UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

LEONARDO PEREIRA GAMA

O ESTUDO DA NATUREZA DA LUZ: UMA INTRODUÇÃO À FÍSICA QUÂNTICA NA 2ª SÉRIE DO ENSINO MÉDIO

VITÓRIA - ES
NOVEMBRO - 2016

LEONARDO PEREIRA GAMA

O ESTUDO DA NATUREZA DA LUZ: UMA INTRODUÇÃO À FÍSICA QUÂNTICA NA 2ª SÉRIE DO ENSINO MÉDIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Casaro Erthal.

VITÓRIA - ES
NOVEMBRO - 2016

Nesta página entrará a Ficha Catalográfica

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

LEONARDO PEREIRA GAMA

O ESTUDO DA NATUREZA DA LUZ: UMA INTRODUÇÃO À FÍSICA QUÂNTICA NA 2ª SÉRIE DO ENSINO MÉDIO

Dissertação apresentada ao Programa de pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em de novembro de 2016.

Comissão examinadora

_____
Prof. Dr. João Paulo Casaro Erthal
(Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes)

_____
Prof. Dr. Geide Rosa Coelho
Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes)

_____
Prof. Dr. Luiz Otávio Buffon
Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes)

Dedico esse trabalho à minha família, porto seguro onde sempre encontrei amor e acolhimento.

AGRADECIMENTOS

Agradecer é reconhecer que não conquistamos nada sozinhos. É ter a humildade de aceitar que as nossas vitórias só existiriam com a colaboração do outro.

Agradeço à Deus, Senhor de toda a minha vida, e aos anjos e santos que me protegeram durante essa caminhada.

Aos meus pais por terem me educado na fé cristã e me proporcionado a construção de valores que me fizeram crescer como um homem digno. Através de incontáveis sacrifícios eles me oportunizaram o que estava ao alcance para que os meus sonhos fossem realizados.

À minha esposa, companheira fiel em todos os momentos, amiga nas horas em que mais precisei de um ombro acolhedor e parceira na construção dessa dissertação, contribuindo nas discussões, na elaboração do material e na leitura crítica.

Aos meus filhos, por todo o amor recebido. Eles são a razão da nossa existência e alimento para a nossa alma. Peço-lhes desculpas pelos diversos momentos de ausência e obrigado pelos gestos de carinho nas idas e vindas do corre-corre diário.

À minha sogra, mulher forte que sempre se mostrou solícita na retaguarda do nosso cotidiano. Sem ela não conseguiríamos dar conta de todos os nossos afazeres diários.

Ao meu orientador, pela dedicação, respeito e imensurável contribuição ao trabalho realizado.

Ao Colégio Salesiano Jardim Camburi que possibilitou a execução dessa pesquisa.

Aos meus alunos, sujeitos da pesquisa, que desde o início colaboraram espontaneamente para a realização do trabalho e sempre se mostraram prestativos e solidários, contribuindo para o sucesso da intervenção.

Aos meus professores e colegas de mestrado que através dos inúmeros debates e embates realizados colaboraram na construção do meu conhecimento.

Por fim, agradeço à todas as pessoas amigas que não foram citadas nominalmente, mas que fazem parte da minha história de vida e aos meus ex-alunos que me fizeram crescer na profissão e me tornar um professor feliz e realizado. A eles dedico essa dissertação, fruto da experiência adquirida nos muitos anos em sala de aula.

“Nós nos tornamos nós mesmos através dos outros. ”

Lev Vigotski

RESUMO

Apresentamos neste trabalho uma proposta de Sequência Didática (SD) (GUIMARÃES; GIORDAN, 2011) que busca introduzir de forma concreta, no Ensino Médio, a Física Moderna e Contemporânea, através do estudo da Natureza da Luz. É urgente a implementação de um currículo viável de ensino de Física, que inclua o avanço da ciência a partir do século XX, e para que isso aconteça de maneira efetiva e consistente, reformas pedagógicas no método de ensino e nas sequências didáticas se fazem necessárias. A proposta desta intervenção está pautada em uma pedagogia inspirada na teoria de Vigotski (2004,2007,2009), onde o professor é peça chave do processo de ensino e aprendizagem, fazendo na maior parte do tempo o papel de parceiro mais capaz. Para isso, adotamos como prática pedagógica as etapas da Situação de Estudo (GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012). Nos propomos a investigar a viabilidade da inserção do ensino da Teoria Corpuscular da Luz na 2ª série do Ensino Médio através de uma SD aplicada a 31 estudantes de uma instituição particular de ensino. Como instrumento de coleta de dados utilizamos um questionário inicial, registros em áudio e vídeo da realização das atividades, uma simulação computacional e um experimento de baixo custo sobre o Efeito Fotoelétrico, além de uma avaliação tradicional. Realizamos uma revisão de literatura onde descrevemos a abordagem do estudo da Óptica nos 14 livros aprovados pelo Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) para o triênio 2015-2017. Além disso, relatamos o estudo de diversos artigos, publicados nos últimos dez anos em periódicos selecionados, relacionados ao estudo da Natureza da Luz através da discussão das Teorias Corpuscular e Ondulatória, e da utilização de experimentos de baixo custo e simulações computacionais no ensino dessas teorias. Concluímos ser viável o estudo da Natureza da Luz através do ensino do Efeito Fotoelétrico na 2ª série do Ensino Médio. A partir daí, entendemos que devemos ampliar essa prática para todos os assuntos de Física no Ensino Médio, com o propósito de uma implementação de um currículo que viabilize de fato a introdução de temas relacionados às descobertas do início do século XX, sem a necessidade que os tópicos sejam colocados apenas ao final do curso.

Palavras-chave: Ensino de Física, Efeito Fotoelétrico, Atividades Experimentais, Vigotski

ABSTRACT

We present a teaching unit (SD) (GUIMARÃES; GIORDAN, 2011) which aims the introduction of the Modern and Contemporary Physics in a concrete way to High School students through the study of the Nature of Light. In order to promote the implementation of a Physics teaching syllabus which includes the twentieth century science advances, it urgent to promote effective educational changes in the teaching method and in the teaching syllabus sequences. The purpose of this work is guided by a pedagogy inspired in Vygotsky's theory (2004, 2007, 2009), in which the teacher is a key part of both teaching and learning processes, most of the time acting as a skillful partner of the learners.

Therefore, we have adopted the Study Situation steps (GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012) as a pedagogical practice. Our propose is to investigate the adoption of the corpuscular theory of light teaching in a second-year High School class through an SD applied to 31 private school students. As data collection instruments, it was used a questionnaire, audio recordings and video performance of activities, a computer simulation and low-cost experiments on the photoelectric effect, as well as a traditional evaluation. We describe the approach of the Optics study in fourteen textbooks approved by the National Textbook Plan (PNLD) for the year period from 2015 to 2017 in the review of literature. In addition, we report the study of several articles published in the past decade in selected journals related to the study of Light Nature by discussing the corpuscular and Undulating theories, and use of low cost and computational simulations experiments for teaching these theories. We conclude the viability of the study of the Nature of Light through the Photoelectric Effect teaching in second-year- High School classes. From there, we believe we should expand the practice to all High School Physics subjects, aiming a curriculum implementation which effectively enables the introduction of topics related to the early Twentieth Century discoveries, replacing the practice of teaching these topics only at the end of the course.

Keywords: Physics Teaching, Photoelectric Effect, experimental activities, Vygotsky

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Divisão dos alunos nos grupos que realizaram a simulação computacional.....69

Tabela 5.2: Análise das respostas dos grupos para a questão 5 do roteiro da simulação computacional.....75

Tabela 5.3: Frequências da luz emitida pelos LEDs verde e azul calculadas pelos grupos.....82

Tabela 5.4: Classificação do percentual de respostas por questão.....85

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1: Categorias elaboradas para análise das respostas apresentadas pelos alunos.....84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Distribuição de Escolas por Grupo.....20

Figura 4.1: Etapas da Situação de Estudo e estruturação da Sequência Didática.....50

Figura 4.2: Alunos realizando atividade em grupo utilizando mesas cujo formato facilita a organização e proximidade dos componentes.....52

Figura 4.3: Estudantes realizando a simulação computacional.....53

Figura 4.4: Kit experimental desenvolvido para o estudo do Efeito Fotoelétrico.....56

Figura 4.5: Materiais utilizados na confecção do kit experimental.....56

Figura 4.6: Alunos realizando medidas com o voltímetro.....57

Figura 4.7: Estudantes respondendo as questões propostas no roteiro semiestruturado.....57

Figura 4.8: Imagem do simulador utilizado durante a intervenção.....59

Figura 4.9: Configuração inicial da simulação.....60

Figura 4.10: Alunos utilizando o computador para a realização da simulação computacional.....60

Figura 4.11: Grupo realizando a atividade proposta.....61

Figura 4.12: Kit experimental entregue aos grupos.....62

Figura 5.1: Terceira questão do Questionário Diagnóstico Inicial.....65

Figura 5.2: Quarta questão do Questionário Diagnóstico Inicial.....66

Figura 5.3: Percentual de acertos dos alunos nas questões 1 e 2 antes e depois da intervenção.....85

Figura 5.4: Análise percentual das respostas dos alunos na quarta questão.....87

Figura 5.5: Análise percentual das respostas dos alunos na quinta questão.....88

Figura 5.6: Análise percentual das respostas dos alunos na sexta questão.....89

Figura 5.7: Análise percentual das respostas dos alunos na sétima questão.....90

Figura 5.8: Análise percentual das respostas dos alunos na oitava questão.....91

Figura 5.9: Análise percentual das respostas dos alunos na questão 9A.....91

Figura 5.10: Análise percentual das respostas dos alunos na questão 9B.....92

Figura 5.11: Análise percentual das respostas dos alunos na questão 9C.....92

LISTA DE SIGLAS

Aneb – Avaliação nacional da educação básica

Capes – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CBC – Currículo Base da Escola Estadual

CBEF – Caderno Brasileiro de Ensino de Física

EM – Ensino Médio

ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio

FMC – Física Moderna e Contemporânea

Inse – Indicador de Nível Socioeconômico

MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

PCN's – Parâmetros Curriculares Nacionais

PCN's+ – Orientações Educacionais Complementares aos PCN's

PNLD – Plano Nacional do Livro Didático

RBEF – Revista Brasileira de Ensino de Física

RBPEC – Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências

SD – Sequência Didática

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

ZDP – Zona de desenvolvimento proximal

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....17
1.1 Problema da pesquisa 19
1.2 Sujeitos da Pesquisa.....19
1.3 Local da intervenção.....20
1.4 Objetivos da pesquisa.....21
1.4.1 Objetivo geral.....21
1.4.2 Objetivos específicos.....21
1.5 Justificativa da pesquisa.....22
1.6 Organização da dissertação 24

CAPÍTULO 2: REVISÃO DE LITERATURA 25
2.1 Os livros didáticos e a abordagem sobre o estudo da luz.....25
2.2 A produção acadêmico-científica sobre a Natureza da Luz
2.2.1 O comportamento dual da Luz.....28
2.2.2 Abordagem experimental no estudo da Natureza da Luz.....31
2.2.3 O uso da simulação computacional no ensino da Natureza da Luz.....35
2.2.4 A evolução conceitual da luz ao longo da História da Ciência.....37

