fotoelétrico. Serão duas atividades a serem realizadas em sala de aula, dadas na primeira aula e na terceira aula pertencente a um módulo de três aulas, que serão realizadas em dias letivos, distribuídas de acordo com o horário regular normal de aula, disponibilizada pelo (a) professor (a) da disciplina de Ciências. Os alunos participarão da pesquisa da seguinte forma:

Realização de uma atividade inicial na qual temos como objetivo conhecer quais são as concepções prévias dos alunos referentes à natureza da luz.

Realização de uma atividade final na qual os alunos responderão novamente sobre a natureza da luz, a partir do que foi aprendido no Módulo Didático.

O conteúdo das aulas não servirá para ser avaliada por nenhuma disciplina do 9º ano, sendo este de único e exclusivo uso desta pesquisa.

As aulas serão gravadas em forma de vídeo, não sendo obrigatória a aparição dos alunos.

IMPORTANTE: Em nenhum momento serão divulgados os nomes dos participantes e todo o material coletado será utilizado apenas com o propósito da pesquisa. Portanto, nenhuma imagem ou voz será divulgada. Apenas os pesquisadores terão acesso ao material. Nenhum dos participantes terá gastos financeiros com a pesquisa.

Essa pesquisa não oferece nenhum risco de ordem física aos participantes, entretanto, pelo fato de envolver gravações em áudio e vídeo, podem gerar desconfortos associados a esses meios. Por esse motivo, será garantida a liberdade do participante, de recusar a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa sem penalização ou prejuízo algum. Após análise, a essência do material constituirá a dissertação de mestrado do pesquisador Lucas de Paulo Lameu, que se compromete trazer nesse trabalho contribuições concretas ao Ensino de Física e a formação de alunos de forma geral. O encerramento da pesquisa se dará após análise final do material coletado que será arquivado para possíveis análises futuras.

Caso necessitem de maiores explicações, os pesquisadores estarão à disposição para esclarecer as dúvidas, pelo correio eletrônico ou pessoalmente.

Prof. Dr. Mikael Frank Rezende Junior
Pesquisador Responsável

Lucas de Paulo Lameu
Pesquisador Participante

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO (assinado pelo(a) estudante)

Eu, _____, estudante da escola _____,

abaixo assinado, concordo em participar da pesquisa *Efeito Fotoelétrico no Ensino Fundamental: uma proposta à luz da Teoria dos Campos Conceituais*. Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pelo pesquisador Lucas de Paulo Lameu e por meio desse termo sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto me leve a qualquer penalidade ou prejuízo.

_____, ____ de _____ de 2013

ANEXO D – ATIVIDADE I APLICADA AOS ALUNOS

*A Atividade I foi elaborada para ser aplicada para os alunos do Ensino Fundamental.
Foi adaptada após as aulas-pilotos.*

Atividade I

ATENÇÃO: POR FAVOR, NÃO ESCREVA SEU NOME! ESCOLHA UM NOME FICTÍCIO FÁCIL DE MEMORIZAR E APÓS ELE, COLOQUE SUA DATA DE ANIVERSÁRIO.

POR EXEMPLO: SUPERMAN261186 OU MULHER MARAVILHA101289.

NOME FICTÍCIO: _____

Responda às perguntas a seguir:

1. O que é a luz?

2. Ao caminhar pelas ruas, você já deve ter visto que ao entardecer, as luzes dos postes se acendem sozinhas. Elas irão se apagar somente ao amanhecer do outro dia. Como as luzes dos postes se acendem e se apagam sozinhas?

ANEXO E – ATIVIDADE II APLICADA AOS ALUNOS

A Atividade II foi elaborada para ser aplicada para os alunos do Ensino Fundamental. Foi adaptada após as aulas-pilotos.

Atividade II

ATENÇÃO: POR FAVOR, NÃO ESCREVA SEU NOME! ESCOLHA UM NOME FICTÍCIO FÁCIL DE MEMORIZAR E APÓS ELE, COLOQUE SUA DATA DE ANIVERSÁRIO. É O MESMO NOME QUE VOCÊ ESCOLHEU NA PRIMEIRA ATIVIDADE. NÃO CRIE OUTRO NOME!

NOME FICTÍCIO: _____

Na descrição do experimento feito na aula, “***Ouçá seu controle remoto!***”, temos o seguinte:

O “som de helicóptero” é gerado devido à variação de ddp obtida no resistor, que é a mesma da caixinha de som, pois ela está ligada em paralelo com esse resistor. Essa variação de ddp é resultado da alteração da corrente elétrica no circuito, gerada no fototransistor ao ser atingido pelo infravermelho pulsado do controle remoto.

Agora responda:

- a) O que é a luz?

- b) Para ouvirmos o “som de helicóptero”, foi necessário o uso do controle remoto. Além dele, o que mais provocou este som? Por quê?

- c) Quando ouvimos o “som de helicóptero”, ao apertarmos as teclas do controle remoto, significa que está ocorrendo o Efeito Fotoelétrico. Por que o barulho não continua, mesmo sem apertar tais teclas?

ANEXO F – TEXTO DIDÁTICO I ENTREGUE AOS ALUNOS

O Texto Didático I foi elaborado para ser entregue para alunos do Ensino Fundamental. Ele foi adaptado após as aulas piloto.

Texto Didático I – O Efeito Fotoelétrico no cotidiano

Olhando ao nosso redor, vemos que a tecnologia tem avançado ao longo dos anos e que a cada dia mais, está presente no nosso dia a dia.

Ao caminhar pelas ruas você perceberá que as luzes dos postes de iluminação pública se acendem e se apagam sozinhas. Em suas mãos você poderá estar com um celular, ouvindo música, fazendo uma ligação ou tirando uma fotografia de você mesmo para colocar numa rede social. Mas você já parou para pensar por que as luzes dos postes se acendem e se apagam sozinhas? Vamos responder a esta pergunta.

Para entendermos o funcionamento do sistema de iluminação pública, é necessário compreendermos o que é uma célula fotocondutiva. Ela é feita de materiais como o sulfeto de cádmio. Quando se incide uma luz sobre ela, os elétrons, em vez de serem extraídos do material, permanecem nela como elétrons livres, diminuindo sua resistência elétrica, tornando-a mais condutora. Este tipo de material apresenta resistência elétrica muito alta em ambientes escuros e muito baixa em ambientes bem iluminados. Esses materiais constituem os fotorresistores LDR (Light Dependent Resistor).

Logo, a iluminação de postes de ruas depende do dispositivo LDR. Quando ele é exposto ao sol, ele passa a dispor de elétrons livres, diminui sua resistência, permitindo assim que a corrente elétrica possa passar através de uma bobina que desligará a lâmpada. À noite, a resistência é alta, impede a corrente de passar pela bobina que ligará a lâmpada.

Por detrás da situação anterior, está um fenômeno chamado Efeito Fotoelétrico. Este fenômeno foi observado pela primeira vez, por Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894), nos anos de 1886 e 1887, ao confirmar experimentalmente a existência de ondas de rádio.

O Efeito Fotoelétrico é a emissão de elétrons por materiais condutores e semicondutores quando atingidos por radiação eletromagnética com uma determinada frequência específica.

ANEXO G – TEXTO DIDÁTICO II ENTREGUE AOS ALUNOS

O Texto Didático II foi elaborado para ser entregue para alunos do Ensino Fundamental.

Texto Didático II – Explicação do Efeito Fotoelétrico

O que é o Efeito Fotoelétrico? Para compreendermos este fenômeno usaremos a figura 1. Nela há um exemplo de aparato experimental do Efeito Fotoelétrico: ele envolve duas placas condutoras ou semicondutoras, que são encerradas numa ampola de vidro, no qual se faz vácuo. Tais placas podem ser feitas de sódio ou de metais como alumínio, por exemplo. Ligando tudo a uma bateria, uma diferença de potencial é estabelecida entre as placas, e ao incidirmos uma luz sobre o eletrodo negativo, o anodo, elétrons poderão ser emitidos desta placa, e os mesmos serão atraídos e coletados pelo eletrodo positivo, o catodo, gerando assim corrente elétrica. Este elétron ejetado pelo fóton é chamado de fotoelétron.

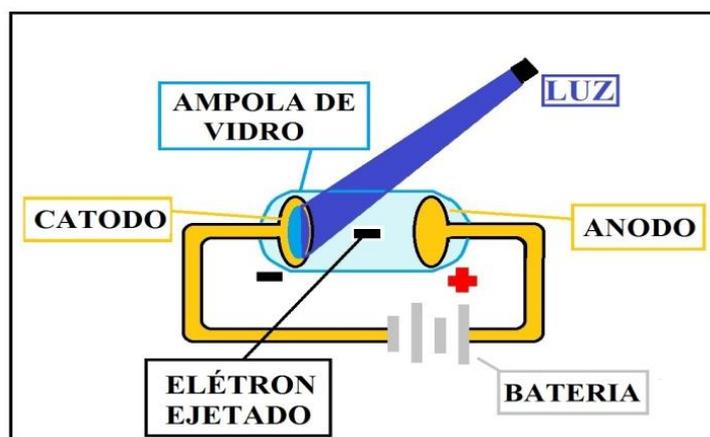


Figura 1. Aparato experimental do Efeito Fotoelétrico

Quando ocorre o Efeito Fotoelétrico?