CAPÍTULO 3: REFERENCIAL TEÓRICO 40
3.1 Nota biográfica sobre Vigotski.....40
3.2 A teoria de Vigotski.....41
3.2.1 O papel da motivação.....41
3.2.2 A importância dos instrumentos e dos signos.....42
3.2.3 Zona de desenvolvimento proximal.....43
3.2.4 O parceiro mais capaz.....45
3.3 As etapas da Situação de Estudo.....46
3.3.1 Problematização.....46
3.3.2 Primeira Elaboração.....47
3.3.3 Função de elaboração e compreensão conceitual.....48

CAPÍTULO 4: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 49
4.1 Etapas da Situação de Estudo e a formulação da Sequência Didática ..49
4.1.1 Aula 1 da SD.....50
4.1.2 Aulas 2 e 3 da SD.....51
4.1.3 Aulas 4 e 5 da SD.....53
4.1.4 Aulas 6 e 7 da SD.....54
4.1.5 Aulas 8 e 9 da SD.....55
4.2 Os instrumentos de coleta de dados utilizados 57
4.2.1 Questionário diagnóstico inicial.....58
4.2.2 Simulação computacional.....59
4.2.3 Experimento de baixo custo.....61
4.2.4 Avaliação tradicional 62
4.2.5 A gravação das aulas 63

CAPÍTULO 5: ANÁLISE DE DADOS 64
5.1 Análise do questionário diagnóstico inicial 64
5.2 Análise da simulação computacional.....69
5.3 Análise da atividade experimental.....76
5.4 Análise dos resultados da avaliação tradicional.....84

CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS 94

CAPÍTULO 7: REFERÊNCIAS 100

APÊNDICES 106

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O que é a luz? De onde ela vem? O que a diferencia das trevas? Essas indagações permeiam a mente de muitos, seja uma criança descobrindo o mundo em colaboração de uma parceria mais capaz - talvez os pais, ou os professores do ensino infantil - passando por cientistas renomados que, de dentro dos seus laboratórios ou observando a natureza, testam hipóteses e criam modelos.

Comigo[1] não foi diferente, pois também fiz essas indagações em momentos diferentes da minha vida. Talvez a primeira ocasião que me deparei com essas inquisições foi quando ganhei uma lupa. Do alto dos meus oito anos de idade fiz os meus primeiros experimentos com a luz, fazendo-a passar por dentro daquele pedaço de vidro curvo e percebendo que do outro lado ela concentrava-se em apenas um ponto, brilhante e quente. Hoje divirto-me com meu filho observando o arco-íris que se forma nas manhãs em que a luz do Sol atravessa a cortina de vidro da varanda, projetando no chão as cores que compõe a luz branca. Há mais de três séculos um dos maiores gênios que a humanidade conheceu realizava um experimento similar para explicar o fenômeno. Em 1672, o inglês Sir Isaac Newton publicava as suas ideias sobre a natureza corpuscular da luz. O modelo proposto não encontrou eco na comunidade científica da época, onde a maioria dos pesquisadores acreditava que a luz se comportava como uma onda. Talvez o principal opositor das ideias newtonianas tenha sido o cientista holandês Christiaan Huygens que, em 1690, publicaria os seus estudos sobre a natureza da luz no livro “Tratado sobre a luz”. Nele, defendeu que a luz é uma onda e, sendo assim, necessitaria de um meio de propagação, intitulado

[1] Neste trabalho, em alguns momentos direcionamo-nos ao leitor em primeira pessoa do singular por tratar-se de experiências pessoais do mestrando. Entretanto, na maior parte dessa dissertação é utilizada a primeira pessoa do plural, referenciando as reflexões com outros autores e os procedimentos e as análises realizadas em conjunto entre pesquisador e orientador.

“éter”. Como Newton discordava, foi criado um debate científico que somente anos depois obteve comprovações experimentais (BRENNAN, 1998).

Em 1800, o Físico britânico Thomas Young realizou a experiência da dupla fenda, que se torna um ponto de virada crucial na história da ciência, pois prova após um século de debates, que a luz não era composta de partículas, mas existia na forma de onda. Os trabalhos de Young e outros forçaram gradualmente a aceitação da teoria das ondas para a luz, e a teoria corpuscular foi finalmente abandonada por volta de 1830 (BRENNAN, 1998).

No entanto, no início do século XX, o jovem e brilhante cientista Albert Einstein, cujos trabalhos revolucionários o fizeram ser comparado a Newton, ressuscitou a ideia da natureza da luz defendida pelo inglês, sem abandonar a proposta corrente da época. Através da Teoria do Efeito Fotoelétrico, demonstrou que a luz tinha uma natureza dual: ora agia como pequenas partículas, ora se comportava como uma onda. Baseado na Teoria dos Quanta de Max Planck, que defendia que a energia contida nas radiações eletromagnéticas emanadas de um átomo, não é emitida de modo contínuo, mas em forma de minúsculos “pacotes” discretos, Einstein propôs que esses pacotes, denominados de fótons, ao interagirem com uma superfície metálica poderiam arrancar elétrons e assim produzir uma corrente elétrica (BRENNAN, 1998). Esse fenômeno, denominado Efeito Fotoelétrico, está presente no nosso cotidiano, explicando o princípio de funcionamento dos controles-remoto, das portas de abertura automática e das lâmpadas de LEDs, entre outras aplicações.

Passados mais de 100 anos dos conceitos e postulados iniciais de Einstein, a aprendizagem desse conteúdo ainda se torna um grande desafio no Ensino Médio, o que motivou a realização desta pesquisa. Grande parte dos livros didáticos aborda o tema em apêndices complementares ou ao final das coleções, não havendo tempo hábil para o professor ministrar aulas que possam aprofundar no debate que a matéria exige. Nos propomos a investigar a viabilidade da inserção do ensino da Teoria Corpuscular da Luz na 2ª série do Ensino Médio através de uma sequência didática aplicada aos alunos do Colégio que leciono. Buscamos, com essa abordagem, levar o estudante a compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria, instigando a ligação com os conceitos clássicos de Óptica e Ondulatória que tradicionalmente são ministrados durante o ano. A pesquisa em questão, também objetiva fomentar a discussão da efetiva inserção do estudo da Física Moderna

durante o Ensino Médio e diagnosticar algumas dificuldades apresentadas pelos estudantes.

No decorrer deste trabalho, descreveremos as estratégias adotadas, os instrumentos utilizados e as avaliações aplicadas a fim de introduzir o ensino da Teoria Corpuscular da Luz na 2ª série do Ensino Médio. Ao final, esperamos contribuir para que as propostas para o ensino de Física Moderna sejam cada vez mais difundidas e aplicadas na educação básica brasileira.

4.2 Problema da Pesquisa

É viável o estudo da Natureza da Luz através do ensino do Efeito Fotoelétrico na 2ª série do Ensino Médio, logo após o estudo de Ondulatória?

4.3 Sujeitos da Pesquisa

Os sujeitos dessa pesquisa foram 31 alunos de uma turma da 2ª série do Ensino Médio regular, com idades entre 15 e 17 anos, de uma instituição de ensino privado, na qual eu leciono desde 2004. O perfil socioeconômico dos estudantes foi classificado como Muito Alto, de acordo com o Indicador de Nível Socioeconômico (Inse) das escolas, índice criado pelo Inep (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira) em 2014, com base nos dados da Prova Brasil e da Aneb (Avaliação nacional da educação básica) de 2011 e 2013, bem como nos dados do ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) de 2011 e 2013 (disponível em file:///D:/Documentos/Desktop/DISSERTA%C3%87%C3%83O/nota_tecnica_indicador_nivel_socioeconomico.pdf). A Figura 1.1 apresenta a distribuição de escolas avaliadas em cada grupo socioeconômico.

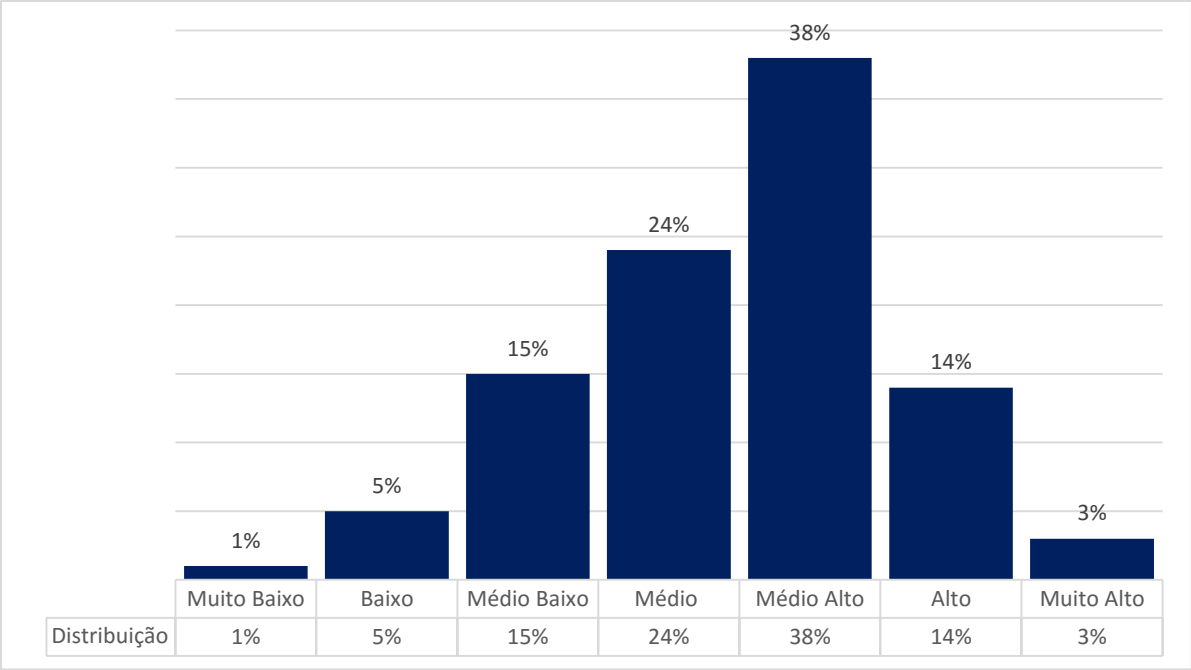


Figura 2.1: Distribuição de Escolas por Grupo.

Observamos na figura 1.1 que as escolas classificadas com o perfil Muito Alto atendem uma parcela pequena da sociedade. Nesse perfil estão famílias que possuem computador com acesso à *internet*, renda mensal acima de 7 salários-mínimos, pais ou responsáveis que completaram a faculdade, dentre outros fatores. Assim, os alunos que participaram da pesquisa não apresentaram dificuldades em utilizar computadores ou *tablets* durante as atividades que requeriam essas ferramentas.

4.4 Local da intervenção

O local da intervenção foi um colégio confessional católico localizado em Vitória - ES, cuja rede de ensino possui mais de 100 escolas no país. O colégio que trabalho foi fundado em 2002 e lá estou desde 2004. Possui 1300 alunos da educação infantil até o Ensino Médio (EM), sendo 350 nas últimas séries, divididos em 4 turmas de 1ª série EM, 3 turmas de 2ª série EM e 3 turmas de 3ª série EM. Possui laboratórios de Ciências e material didático digital, sendo permitido ao aluno a utilização de *tablets* e computadores no acompanhamento diário das aulas. Atualmente leciono a disciplina de Física nas 2ª e 3ª séries EM, sendo que nas turmas de 2ª série possuo 4 aulas

semanais para desenvolver o conteúdo. Além disso, o aluno possui acompanhamento disciplinar e pedagógico através de uma equipe de profissionais que cuidam da orientação escolar e mantém contato diário com a família.

Nesse contexto, que julgo privilegiado em relação à maioria das escolas brasileiras, pude desenvolver a pesquisa sem ter que me preocupar com quatro das grandes deficiências estruturais das escolas no nosso país: falta de materiais e aparelhamentos; falta de lugar adequado para realizar as atividades; falta de tempo para planejamento; e, por fim, número insuficiente de aulas na organização curricular (GASPAR, 2014). Mesmo assim, optei em desenvolver uma sequência de ensino que tornasse viável a sua aplicação em diversos contextos educacionais, utilizando materiais de baixo custo e equipamentos presentes também em escolas públicas, tais como um projetor e acesso à internet. A proposta é de realmente viabilizar a utilização do material para qualquer professor que queira replicá-lo.

4.5 Objetivos da pesquisa

4.5.1 Objetivo geral

Investigar a introdução da Física Quântica na 2ª Série do Ensino Médio através do estudo da Natureza da Luz, por meio de uma abordagem inspirada na perspectiva interacionista da teoria de Vigotski (2004, 2007, 2009).

4.5.2 Objetivos específicos

- Conhecer as concepções dos estudantes a respeito da Natureza da Luz,
- Analisar a apropriação dos conceitos relativos ao Efeito Fotoelétrico,
- Investigar a interação de grupo de alunos com atividades experimentais e simulações computacionais relacionadas ao tema,
- Avaliar os resultados obtidos com a aplicação da Sequência Didática em termos de processos de ensino e aprendizagem.

1.5 Justificativa da pesquisa

O ensino de Física Moderna no Ensino Médio tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores ao longo dos últimos anos. Ostermann e Pereira (2009) apontaram que a grande maioria das publicações sobre Física Moderna e Contemporânea (FMC) no início do século XXI era em forma de divulgação ou como bibliografia de consulta para professores. Segundo Silva e Errobidart (2015) os trabalhos recentes sobre FMC buscam tornar viáveis sequências didáticas que implementariam de forma concreta o ensino de FMC. A implementação de um currículo viável de ensino de Física que inclua o avanço da ciência a partir do século XX é urgente e para que isso aconteça de maneira efetiva e consistente, reformas pedagógicas no método de ensino e nas sequências didáticas se fazem necessárias.

Em uma proposta de formação sociointeracionista, os conteúdos formais de Física deixam de ser o único foco de aprendizado. Além do ensino de conceitos, leis e teorias, deve-se desenvolver uma proposta que propicie trazer o aluno para uma discussão inserida nos conflitos e indagações do dia a dia, aproximando conteúdos de ciências de conteúdos da vida. Para compreendermos as inovações tecnológicas do início do século XXI, tais como celulares com múltiplas funções, internet, *tablets*, entre outros, deveremos recorrer às descobertas da Física Quântica. Associar a implementação das novas tecnologias com esse estudo, irá aproximar o aluno do entendimento dessas teorias. De acordo com as Orientações Educacionais Complementares aos PCN's (PCN+) (Brasil, 2002), é necessário que o aprendiz compreenda de forma conceitual os fenômenos tecnológicos atuais para ser capaz de identificar, interpretar e lidar com as situações do cotidiano, como "reconhecer e avaliar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social" (BRASIL, 2002, p. 150)

Alguns tópicos de Física Moderna fazem parte dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) (Brasil, 2000). Com relação à luz, por exemplo, o PCN's+ traz que a natureza ondulatória e quântica da luz e sua interação com os meios materiais, assim como os modelos de absorção e emissão de energia pelos átomos, são alguns exemplos que

abrem espaço para uma abordagem quântica da estrutura da matéria. Segundo os PCN's + (Brasil, 2002)

> O cotidiano contemporâneo depende, cada vez mais intensamente, de tecnologias baseadas na utilização de radiações e nos avanços na área da microtecnologia. (...) Nessa abordagem, uma vez que a maior parte dos fenômenos envolvidos depende da interação da radiação com a matéria, será adequado um duplo enfoque: por um lado, discutindo os modelos de constituição da matéria, incluindo o núcleo atômico e seus constituintes; e por outro, caracterizando as radiações que compõem o espectro eletromagnético, através de suas diferentes formas de interagir com a matéria. Essa compreensão das interações e da matéria, agora em nível microscópico, permite um novo olhar sobre algumas propriedades trabalhadas no ensino médio, tais como condutividade e transparência, mas permite também promover, como síntese, uma concepção mais abrangente do universo físico.

No Estado do Espírito Santo foi criado o Currículo Base da Escola Estadual (CBC) (Espírito Santo, 2009), documento que aponta para uma única proposta curricular da rede de ensino pública estadual, que comporta 85% das escolas de ensino básico no Estado. Nesse documento, a proposta de ensino da Teoria Corpuscular da Luz através do Efeito Fotoelétrico é feita para as turmas de 2ª série EM.

Todavia, segundo a nossa pesquisa, os 14 livros aprovados no Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) para o triênio 2015-2017 (ARTUSO e WRUBLEWSKI, 2013; BARRETO FILHO e SILVA, 2013; BONJORNO *et al.*, 2013; DOCA, BISCUOLA e VILLAS BÔAS, 2013; FUKE e YAMAMOTO, 2013; GASPAR, 2013; GONÇALVES FILHO e TOSCANO, 2013; MARTINI *et al.*, 2013; MÁXIMO e ALVARENGA, 2013; MENEZES *et al.*, 2013; PIETROCOLA *et al.*, 2013; PIQUEIRA, CARRON e GUIMARÃES, 2014; STEFANOVITS, 2013; TORRES *et al.*, 2013) abordam o tema ao final das coleções, no 3º volume. Infelizmente, o que se nota é que esses tópicos só têm sido cumpridos em algumas escolas particulares, cujo foco é exclusivamente a preparação do aluno para o Exame de Seleção para o Curso Superior. Pode-se atribuir esse não cumprimento dos PCN's e outros documentos, principalmente por parte das escolas públicas, quanto ao ensino de Física Moderna, a praticamente dois fatores: falta de tempo aliada à importância que se dá aos tópicos de Física Clássica nos vestibulares nacionais (GUERRA; BRAGA; REIS, 2007), e ao despreparo/defasagem dos professores (GASPAR, 2014). Nos últimos anos muitos pesquisadores da área de Ensino de Física vêm desenvolvendo pesquisas educacionais para a elaboração de material didático e para a capacitação de professores no intuito de tornar o ensino de Física Moderna efetivo no Ensino Médio,

onde podemos destacar os trabalhos de Micha et al. (2011), Souza et al. (2015), Erthal e Linhares (2008), Loreto e Sartori (2008), Silva e Assis (2012), Cavalcante, Rodrigues e Bueno (2013) e Coelho e Borges (2010).

Segundo Ostermann e Moreira (2001)

> (....) É possível, então, perceber que ainda predomina, na literatura, a simples apresentação de tópicos de Física Moderna e Contemporânea. No entanto, questões de ensino vêm sendo incorporadas aos trabalhos e, talvez, seja uma tendência em crescimento. A abordagem de temas atuais de Física em revistas dirigidas a professores é, sem dúvida, uma contribuição importante para a atualização curricular. Mas, além disso, é preciso investir na possibilidade de introduzir alguns desses tópicos no Ensino Médio, verificando resultados de aprendizagem em condições reais de sala de aula.

Acreditamos que esse trabalho possa contribuir para a implementação de um currículo que viabilize de fato a introdução de temas relacionados às descobertas do início do século XX, sem a necessidade que os tópicos sejam colocados apenas ao final do curso.

1.6 Organização da dissertação

Essa **introdução** objetiva situar o leitor sobre o contexto da pesquisa em questão e as finalidades deste trabalho de mestrado. Apresentamos no **Capítulo 2** a revisão de literatura, exibindo os artigos relacionados ao estudo da Natureza da Luz através da discussão das Teorias Corpuscular e Ondulatória, e da utilização de experimentos de baixo custo no ensino dessas teorias. No **Capítulo 3**, expomos o referencial teórico norteador dessa intervenção onde mostramos os princípios das implicações pedagógicas da teoria de Vigotski (2004, 2007, 2009) e as aplicações metodológicas da Situação de Estudo (GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012). Em seguida, no **Capítulo 4**, exibimos os procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa, descrevendo a investigação e os instrumentos de coleta de dados utilizados. O **Capítulo 5** apresenta os dados coletados e as análises de seus resultados. No **Capítulo 6** fazemos as considerações finais e, na sequência, o **Capítulo 7** apresenta as referências utilizadas. Os **Apêndices** apresentam os materiais utilizados durante a intervenção e, por fim, é apresentado o produto final desta dissertação de mestrado.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo descreveremos a abordagem do estudo da Óptica nos 14 livros aprovados pelo Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) para o triênio 2015-2017. Além disso, relataremos o estudo de diversos artigos, publicados nos últimos dez anos em periódicos selecionados, relacionados ao estudo da Natureza da Luz através da discussão das Teorias Corpuscular e Ondulatória, e da utilização de experimentos de baixo custo e simulações computacionais no ensino dessas teorias.

2.1 Os livros didáticos e a abordagem sobre o estudo da luz

O estudo da luz e dos fenômenos associados ao seu comportamento é abordado nos livros didáticos do Ensino Médio (EM) comumente na unidade de ensino dedicado à Óptica Geométrica. Alguns conceitos relacionados ao tema também são descritos em capítulos dedicados ao ensino de Ondulatória ou Eletromagnetismo. O Efeito Fotoelétrico é abordado em uma introdução à Física Moderna geralmente colocada após o estudo do Eletromagnetismo, no final das coleções. Nessa parte da revisão de literatura nos dedicamos a análise dos 14 livros aprovados no PNLD para o triênio 2015-2017 afim de identificar como o estudo sobre a luz foi abordado pelos diversos autores dos livros didáticos utilizados pelos alunos da rede pública estadual e federal de ensino.

Máximo e Alvarenga (2013), Bonjorno *et al.* (2013), Fuke e Yamamoto (2013), Piqueira, Carron e Guimarães (2014), Barreto Filho e Silva (2013) e Doca, Biscuola e Villas Bôas (2013) iniciam o estudo da Óptica conceituando-o como sendo o estudo da luz e dos fenômenos luminosos em geral. Lembram que esse campo de estudo desperta o interesse dos pensadores desde a Antiguidade e realizam um pequeno

resgate histórico sobre a evolução do conceito da luz desde os filósofos gregos, como Platão e Aristóteles, até Newton, Huygens, Young e Maxwell. Bonjorno *et al.* (2013) e Piqueira, Carron e Guimarães (2014) destacam o trabalho de Einstein para a formulação da teoria da dualidade onda-partícula: a luz se propaga como onda e interage como partícula.