Os materiais que manifestam mais facilmente esta propriedade são o zinco, o magnésio, o lítio, o sódio, o potássio e o rubídio. Mas em outros materiais como o cobre, o ferro, a prata e o alumínio, também pode ocorrer o Efeito Fotoelétrico.

Para cada um dos materiais anteriores, vai existir uma frequência mínima da luz incidente que conseguirá arrancar os fotoelétrons. Por exemplo, para metais alcalinos como o sódio e o potássio, a frequência mínima, que é chamada de frequência de corte, corresponde à da luz visível. E o número de fotoelétrons emitidos por unidade de tempo é proporcional à intensidade da radiação incidente. Quanto mais forte for a luz, mais fotoelétrons são arrancados.

A explicação do Efeito Fotoelétrico

A Física Clássica não conseguia explicar este fenômeno, porque a teoria explicava uma coisa e a na prática ocorria outra. Para ela quanto maior a intensidade da luz incidente, maior seria a energia cinética, assim maior sua velocidade. Portanto a energia cinética do fotoelétron não depende da intensidade da luz.

Outro ponto é que se houvesse intensidade suficiente, todas as frequências de luz arrancariam fotoelétrons, mas para ocorrer o fenômeno existe uma frequência mínima que depende do material das placas coletoras.

O último ponto é que existiria um intervalo de tempo para que ocorra o Efeito Fotoelétrico, mas este fenômeno é quase que instantâneo, ou seja, a radiação incide na placa e, imediatamente, elétrons são ejetados.

A explicação correta do fenômeno foi dada por Albert Einstein (1879 – 1955) em 1905, o que lhe rendeu o prêmio Nobel em 1921. De acordo com ele, a energia da luz, não se distribui uniformemente pelo espaço. Ele propôs a quantização da luz, ou seja, a energia radiante é quantizada em pacotes concentrados, que posteriormente receberiam o nome de fótons. Ele estendeu o conceito de quantização da energia de Planck, para ondas eletromagnéticas em geral. Assim esses pacotes de energia são como pacotes de energia (E) que é proporcional à frequência (f) da radiação:

$E = h.f$	$h = 6,63.10^{-34} \text{ J.s} - \text{constante de Planck}$
-----------	--

Assim, o fóton ao colidir com um elétron do material condutor ou semicondutor, transfere toda sua energia para ele, e, a energia adquirida pelo elétron vai permitir sua ejeção do material. Parte desta energia vai ser utilizada para arrancar o fotoelétron, ou seja, aquela mesma quantidade de energia, que é a mínima necessária para que seja possível arrancar o elétron. Ela é chamada de função trabalho, assim cada material apresenta um valor, como é apresentado na tabela a seguir:

Tabela 1: Função trabalho de alguns materiais

Material	Função trabalho (eV)	Material	Função trabalho (eV)
Sódio	2,28	Ferro	4,50
Cobalto	3,90	Cobre	4,70
Alumínio	4,08	Prata	4,73
Chumbo	4,14	Platina	6,35

Assim a hipótese de Einstein respondeu às três objeções levantadas pelo Efeito Fotoelétrico: com a intensidade da luz dobrada, o número de fótons também é dobrado, duplicando a corrente fotoelétrica; existe um limiar de frequência da luz que permite arrancar fotoelétrons, assim se a frequência for menor que a frequência de corte não existirá energia necessária para ejetar fotoelétrons, para qualquer intensidade; e haverá a emissão imediata do fotoelétron, quando pelo menos um fóton é absorvido por um átomo.

ANEXO H – ATIVIDADE I PILOTO ENTREGUE AOS ALUNOS

A Atividade I foi elaborada para ser entregue para alunos do Ensino Fundamental. Faz parte do Módulo Didático piloto.

A Atividade I foi elaborada para ser aplicada para os alunos do Ensino Fundamental. Foi adaptada após as aulas-pilotos.

Atividade I

ATENÇÃO: POR FAVOR, NÃO ESCREVA SEU NOME! ESCOLHA UM NOME FICTÍCIO FÁCIL DE MEMORIZAR E APÓS ELE, COLOQUE SUA DATA DE ANIVERSÁRIO.

POR EXEMPLO: SUPERMAN261186 OU MULHER MARAVILHA101289.

NOME FICTÍCIO: _____

Responda às perguntas a seguir:

1. O que é a luz?

2. Através de uma câmera digital ou de seu celular, você já deve ter tirado uma fotografia de você mesmo, de seus amigos ou de seus familiares, para colocar em alguma rede social ou para guardar de recordação. Você já deve percebido que em ambientes escuros, a fotografia sairá com poucos detalhes. E se você aponta a câmera para alguma fonte de luz, como o sol, a fotografia também não fica tão boa. Por que a luz afeta a qualidade da foto?