Gonçalves Filho e Toscano (2013) introduzem a Óptica Geométrica analisando os seus princípios e discutindo os fenômenos da reflexão e refração da luz. Após três capítulos, os autores apresentam o modelo corpuscular de luz elaborado por Newton para compreensão tanto da reflexão como da refração. Ao definir difração, é apresentado o modelo ondulatório e, com ele, o estudo das ondas. Nessa unidade não foi discutido o modelo corpuscular da luz proposto por Einstein.

Torres *et al.* (2013), Gaspar (2013), Artuso e Wrublewski (2013), Fuke e Yamamoto (2013), Menezes *et al.* (2013), Stefanovits (2013), Martini *et al.* (2013) e Pietrocola *et al.* (2013) apresentam a luz como uma onda eletromagnética, mas, na unidade de estudo de Óptica, discutem apenas o modelo geométrico para análise dos fenômenos luminosos. Menezes *et al.* (2013) estabelecem o conceito da dualidade onda-partícula, mas não discorrem sobre o Efeito Fotoelétrico nesse momento.

Nas diversas abordagens realizadas pelos autores dos livros didáticos pesquisados, percebemos a falta de uma contraposição entre a teoria corpuscular e a ondulatória da luz já no início do estudo de Óptica, que é o ramo da Física responsável por introduzir o estudo da luz. Acreditamos que, nesse caso, a ausência dessa contraposição possa se tornar um verdadeiro obstáculo pedagógico no futuro, pois o professor, ao explicar apenas um, ou até mesmo nenhum modelo para o comportamento da luz, poderá reforçar uma concepção prévia do estudante, dificultando-se uma posterior abordagem que o leve à ruptura dessas estruturas mentais já estabelecidas. Segundo Vigotski (2004), as concepções prévias são modelos que, normalmente, são construídos pelo sujeito em sua interação com o mundo físico, isto é, para dar sentido a eventos do mundo em que vive. Dessa forma, quando um aluno atinge novos estágios do ensino formal, traz consigo esse conhecimento prévio que, possivelmente, é muito resistente à mudança conceitual. Através da aquisição de novos conceitos o educando se vê obrigado a reformular suas concepções prévias, o que significaria construir uma nova estrutura de pensamento por meio de uma reestruturação cerebral, situação essa que nem sempre é simples.

Por isso, é importante apresentar aos alunos os motivos pelos quais eles devem reformular suas ideias iniciais, mostrando-os, razões satisfatoriamente fortes e convincentes. Ao apresentar e discutir as duas hipóteses sobre o comportamento da luz acreditamos proporcionar ao aluno um caminho mais fácil para compreensão dos fenômenos de interação da radiação com a matéria, qualificando-os para construir as novas estruturas de pensamento necessárias à aquisição do conteúdo lecionado.

2.2 A produção acadêmico-científica sobre a Natureza da Luz

A fim de conhecermos um pouco mais sobre a produção acadêmico-científica relacionada ao estudo da Natureza da Luz atrelada a discussão das teorias corpuscular e ondulatória, e a utilização de experimentos de baixo custo e simulações computacionais no ensino dessas teorias, realizamos esta revisão de literatura. Inicialmente escolhemos seis revistas de acordo com os seguintes critérios: o livre acesso ao público; o acesso a suas edições via internet; a importância que possuem para a comunidade de pesquisadores em ensino de Física e a relevante colocação no Qualis da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) na classificação de periódicos.

Esse levantamento foi realizado nas seguintes revistas:

- Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef, vinculada à Sociedade Brasileira de Física e com Qualis A1 na área de Ensino;
- Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica, vinculado a Universidade Federal de Santa Catarina e com Qualis B1 na área de Ensino;
- Revista Ciência & Educação, disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=1516-7313&lng=pt&nrm=iso, vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Universidade Estadual Paulista *campus* Bauru, com Qualis A1 na área de Ensino;

- Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC), disponível em: http://revistas.if.usp.br/rbpec, vinculada a Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, com Qualis A2 na área de Ensino;
- Revista Física na Escola, disponível em: http://www.sbfisica.org.br/fne/, um suplemento semestral da Revista Brasileira de Ensino de Física destinada a apoiar as atividades de professores de Física do ensino médio e fundamental publicada de 2000 a 2012 com Qualis B2 na área de Ensino;
- Revista Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, disponível em: http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/index, uma publicação do Centro de Ensino de Ciências e Matemática – CECIMIG (www.fae.ufmg/cecimig), órgão de pesquisa e extensão no ensino de ciências da Faculdade de Educação da UFMG – e do Programa de Pós-Graduação em Educação da UFMG, com Qualis A2 na área de Ensino.

Levantamos dados a partir de 2006 até 2015. Porém, como a Revista Física na Escola encerrou suas publicações em 2012 e explicitamente destacava que seu objetivo era apoiar as atividades dos professores em sala de aula na educação básica, optamos por analisar todos 24 exemplares publicados.

Classificamos os trabalhos encontrados em quatro categorias, a saber: 1) O comportamento dual da luz; 2) Abordagem experimental no ensino da Natureza da Luz; 3) O uso da simulação computacional no ensino da Natureza da Luz; 4) A evolução conceitual da luz ao longo da História da Ciência. Apresentamos a seguir a descrição dos trabalhos encontrados.

2.2.1 O comportamento dual da Luz

Agrupamos nessa categoria, os artigos relacionados ao emprego de metodologias de ensino sobre a Natureza da Luz e as estratégias utilizadas na discussão sobre o comportamento da luz como partícula e/ou como onda.

Coelho e Borges (2010) relatam um estudo sobre o desenvolvimento do pensamento dos estudantes no campo da Óptica e Física Moderna (Natureza da Luz) em um ambiente curricular no qual os conteúdos foram organizados de forma recursiva e em

espiral. O estudo se propôs a investigar a mudança no entendimento dos estudantes sobre a Natureza da Luz ao longo da terceira série do Ensino Médio e o patamar de entendimento dos estudantes sobre essa temática, ao final da terceira série. Para avaliar o entendimento dos estudantes, foi desenvolvido um instrumento qualitativo e um sistema categórico hierarquizado constituído de cinco modelos sobre a Natureza da Luz. Em relação ao patamar de entendimento dos estudantes, ao encerrar a terceira série, a maior parte deles mobiliza os modelos eletromagnético, corpuscular (com a hipótese do quantum de energia) ou dual, mas com alguns estudantes apresentando inconsistências em suas explicações.

Scarinci e Marinel (2014) escrevem sobre os efeitos da interação luz-matéria que resultam nas cores que enxergamos. São feitas algumas considerações sobre percepção visual e, em seguida, explicações para as causas da cor que utilizam o eletromagnetismo clássico (luz como onda eletromagnética). Ao final do texto, para efeito de comparação e para ampliar o entendimento dos fenômenos relacionados à cor, também foram abordados alguns fenômenos que exigem a utilização de um modelo quântico para a luz.

Pimentel *et al*. (2014) propõe a observação da fluorescência que se verifica em alguns materiais, objetos e seres vivos como atividade para que os estudantes sejam levados a perceber a existência de interação entre a Física, a Química e a Biologia, disciplinas geralmente não correlacionadas. Os autores defendem que as abordagens multidisciplinares de eventos do cotidiano constituem valiosas ferramentas a serem utilizadas pelo professor para desencadear reflexões acerca de como a construção do conhecimento científico se faz por meio de um processo coletivo, bem como sobre a importância de que a investigação científica não fique limitada a uma determinada área do conhecimento, para a compreensão plena de quaisquer fenômenos.

Silva e Moraes (2015) apresentam um estudo que teve o propósito de construir subsídios para responder a seguinte questão: que elementos do tema espectroscopia desenvolvidos em aulas de Física, numa abordagem histórico-filosófica, podem complementar o estudo de modelo atômico realizado nas aulas de Química do Ensino Médio? Para tal, foi desenvolvida uma sequência didática na terceira série do Ensino Médio de uma escola da rede federal de ensino. Para analisar os dados coletados por meio de gravação de áudio e vídeo das aulas, optou-se pela pesquisa qualitativa. Tal análise apontou que o estudo do tema espectroscopia, nas aulas de Física, é capaz

de suscitar questões importantes ao estudo do modelo atômico desenvolvido nas aulas de Química.

Silva e Souza (2014) verificaram a viabilidade de se promoverem estratégias de ensino de tópicos sobre a luz a partir da sua natureza ondulatória, buscando evidências de aprendizagem em um curso de nível Médio. Um grupo de alunos foi submetido a situações instrucionais, elaboradas na perspectiva da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, com o objetivo de criar condições favoráveis à evolução conceitual e, com isso, promover uma maior compreensão, por parte dos alunos, dos fenômenos relacionados ao tema. Apesar das condições de infraestrutura precárias para a realização deste estudo, os resultados revelaram evidências de evolução conceitual e a viabilidade de se tratarem tópicos sobre a luz a partir da teoria ondulatória.

Silva e Errobidart (2015) apresentam o resultado de uma pesquisa bibliográfica relacionada exclusivamente ao ensino do Efeito Fotoelétrico, preferencialmente no Ensino Médio, realizada em periódicos nacionais e internacionais da área de ensino e educação. O número de pesquisas e os diferentes aspectos envolvidos no ensino de tópicos Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio vêm crescendo de forma bastante considerável nos últimos anos, sendo necessário muitas vezes o levantamento e a categorização dos trabalhos publicados. Os resultados indicam que maioria dos trabalhos publicados relatam propostas a serem utilizadas em sala de aula mediante utilização de simulação computacional ou experimentação ou aspectos de História e Filosofia da Ciência, porém, poucos pesquisadores efetivamente têm investigado o processo de construção dos conceitos físicos presentes no modelo corpuscular para a luz.

Os trabalhos apresentados aprofundam temas que são abordados de maneira superficial nos livros didáticos quando estudados em Óptica, possibilitando que os leitores possam qualificar a discussão sobre o comportamento dual da luz sem necessariamente ter que estudar outros tópicos que envolvem a Física Moderna.

2.2.2 Abordagem experimental no estudo da Natureza da Luz

Os artigos relacionados a seguir abordam o uso de atividades experimentais de baixo custo relacionadas ao ensino do comportamento dual da luz.

Micha *et al*. (2011) apresentam um experimento com a intenção de auxiliar a introdução experimental ao espectro eletromagnético. A fim de visualizar essa região do espectro, um webcam foi devidamente alterado de forma a tornar-se sensível a tal radiação. Acreditam serem esses métodos interessantes para mostrar ao estudante a existência de outros tipos de radiação fora da faixa espectral que enxergamos, uma vez que nada é melhor do que “ver o invisível” para acreditar nele. Os experimentos foram realizados com materiais de fácil obtenção e de baixo custo.

Souza *et al*. (2015) propõe um experimento que analisa a difração da luz de um laser através de fios de cabelo para discutir a natureza ondulatória da luz e o limite em que a óptica geométrica é válida. Segundo os autores, a compreensão da luz como uma onda traz uma visão mais abrangente acerca da natureza da luz. Isso nos permite compreender uma série de fenômenos que não são explicados através do modelo geométrico. Acreditam que através das observações dos efeitos evidenciados pela proposta experimental os próprios estudantes podem fazer suas conjecturas para explicar a natureza da luz e, consequentemente, estabelecer conexões entre a óptica e o eletromagnetismo.

Erthal e Linhares (2008) relatam a elaboração de uma proposta pedagógica de ensino das radiações eletromagnéticas, fundamentada na teoria de Vigotski. Confeccionaram um material pedagógico contendo três atividades experimentais que utilizaram materiais acessíveis e de baixo custo. Verificaram que o material pedagógico construído estava adequado para o nível de ensino escolhido e concluíram que houve um aprendizado de conceitos relacionados à natureza das radiações eletromagnéticas assim como de onde elas vêm sendo empregadas.

Loreto e Sartori (2008) propõem um experimento, utilizando materiais acessíveis e de baixo custo, sobre o mecanismo biofísico da visão das cores em conformidade com a teoria tricromática de YoungHelmholtz, abordando, principalmente, o processo de codificação e decodificação de sinais elétricos que chegam ao córtex cerebral. O estímulo que desencadeia esse processo é dado via transformação da energia

quantizada de um fóton de luz que ocorre nas fotocélulas da retina do olho humano. A construção de um sistema de coleta e análise de dados simples, utilizando basicamente um multímetro, filtros, LDR e LEDs, permitiu estabelecer conexões entre o sistema visual e o modelo de simulação.

Silva e Assis (2012), considerando a importância da inserção da Física Moderna e Contemporânea no currículo de Física do Ensino Médio, propõem nesse trabalho uma atividade experimental, denominada “Ouça seu controle remoto! ” confeccionada com materiais de baixo custo, que aborda o efeito fotoelétrico. Essa atividade foi utilizada de forma contextualizada, articulando-se esse fenômeno com algumas aplicações tecnológicas vivenciadas pelos alunos no seu cotidiano. Os autores defendem que o uso do experimento em questão para abordar o Efeito Fotoelétrico, mediante uma abordagem interativa e articulada com algumas aplicações tecnológicas vivenciadas no cotidiano, pode despertar emoções positivas nos alunos, tal como a curiosidade e o estranhamento, o que causa uma motivação inicial em aprender. Além disso, a utilização dessas atividades pode tornar conceitos abstratos, como os da Física Moderna, mais acessíveis aos alunos.

Cavalcante, Rodrigues e Bueno (2013) elaboraram uma sequência didática com o objetivo de explorar o funcionamento de controles remoto. O primeiro módulo da sequência destina-se ao estudo dos fenômenos físicos envolvidos na transmissão de sinais sem fio por meio da radiação eletromagnética na faixa do infravermelho. Os autores defendem a inserção de conceitos de Física Moderna nas aulas de Física do Ensino Médio de modo contextualizado e vinculado ao cotidiano dos jovens. O trabalho permite abordar conceitos que vão desde o Efeito Fotoelétrico até a transmissão e recepção da radiação infravermelha.

Assis *et al.* (2015) propõem a elaboração e utilização, em sala de aula, de uma atividade experimental que simula o sensor de movimento infravermelho, normalmente usada em edifícios para o controle da iluminação do ambiente e consequente economia de energia. O propósito desse experimento foi facilitar e contextualizar a abordagem dos conceitos de transmissão e recepção em um circuito envolvendo o infravermelho.

Catelli e Lazzari (2004) utilizam um experimento conhecido “espelho de Lloyd” para demonstrar a interferência da luz ilustrando uma transição da Óptica Geométrica para

a Óptica Física. Neste trabalho é descrita uma versão deste dispositivo de simples execução e de baixo custo. Nos testes feitos em sala percebeu-se grande interesse e motivação pelo assunto.

Cavalcante, Tavolaro e Haag (2005) apresentam um conjunto de experimentos que permite ao professor discutir o conceito de quantum de energia. Tais experimentos permitem dentre outras observações determinar através de dois métodos distintos a constante de Planck. Formas discretas de emissão e absorção de radiação e que são manifestações imediatas do quantum de energia são apresentadas utilizando material de baixo custo e de fácil reprodutibilidade. Por outro lado, o instrumental construído permitiu também estudar a emissão e absorção característica de LEDs, permitindo a abordagem de conceitos importantes como a ressonância e o princípio de funcionamento de dispositivos semicondutores, fruto das descobertas da FMC.

Cavalcante et e tal. (2002) mostram nesse artigo como podemos, utilizando-se de recursos experimentais e computacionais, criar uma aula dinâmica e ao mesmo tempo interdisciplinar, envolvendo professores de filosofia, matemática e física, através de um tema fascinante como o comportamento dual da luz, suas aplicações tecnológicas e implicações filosóficas. Os recursos apresentados neste trabalho envolveram experimentos, simulações computacionais disponíveis na Internet e a realização de um debate em sala de aula, onde parte dos alunos defenderam o comportamento ondulatório da luz e outra parte o comportamento corpuscular. O professor deve mediar e mostrar as implicações que decorrem de cada observação efetuada ao longo do debate, apontando soluções e dificuldades, objetivando desenvolver competências e habilidades de acordo com os referencias estabelecidas pelos PCN’s.

Rodrigues, *et al*. (2011) apresentam um leitor de código de barras de baixo custo como uma alternativa para a abordagem e contextualização de tópicos de Física Moderna. Acoplado à entrada de som de um computador, o equipamento é constituído fundamentalmente por um fotodiodo emissor e um fotodiodo receptor dispostos frente a frente. Além disso, foi disponibilizado um programa confeccionado na linguagem C que converte os dados captados pelo computador de um sistema de código baseado em números binários para o seu correspondente número decimal. Os autores defendem que o aprendizado de Física perpassa pela assimilação de situações que forneçam sentido aos seus conceitos. Sendo assim, o experimento contribuí para que

os alunos possam identificar essas situações para os conteúdos estudados em suas aulas.

Micha, *et al*. (2011) apresentam técnicas de mapeamento no infravermelho, que possibilitam ver no escuro e medir as temperaturas de um corpo ou de um ambiente. Alguns experimentos são propostos com o objetivo de auxiliar a visualização desse tipo de radiação, que está fora da faixa que conseguimos enxergar. O grande diferencial desses experimentos é uma câmera fotográfica digital modificada, que permite observar fenômenos no infravermelho próximo. A facilidade de acesso, o baixo custo dos componentes e a familiaridade com os materiais envolvidos nos experimentos fazem com que sejam bastante acessíveis.

Alves e Silva (2008) abordam, de forma sucinta, o funcionamento das células fotovoltaicas - dispositivos construídos com materiais semicondutores - que transformam a energia solar diretamente em energia elétrica. Os autores afirmam que muitos livros falam sobre o uso das células fotovoltaicas, mas não fornecem detalhes sobre seu funcionamento e nem sugestões alternativas que o professor possa utilizar para ilustrá-la na prática.

Cavalcante e Tavolaro (2002) mostram como pode-se construir um espectrômetro de baixo custo a partir de materiais simples e realizar experimentos com materiais encontrados facilmente no mercado. Os autores acreditam que a observação desses diferentes espectros de luz no Ensino Médio levará a uma discussão aprofundada não somente sobre a Natureza da Luz, mas também sobre o desenvolvimento da Física e Química modernas, ressaltando a contribuição desse tipo de análise no surgimento de modelos atômicos.

Os artigos apresentados atestam a importância da atividade experimental na compreensão dos fenômenos associados ao comportamento dual da luz. Vale destacar que acreditamos que a realização de uma atividade experimental por um grupo de alunos só permite a aprendizagem se esse grupo contar com a colaboração de alguém que domine esse conteúdo e oriente a realização dessa atividade em todas as etapas: a apresentação de seus objetivos e de seus fundamentos teóricos, a concretização da montagem, a adoção dos procedimentos experimentais, a realização das medidas, a apreciação de dados, a aquisição dos resultados e a exposição das conclusões.

2.2.3 O uso da simulação computacional no ensino da Natureza da Luz

Nessa seção serão relatados os trabalhos encontrados que utilizam simulações computacionais no ensino da Natureza da Luz.

Silva Neto *et al*. (2011) apresentam a aplicação de uma proposta de introdução de tópicos de Física Moderna e a avaliação de um software tipo bancada virtual que simula o interferômetro de Mach-Zehnder. Fez-se a aplicação de uma proposta para inovar a abordagem de tópicos como dualidade onda-partícula e fenômenos de interação da radiação com a matéria a uma turma de 32 alunos de um curso técnico em Radiologia Médica. Concluiu-se que o software possui todas as potencialidades que o tornam uma ferramenta muito útil no ensino e na aprendizagem de fundamentos de Física Quântica.

Netto, Cavalcanti & Ostermann (2015) investigam as estratégias discursivas adotadas por professores em formação na compreensão de alguns conceitos fundamentais de Física Quântica em atividades didáticas mediadas pelo software “Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder”. Foram analisados os enunciados de uma dupla de estudantes durante atividades de simulação computacional, mediadas também pelo uso de roteiros exploratórios concebidos para este fim. Os resultados indicam que a compreensão que ambos evidenciaram em determinadas passagens ao longo dos extratos discursivos provavelmente deram suporte para que os estudantes demonstrassem mudanças discursivas importantes no processo de compreensão dos conceitos abordados nas atividades didáticas.

Cardoso e Dickman (2012) relatam o processo de elaboração e aplicação de uma sequência de atividades que se apoia no uso de simulações computacionais para o ensino do efeito fotoelétrico, explorando os conhecimentos prévios dos alunos e, de maneira gradual, introduzindo novos conceitos. Nas atividades, foi utilizada a simulação do efeito fotoelétrico desenvolvida pelo projeto PhET da Universidade do Colorado. Os autores defendem que o uso de simulações computacionais pode levar a ganhos cognitivos ao educando, desde que sejam utilizadas consistentemente com uma teoria de aprendizagem. A sequência de atividades foi aplicada a uma turma do terceiro ano do Ensino Médio de uma instituição de ensino particular. Analisando as

respostas da avaliação final, concluíram que, no geral, houve um entendimento dos alunos em relação aos conceitos relacionados ao fenômeno em questão.

Pereira *et al*. (2012) utilizam-se de uma simulação computacional do interferômetro de Mach-Zehnder para apresentar uma discussão sobre os postulados da Física Quântica a partir de uma “tradução” do formalismo matemático para uma linguagem “operacional” e que envolve uma discussão conceitual e fenomenológica.

Silva (2012) descreve como foi implementada uma simulação computacional de um sistema de detecção de radiação ionizante semelhante ao encontrado em tradicionais laboratórios de Física Moderna. A simulação modela um sistema composto por uma "fonte" de fótons com energias que podem ser escolhidas arbitrariamente, um "detector" de comportamento semelhante a um detector Geiger-Müller e o efeito de diferentes materiais atenuadores de espessura variável posicionados entre a fonte e o detector. Na conclusão, é discutido como o trabalho se relaciona às principais metas dos laboratórios introdutórios de física, segundo um comitê da *American Physical Society*, especificamente constituído para isso.