3. Ao caminhar pelas ruas, você já deve ter visto que ao entardecer, as luzes dos postes se acendem sozinhas. Elas irão se apagar somente ao amanhecer do outro dia. Como as luzes dos postes se acendem e se apagam sozinhas?

ANEXO I – TEXTO DIDÁTICO I PILOTO ENTREGUE AOS ALUNOS

O Texto Didático II foi elaborado para ser entregue para alunos do Ensino Fundamental. Faz parte do Módulo Didático piloto.

Texto Didático I – O Efeito Fotoelétrico no dia-a-dia

Olhando ao nosso redor, vemos que a tecnologia tem avançado ao longo dos anos e que a cada dia mais, está presente no nosso dia-a-dia.

Ao caminhar pelas ruas você perceberá que as luzes dos postes de iluminação pública se acendem e se apagam sozinhas. Em suas mãos você poderá estar com um celular, ouvindo música, fazendo uma ligação ou tirando uma fotografia de você mesmo para colocar numa rede social. Mas você já parou para pensar por que as luzes dos postes se acendem e se apagam sozinhas? Ou como é possível armazenar uma fotografia num celular? Vamos responder estas perguntas a seguir.

Um celular ou uma câmera digital apresenta o dispositivo de carga acoplada (CCD – charge-coupled device). É um dispositivo de captação de luz muito sensível, formado por um pequeno chip quadrado de material semicondutor e que possui uma grande quantidade de sensores fotoelétricos. Quando um fóton que vem do objeto fotografado atinge um deles, um elétron é liberado e captado por um sistema eletrônico que registra qual sensor recebeu. Em seguida, o sistema soma a quantidade total de elétrons vindos de cada sensor e mapeia sua localização, reconstituindo a imagem completa, formando assim a imagem digital.

Para entendermos o funcionamento do sistema de iluminação pública, é necessário compreendermos o que é uma célula fotocondutiva. Ela é feita de materiais como o sulfeto de cádmio. Quando se incide uma luz sobre ela, os elétrons, em vez de serem extraídos do material, permanecem nele como elétrons livres, diminuindo sua resistência elétrica, tornando-o mais condutor. Este tipo de material apresenta resistência elétrica muito alta em ambientes escuros e muito baixa em ambientes bem iluminados. Esses materiais constituem os fotorresistores LDR (Light Dependent Resistor).

Logo, a iluminação de postes de ruas depende do dispositivo LDR. Quando ele é exposto ao sol, ele passa a dispor de elétrons livres, diminui sua resistência, permitindo assim que a corrente elétrica possa passar através de uma bobina que desligará a lâmpada. À noite, a resistência é alta, impede a corrente de passar pela bobina que ligará a lâmpada.

Por detrás das situações anteriores, está um fenômeno chamado Efeito Fotoelétrico. Este fenômeno foi observado pela primeira vez, por Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894), nos anos de 1886 e 1887, ao confirmar experimentalmente a existência de ondas de rádio.

O Efeito Fotoelétrico é a emissão de elétrons por materiais condutores e semicondutores quando atingidos por radiação eletromagnética com uma determinada frequência específica.

ANEXO J – ATIVIDADE II PILOTO ENTREGUE AOS ALUNOS

A Atividade II foi elaborada para ser aplicada para os alunos do Ensino Fundamental. Foi adaptada após as aulas-pilotos.

Atividade II

ATENÇÃO: POR FAVOR, NÃO ESCREVA SEU NOME! ESCOLHA UM NOME FICTÍCIO FÁCIL DE MEMORIZAR E APÓS ELE, COLOQUE SUA DATA DE ANIVERSÁRIO. É O MESMO NOME QUE VOCÊ ESCOLHEU NA PRIMEIRA ATIVIDADE. NÃO CRIE OUTRO NOME!

NOME FICTÍCIO: _____

Na descrição do experimento feito na aula, “*Ouçá seu controle remoto!*”, temos o seguinte:

O “som de helicóptero” é gerado devido à variação de ddp obtida no resistor, que é a mesma da caixinha de som, pois ela está ligada em paralelo com esse resistor. Essa variação de ddp é resultado da alteração da corrente elétrica no circuito, gerada no fototransistor ao ser atingido pelo infravermelho pulsado do controle remoto.

Agora responda:

- a) Qual é o nome do fenômeno que está presente neste experimento? O que ele diz sobre a natureza da luz?

- b) Por que ele ocorre?

- c) Quais fatores poderiam influenciar para que ele não ocorresse?