Arantes, Miranda e Stuart (2010) abordam no seu artigo a utilização das simulações computacionais de experimentos de física, que estão disponíveis para utilização em diversos contextos. Defendem que, ainda que elas não devam substituir experimentos reais, pesquisas indicam que seu uso combinado à atividade experimental pode tornar mais eficiente o processo de aprendizagem dos alunos. Em vista da rápida disseminação das simulações computacionais, os autores concluem que é imprescindível realizar mais pesquisas sobre sua eficácia no contexto escolar: investigar como eles são usados e se, de fato, contribuem para uma aprendizagem efetiva.

2.2.4 A evolução conceitual da luz ao longo da História da Ciência

Os trabalhos a seguir mostram como os conceitos sobre a luz evoluíram desde os primeiros experimentos de Newton até os dias atuais.

Martins e Silva (2015) apresentam uma visão histórica geral sobre o desenvolvimento dos trabalhos de Isaac Newton a respeito da Óptica, desde suas primeiras investigações em 1664 até o final de sua vida, quando publicou as várias edições de seu livro Opticks. A análise dos trabalhos inéditos e publicados de Newton permite notar que ele jamais chegou a uma teoria definitiva a respeito da luz e das cores, adotando diversas hipóteses diferentes e mutuamente inconsistentes. O estudo pode contribuir para complementar as visões simplificadas sobre a história da Óptica e das contribuições de Newton sobre esse tema, bem como corrigir diversos equívocos presentes em obras didáticas e de divulgação científica sobre o assunto.

Studart (2015) busca apresentar aos leitores uma abordagem histórica e conceitual da concepção da luz desde as ideias de Newton e seus contemporâneos até a concepção atual construída a partir de ideias brilhantes e experimentos sofisticados, realizados em vários laboratórios, que permitem a manipulação e controle de fótons individuais. Uma breve discussão sobre algumas de suas aplicações, notadamente no campo da biofotônica, é apresentada.

Marineli e Sasseron (2014) analisam a estrutura argumentativa e as características dos argumentos que aparecem no texto em que Isaac Newton descreve sua “Nova teoria sobre luz e cores”, escrito em 1672. A análise realizada caracterizou os argumentos apresentados no texto e mostrou como se relacionam na elaboração da explicação de Newton para o fenômeno da formação de cores devido à refração da luz em um prisma.

Krapas, Queiroz e Uzêda (2010) realizam uma investigação sobre a produção científica de Christiaan Huygens através da sua obra máxima, “Tratado sobre a luz”. Através dessa pesquisa os autores percebem a inventividade do cientista na defesa de um modelo ondulatório para a luz como alternativo ao modelo corpuscular. No trabalho, tenta-se evidenciar o raciocínio de Huygens, mostrando que, apesar de ter sido publicada há mais de trezentos anos, a obra está escrita numa linguagem relativamente acessível.

Araújo e Silva (2009) comparam a teoria apresentada por Christiaan Huygens no Tratado sobre a Luz, no século XVII, com a versão que aparece em alguns livros didáticos de Física para cursos superiores, e estudam a percepção dos alunos acerca do desenvolvimento dessa teoria. As informações veiculadas nesses livros incorporam contribuições posteriores, que levam a uma visão inadequada da evolução dessa teoria e a atribuir ao passado as concepções atuais.

Moura e Boss (2015) realizam uma tradução comentada do texto On the theory of light and colours de Thomas Young, publicado nas Philosophical Transactions da Royal Society de Londres em 1802. Com esta tradução, os autores pretendem, por um lado, discutir a contribuição de Young para o desenvolvimento da teoria ondulatória da luz e, por outro, oferecer subsídios para promover discussões sobre a natureza do conhecimento científico em ambientes de ensino e aprendizagem de ciências.

Krapas (2011) analisa livros didáticos do Ensino Médio e do Ensino Superior com o objetivo de compreender melhor a especificidade do tratamento didático do saber relativo à Natureza da Luz com vistas a identificar os primeiros argumentos que, mais tarde, levaram Maxwell a identificar a luz como uma onda eletromagnética. A autora aponta fatores internos e externos, que podem ter influenciado a organização da disciplina escolar Física, no que concerne às ondas eletromagnéticas. Ao fim, os autores discutem as implicações didáticas das abordagens investigadas.

Silva (2015) publica um artigo contando a história sobre o conceito de fóton ao longo do Século XX, analisando as contribuições para o desenvolvimento da óptica quântica. Na óptica quântica, o fóton não é mais representado pela imagem de partícula individual, mas por uma ferramenta matemática que descreve uma excitação de um estado quântico. Esse artigo dedica-se a revelar os caminhos que levaram a um conceito de fóton mais sofisticado, passando pelos experimentos que trouxeram à tona a natureza quântica da luz.

Davidovich (2015) apresenta um panorama sobre a Natureza da Luz, a partir da proposta de Planck de 1900, até os temas atuais de emaranhamento de fótons e informação quântica. Discute a radiação do corpo negro, a lei de Planck e a teoria da emissão induzida, o maser e o laser, e a revolução conceitual da óptica quântica.

Percebemos através da revisão que os temas relacionados à luz e a evolução dos conceitos relativos aos modelos de comportamento da radiação, seja corpuscular ou ondulatório, ganharam destaque nas pesquisas científicas, principalmente no ano de 2015, denominado o Ano Internacional da Luz. Vimos que dos 35 artigos citados nessa revisão, 10 foram publicados em 2015. Esse movimento foi benéfico para as discussões que envolvem o currículo escolar em relação ao conteúdo de Óptica pois, diante da necessidade de dar ao ensino de Física Moderna o aprofundamento devido, essas reflexões apontam para uma mudança nesse currículo, com uma maior valorização dos dois temas. Cremos que a nossa pesquisa vem corroborar esse movimento a partir da pretensão de contribuir com a implementação efetiva do estudo do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio a partir do ensino de Óptica e não após o ensino de Eletromagnetismo como proposto nos livros didáticos pesquisados. Ambicionamos obter essa implementação por meio de uma sequência didática que introduz o ensino de Óptica através da discussão do comportamento dual da luz, logo após o estudo de Ondulatória. Na revisão de literatura percebemos que as propostas não estavam conectadas com a sequência dos conteúdos trabalhados nos livros didáticos adotados na maioria das escolas, fazendo com que as estratégias sugeridas tivessem que ser realizadas paralelamente aos conteúdos clássicos, tornando-se um desafio em relação ao tempo para ministrar os conteúdos e como consequência, uma maior seletividade de assuntos que poderiam ser trabalhados nesse tempo. A nossa proposta induz a uma adequação do estudo da luz levando em conta os desafios que a introdução de tópicos de Física Moderna proporciona.

CAPÍTULO 3

REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo destina-se a explicitar as teorias que embasaram esta pesquisa. Inicialmente discutiremos os recortes da teoria de Vigotski que, ao nosso ver, possam ter consequências educacionais. Em seguida, abordaremos os pontos principais das práticas em sala de aula baseadas nas etapas da Situação de Estudo (GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012). O objetivo é levar o leitor a perceber que o conteúdo pode ser ensinado e compartilhado por meio das mais variadas estratégias, mas tendo como princípio básico uma pedagogia de inspiração vigotskiana, o método de ensino deve possibilitar o desencadeamento de interações sociais da quais participe o professor ou, eventualmente, outro parceiro mais capaz que domine cognitivamente o conteúdo que é o objeto de ensino dessa interação.

3.1 Nota biográfica sobre Vigotski.

Lev Semyonovitch Vigotski nasceu a 5 de novembro de 1896 em Orsha, cidade localizada na antiga Bielorrússia. Completou o ensino básico aos 17 anos e em 1917 graduou-se em Direito pela Universidade de Moscou e em Literatura e História pela Universidade Popular de Shanyavskii. Pertencia a uma família judaica de classe média. Seu pai era gerente de um banco em Gomel (também na Bielorrússia), onde foi morar com a família (LURIA, 2007).

Após completar os seus estudos, Vigotski voltou a Gomel e a partir de 1919 iniciou uma notável atividade pedagógica, o que levou a participar do II Congresso de Psiconeurologia de Leningrado em 1924. Mudou-se para Moscou, trabalhando primeiro no Instituto de Psicologia, e depois, no Instituto de Estudos das Deficiências, por ele criado. Entre 1925 e 1934, Vigotski reuniu em torno de si um grande grupo de

jovens cientistas, que trabalhavam nas áreas da psicologia e no estudo das anormalidades físicas e mentais. Morreu em 1934, aos 37 anos, vítima de tuberculose (LURIA, 2007).

Apesar do seu falecimento precoce, Vigotski é autor de uma vasta obra que só começou a ser conhecida e divulgada no Ocidente a partir de 1962, quando foi publicada a primeira tradução em inglês da sua última obra, A construção do pensamento e da linguagem (GASPAR, 2014).

3.2 A teoria de Vigotski

O entendimento do processo de ensino e aprendizagem apresentado por Vigotski (2007) e interpretado por Gaspar (2014) se apoia em dois pilares: a aprendizagem como fator determinante do desenvolvimento cognitivo e a relação entre a motivação e o pensamento. Segundo Vigotski (2007), a aprendizagem é necessária para o desenvolvimento das funções psicológicas, culturalmente organizadas e especificamente humanas. Sendo a motivação a origem do pensamento, o estudo da motivação pode ser considerado o ponto de partida de qualquer processo de aprendizagem fundamentado na teoria vigotskiana.

3.2.1 O papel da motivação

Para entender o papel da motivação na aprendizagem é preciso tomar como base o modelo de interiorização da linguagem proposto por Vigotski (2009), fundamentado no seu estudo experimental sobre linguagem egocêntrica. Segundo esse estudo, o pensamento não resulta diretamente da interiorização da linguagem exterior nem é idêntico a ela, mas se realiza por meio de algum processo interior de codificação que se apoia nessa linguagem. Ou seja, não basta repetir várias vezes um conceito para afirmar que houve uma compreensão por parte do aluno. Se assim o fosse, poderíamos levar uma criança a aprender qualquer coisa apenas fazendo-a repetir o processo de ensino. Para Vigotski (2009), o pensamento origina-se da motivação e a interiorização da linguagem, origem do pensamento, só ocorre se houver um motivo

para que a mente se disponha a assumir essa tarefa. Então, se para aprender é preciso pensar, pode-se concluir que para aprender é preciso também desejar – não há aprendizagem à revelia.

Para Vigotski (2004), qualquer situação de aprendizagem com o qual a criança se defronta na escola tem sempre uma história antecipada. Transpondo a teoria para sala de aula, inferimos que o professor deverá inicialmente elencar os conhecimentos prévios que os alunos trazem sobre o conteúdo a ser exposto. Através da aquisição de novos conceitos o educando se vê obrigado a reformular suas concepções prévias, o que significaria construir uma nova estrutura de pensamento por meio de uma reestruturação cerebral, situação essa que nem sempre é simples. Por isso, é importante apresentar aos alunos os motivos pelos quais eles devem reformular suas ideias iniciais, mostrando-os, razões satisfatoriamente fortes e convincentes. Só assim eles movimentarão suas mentes para construir as novas estruturas de pensamento necessárias à aquisição do conteúdo lecionado.

Portanto, a motivação cumpre um papel essencial dentro da teoria de Vigotski. Para ele, “antes de comunicar esse ou aquele sentido, o mestre deve suscitar a respectiva emoção do aluno e preocupar-se com que essa emoção esteja ligada a um novo conhecimento” (VIGOTSKI,2004, p.144) e ainda, “antes de explicar, interessar; antes de obrigar a agir, preparar para a ação; antes de apelar para reações, preparar a atitude; antes de comunicar alguma coisa nova, suscitar a expectativa do novo” (VIGOTSKI,2004, p.163).

3.2.2 A importância dos instrumentos e dos signos

Para Vigotski (2007), a capacitação especificamente humana para a linguagem, habilita as crianças a providenciarem instrumentos secundários na solução de tarefas difíceis, a superar a ação impulsiva, a esquematizar uma solução para um problema antes de sua execução e a dominar seu próprio comportamento. Signos e instrumentos constituem para as crianças, um meio de contato social com outras pessoas. As funções cognitivas e comunicativas da linguagem tornam-se, então, a base de uma forma nova de atividade nas crianças, distinguindo-as dos animais.

Os processos mentais que levam à aprendizagem só poderão ser efetivamente compreendidos se identificarmos quais instrumentos e signos que os mediam. De uma forma direta, Vigotski (2007) não avalia o meio social como apenas uma variante no aspecto cognitivo do indivíduo. Ele vai além ao estabelecer que o desenvolvimento cognitivo é a conversão das relações sociais vivenciadas pelo indivíduo em funções mentais. Ou seja, não é por meio do seu desenvolvimento cognitivo que o aluno se torna capaz de socializar-se com o seu grupo, é justamente por meio da socialização que se dá o desenvolvimento dos processos mentais superiores, como o pensamento, a linguagem e a memória.

Essa conversão entre as relações sociais e funções mentais não ocorre de forma direta, e sim mediada por instrumentos e signos. Um instrumento é algo que pode ser usado para fazer alguma coisa. Já um signo é algo que significa alguma coisa. Ambos são construções sociais e históricas, sendo por meio da assimilação dessas construções e pela interação social que o indivíduo se desenvolve cognitivamente.

Em particular no Ensino de Física, os signos são de grande importância para o professor em suas construções com seus alunos. Os estudantes chegam à aula repletos de signos, nem sempre com significados cientificamente corretos. Por meio da utilização de instrumentos de aprendizagens adequados, o professor conduz uma negociação de conhecimentos para que os significados sejam alterados e assimilados em uma nova estrutura cognitiva dos alunos.

3.2.3 Zona de desenvolvimento proximal

Para organizar as dimensões da aprendizagem escolar, Vigotski (2007) descreve um conceito novo e de extraordinária importância, sem o qual esse assunto não pode ser resolvido: a *zona de desenvolvimento proximal* (ZDP).

Segundo Vigotski (2007) o aprendizado deve ser combinado com pelo menos dois níveis de desenvolvimento da criança. O primeiro nível pode ser chamado *nível de desenvolvimento real*, isto é, o nível de desenvolvimento das funções mentais da criança que se estabeleceram como resultado de certos ciclos de desenvolvimento já completados. O nível de desenvolvimento real define funções que já amadureceram, ou seja, os produtos finais do desenvolvimento. Já em um segundo nível, a *zona de*

desenvolvimento proximal define aquelas funções que ainda não amadureceram, mas que estão presentes em estado embrionário.

A ZDP pode ser conceituada como a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes.

A zona de desenvolvimento proximal fornece aos educadores um instrumento do qual se pode entender o caminho interno do desenvolvimento. Usando esse método podemos dar conta não somente dos períodos e processos de maturação que já foram completados, como também daquelas ações que estão em formação, ou seja, que estão apenas começando a amadurecer e a se desenvolver. Enquanto em outras teorias de estágios de desenvolvimento cognitivo, um professor só deve apresentar conteúdos que já estejam ao alcance das estruturas consolidadas na mente do aluno, o professor que adota como referencial teórico a ZDP deve apresentar conteúdos que estejam imediatamente adiante dessas estruturas. Para Vigotski (2007), o aprendizado orientado para os níveis de desenvolvimento que já foram atingidos é inútil do ponto de vista do desenvolvimento global da criança. Ele não se dirige para um novo estágio de desenvolvimento, mas em vez disso, vai a reboque desse processo. Assim, a noção de desenvolvimento proximal sugere-nos que o bom aprendizado é aquele que se adianta ao desenvolvimento.

Dessa forma, o aspecto mais essencial da teoria de Vigotski é a noção de que os processos de desenvolvimento não coincidem com os processos de aprendizado. Logo, o processo de desenvolvimento progride de forma mais lenta e atrás do processo de aprendizado; desta sequenciação resultam, então, as zonas de desenvolvimento proximal. Desse ponto de vista, aprendizado não é desenvolvimento; o aprendizado adequadamente organizado resulta em desenvolvimento mental e põe em movimento várias ações de desenvolvimento que, de outra forma, seriam impossíveis de acontecer (VIGOTSKI, 2007).

3.2.4 O parceiro mais capaz

Segundo Vigotski (2009), quando um professor deseja definir o nível de desenvolvimento atual de um aluno, ele aplica testes que exigem solução autônoma e só são exemplares em relação às funções já constituídas e maduras. Porém, quando a criança é auxiliada pode fazer mais e resolver tarefas mais difíceis do que quando sozinha. Em colaboração, o estudante se revela mais forte e mais inteligente que trabalhando sozinho. Porém sempre existe uma distância que condiciona a divergência entre a sua inteligência ocupada no trabalho que ele realiza sozinho e sua inteligência no trabalho em colaboração.

Na busca das causas desse fenômeno – de o aluno aprender mais quando em colaboração com um parceiro mais capaz – Vigotski (2009) destaca o papel da imitação. Para defender a sua hipótese, Vigotski (2009) relata as experiências de Wolfgang Köhler (1887-1967) com chipanzés, onde o pesquisador esbarrou no seguinte problema: podem os animais imitar os atos intelectuais de outros animais? As investigações mostraram que a imitação do animal está rigorosamente restrita às suas próprias possibilidades intelectuais. Em outros termos, o macaco pode, por imitação, fazer apenas aquilo que é capaz de fazer sozinho. Na criança, ao contrário, o desenvolvimento decorrente da colaboração via imitação é fator essencial na aprendizagem. Na escola o estudante não aprende o que sabe fazer sozinho, mas o que ainda não sabe e lhe vem a ser acessível em colaboração com o professor e sob sua orientação.

Assim, para que haja aprendizagem é importante que o professor conduza sua prática pedagógica no sentido de poder ser imitado (GASPAR, 2014). Por exemplo, ao resolver um novo problema que esteja ao alcance da provável ZDP da maioria dos seus alunos, ele necessita cuidar para que todos possam seguir a sua resolução passo a passo, interagindo com eles na exposição do enunciado, na condução da solução, na proposta de métodos de análise e de cálculo e até na obtenção e discussão dos resultados. Em seguida, o professor deve sugerir a sua turma outros problemas semelhantes e cuja resolução não exceda a provável ZDP de seus educandos, reduzindo, assim, gradativamente, sua colaboração.

Nesse processo, reiteradamente repetido – e, para isso, as tarefas de casa são sempre bem-vindas – a mente do aluno, desde que satisfatoriamente motivada, tende a arquitetar as novas estruturas de pensamento que, com o tempo, vão torná-lo capaz de resolver problemas similares. Desse modo, o estudante pode conseguir, por meio da imitação, construir e interiorizar uma nova estrutura de pensamento análoga à do professor, tornando-se capaz de fazer o que o educador faz.

Portanto, dentro de uma pedagogia inspirada na teoria de Vigotski, o professor é peça chave do processo de ensino e aprendizagem, fazendo na maior parte do tempo o papel de parceiro mais capaz. É por meio da colaboração com o professor que os alunos começam a aprender. Porém, o domínio do conteúdo só se dá quando eles adquirirem ou construírem uma estrutura mental que possibilite esse domínio, o que demanda tempo e esforço dos próprios alunos. Cabe ao professor estimular e orientar esse esforço por meio de tarefas extraclasse, como lições ou deveres a serem realizados em casa. Para Vigotski, “aquilo que uma criança pode fazer com assistência hoje, ela será capaz de fazer sozinha amanhã” (VIGOTSKI,2007, p.98).

3.3 As etapas da Situação de Estudo

A Situação de Estudo (GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012) é uma metodologia de prática em sala de aula fundamentada na abordagem vigotskiana e sistematizada em três etapas. Apresenta uma sustentação teórica do ponto de vista cognitivo e segue uma dinâmica específica análoga aos Momentos Pedagógicos (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002). Todavia, na Situação de Estudo, não está explícito o processo de obtenções dos temas a serem abordados no contexto escolar, o que difere da abordagem temática em que a investigação se constitui na dinâmica para a obtenção dos temas a serem desenvolvidos.

3.3.1 Problematização

A primeira fase da dinâmica de sala de aula procura apontar o entendimento inicial que os alunos têm sobre uma determinada situação, em que fica posta a necessidade

de novos conhecimentos. É nessa ocasião que os alunos são desafiados a mostrar conhecimentos sobre algum aspecto relacionado ao tema que faça parte da sua experiência.

São apresentadas questões e situações para discussão com os alunos, de forma a lhes causar um “desequilíbrio”. As situações-problema, além de fornecer uma motivação inicial para discussão de um tópico, procuram conectar o conteúdo dos tópicos com as situações reais do cotidiano dos alunos. Essas situações são vivenciadas por eles, que não conseguem explicá-las adequadamente por não possuírem, provavelmente, os conhecimentos científicos trabalhados nas disciplinas dessa área.

Nessa etapa, problematiza-se o conceito instintivo do estudante mediante a introdução do conceito científico, para se abordar um problema que está ligado a uma situação real do contexto do aluno. Isso não significa que o questionamento realizado na Problematização tenha como referência os conceitos científicos, pois é preciso proporcionar uma interação dialógica que será possível se os estudantes se sentirem desafiados por meio das questões relacionadas às situações que lhe são familiares.

Na Situação de Estudo, a Problematização tem a função de significar as linguagens que vão se tornar uma discussão conceitual. Isto é, seu objetivo é trazer um problema que está presente na vivência dos estudantes, em que a sua solução necessita de novas palavras representativas de conceitos, sendo esse o primeiro passo da significação conceitual (GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012).

3.3.2 Primeira Elaboração

A segunda fase na Situação de Estudo é denominada Primeira Elaboração. Ela tem como função direcionar o estudante para atividades que envolvam um aprofundamento sobre as situações apresentadas na primeira etapa – Problematização. É por meio dessas atividades que os alunos vão ter o primeiro contato com conhecimentos científicos para além da palavra representativa de um determinado conceito.

As situações apresentadas serão aquelas em que estão sendo usadas não apenas palavras representativas de um determinado conceito, mas também lhe são reunidos outros sentidos. A partir dessas situações, o contexto inicial e novos contextos podem ser analisados e compreendidos em um nível mais elevado e com tomada de consciência. Em ressonância com Vigotski (2009), que defende que através da aquisição de novos conceitos o educando se vê obrigado a reformular suas concepções prévias, o que significaria construir uma nova estrutura de pensamento por meio de uma reestruturação cerebral, a Primeira Elaboração permite a tomada de consciência de situações do cotidiano.

3.3.3 Função de elaboração e compreensão conceitual

A última fase do processo, a Função de elaboração e compreensão conceitual, destina-se a abordar de forma sistemática os conhecimentos adquiridos pelos alunos. Pode-se aqui apresentar situações-problema não relacionadas diretamente com àquelas apresentadas na Problematização, mas que são explicadas com o mesmo conjunto de conhecimentos cuja discussão foi motivada pela situação inicial.

É nessa terceira etapa da Situação de Estudo que se busca a generalização do conceito, porque seu propósito maior é a significação conceitual. Através da retomada das questões iniciais apresentadas na Problematização busca-se a compreensão conceitual dos fenômenos abordados. A partir daí o estudante terá condições de compreender outras situações análogas àquelas que lhe foram apresentadas ao longo do desenvolvimento da Situação de Estudo.

Diante do exposto, acreditamos que, tendo como princípio básico uma pedagogia de inspiração vigotskiana, os métodos de ensino propostos nas etapas da Situação de Estudo possibilitam o desencadeamento de interações sociais e a significação de conceitos, permitindo ao aluno à reformulação das suas concepções prévias e ao professor conduzir uma negociação de conhecimentos para que os significados sejam alterados e assimilados em uma nova estrutura cognitiva dos educandos.

CAPÍTULO 4

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada na intervenção realizada em sala de aula priorizou as práticas pedagógicas baseadas nos preceitos da teoria de Vigotski (2004, 2007, 2009), apoiando-se na promoção de interações sociais nas quais o professor, como parceiro mais capaz, teve como função primaz a orientação da conduta dos seus educandos, respeitando os limites cognitivos, motivando-os a querer aprender e deixando-se imitar para que eles começassem a aprender. Para isso, adotamos como prática pedagógica as etapas da Situação de Estudo (GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012). A seguir, descreveremos como os métodos foram aplicados nas diversas etapas da investigação.

4.1 Etapas da Situação de Estudo e a formulação da Sequência Didática

Iniciamos a pesquisa com um questionário diagnóstico inicial (APÊNDICE A) com o objetivo de conhecer as concepções prévias dos alunos sobre os conceitos de matéria, colisões de partículas e a interação das ondas e a matéria. Para Vigotski (2004), qualquer situação de aprendizagem com a qual o estudante se defronta na escola tem sempre uma história antecipada. É papel do professor elencar os conhecimentos prévios que os alunos trazem sobre o conteúdo a ser exposto e, através da aquisição de novos conceitos, levar o educando a reformular suas concepções prévias.

A análise das respostas ao questionário serviram como base para a elaboração de uma Sequência Didática (SD) (GUIMARÃES; GIORDAN, 2011) sobre o estudo da Natureza da Luz, através do ensino do Efeito Fotoelétrico, voltada aos alunos da 2ª

série do Ensino Médio. Na SD, apresentamos ênfase em elementos relacionados à História da Ciência, utilizamos uma simulação computacional e um experimento de baixo custo.

A SD foi dividida em 9 aulas de 50 minutos cada e apresentada através de projeção de *slides.* As apresentações foram elaboradas com base nas etapas da Situação de Estudo, como mostra a Figura 4.1.

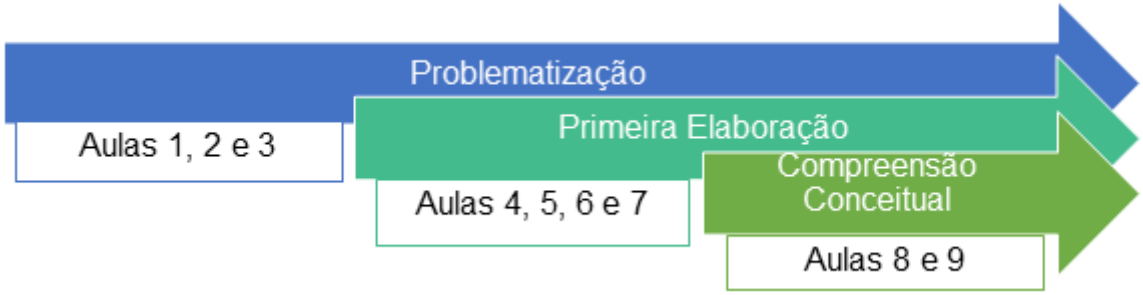


Figura 4.1: Etapas da Situação de Estudo e estruturação da Sequência Didática.

A seguir, descreveremos a sequência de aulas bem como os procedimentos adotados em cada momento.

4.1.1 Aula 1 da SD

Iniciamos a primeira aula com uma questão: Como funciona o controle remoto? A pergunta buscava explicitar o primeiro entendimento que o aluno possuía sobre o funcionamento dessa tecnologia e a partir daí, criar a necessidade de estudos para compreender a demanda colocada. Ainda nesse contexto, um controle remoto de televisão foi utilizado para que o aluno manipulasse e apontasse o aparelho em funcionamento para a câmera de seu celular, observando o que ocorreria. Na Situação de Estudo, essa etapa é denominada **Problematização** e tem a função de trazer um problema que está presente na vivência dos estudantes, em que a sua solução necessita de novas palavras representativas de conceitos, sendo esse o primeiro passo da significação conceitual. Ao abordar, em sala de aula, situações já experimentadas pelos alunos, há a possibilidade de os mesmos interagirem com o objeto de estudo e com o professor, o que favorece a aprendizagem.

Foi utilizado um texto de apoio que descrevia o funcionamento do controle remoto (disponível em: http://mundoestranho.abril.com.br/materia/como-funciona-o-controle-remoto). Para maior interação, um aluno leu o texto em voz alta. Em seguida, houve um diálogo entre o professor e os alunos baseado em duas perguntas:

a) Após receber o sinal e identificar o código enviado, como o microprocessador executa a ação proposta pelo controle?

b) Se uma onda não arrasta partículas, como produzir uma corrente elétrica através da radiação infravermelha?

As respostas levaram ao entendimento que haveria a necessidade da introdução de novos conhecimentos específicos.

Na segunda parte da aula o professor realizou um breve histórico tendo como base os cientistas que discutiram a Natureza da Luz. Foi enfatizada a evolução conceitual sobre a Natureza da Luz ao longo dos séculos com o objetivo de levar o estudante a apropriar-se do conhecimento historicamente produzido. A significação conceitual é uma construção social e histórica, sendo por meio da assimilação dessa construção e pela interação social que o indivíduo se desenvolve cognitivamente (VIGOTSKI, 2007).

Ao final da aula, foi proposta uma atividade para casa onde, diante do que foi exposto sobre a evolução histórica do conceito de luz, o aluno deveria opinar sobre quem ele acreditava estar correto em suas hipóteses: Newton ou Huygens? Essa atividade teve como função direcionar o estudante para questões que envolviam um aprofundamento sobre as situações apresentadas na primeira etapa – Problematização.

4.1.2 Aulas 2 e 3 da SD

No início da segunda aula a pergunta que foi proposta para casa foi retomada e realizado um pequeno debate, proporcionando a dialogicidade e o levantamento do conhecimento dos alunos. A seguir, deu-se início a uma exposição sobre as teorias da Natureza da Luz, ondulatória e corpuscular. Após a apresentação, foi perguntado novamente aos estudantes se a luz é onda ou partícula. Em seguida houve breve discussão e o professor propôs uma atividade computacional utilizando uma

simulação do PhET, sigla em inglês para Tecnologia Educacional em Física. O PhET é um projeto da Universidade do Colorado (EUA) concebido para desenvolver simulações de alta qualidade em diversas áreas da ciência. Como a escola onde foi realizada a intervenção possui material didático digital, o uso de computadores em sala faz parte do cotidiano dos alunos.

Antes de iniciar a atividade, o professor explicou o funcionamento do simulador, deixando claro que a simulação computacional difere de um experimento real, principalmente na análise de erros, mas é um poderoso instrumento para a investigação de um fenômeno. No fim da aula, os grupos foram organizados para o trabalho.

Como eram aulas geminadas, a terceira aula iniciou-se logo após a segunda, com os grupos de quatro alunos distribuídos na sala e com os computadores ligados e conectados à internet. Vale destacar que o formato das mesas dos alunos facilita o trabalho cooperativo já que elas se encaixam, facilitando a proximidade dos componentes do grupo (Figura 4.2).

Figura 4.2: Alunos realizando atividade em grupo utilizando mesas cujo formato facilita a organização e proximidade dos componentes.

O roteiro para a realização da tarefa (APÊNDICE B) foi distribuído para cada aluno e os objetivos, o material utilizado e a metodologia foram lidos em voz alta e, após sanadas as dúvidas preliminares, os estudantes deram início à simulação (Figura 4.3). O roteiro foi composto de 10 perguntas que se remetiam às ações propostas, fazendo com que o grupo analisasse o que ocorria quando parâmetros como intensidade

luminosa, comprimento e frequência da onda eram alterados através do simulador. Após essas perguntas os alunos responderam a seis questões cujo objetivo era verificar como o grupo explicava os fenômenos observados na simulação. Ao final da aula o roteiro foi recolhido para posterior análise de dados.

Figura 4.3: Estudantes realizando a simulação computacional

4.1.3 Aulas 4 e 5 da SD

As aulas 4 e 5 compõe a segunda etapa na Situação de Estudo, denominada de **Primeira Elaboração**. É nesse momento que se constrói um estudo sistemático dos conhecimentos envolvidos na etapa da Problematização. Essa compreensão está em sintonia com base vigotskiana, no sentido de que o conhecimento não é construído espontaneamente, mas em processos intersubjetivos relacionados ao enfrentamento de problemas comuns, o que remete para a necessidade do professor introduzir conhecimentos específicos.

O professor iniciou a aula retomando os conceitos científicos estudados e acrescentando outros através de um vídeo, cujo endereço é https://youtu.be/-ceQ42fF9o8. No contexto do documentário, foi explicada a Teoria dos Quanta de Max Planck e como Albert Einstein a utilizou para entender o Efeito Fotoelétrico. Logo em seguida foi apresentada a equação do Efeito Fotoelétrico e como ela poderia explicar o comportamento corpuscular da luz. A problematização inicial foi retomada

esclarecendo-se o funcionamento do controle remoto através do Efeito Fotoelétrico e acrescentando outras aplicações do fenômeno, tais como a abertura automática de portas e o funcionamento dos LEDs. Nessa etapa da Situação de Estudo, ao situar o conceito no contexto da vivência do aluno, o professor permitiu a possibilidade de uma nova significação afim de uma apropriação do produto do conhecimento científico pelo estudante.

Para terminar a aula o professor resolveu três exercícios de aplicação e entregou uma lista de exercícios para ser resolvida em casa. Segundo Gaspar (2014), em uma visão pedagógica vigotiskiana, para que haja aprendizagem é importante que o professor dirija sua prática no sentido de ser imitado. Para isso, ao resolver um problema de Física que esteja ao alcance da provável zona de desenvolvimento proximal (ZDP) da maior parte dos seus alunos, ele deve atentar para que todos possam seguir a sua resolução passo a passo, interagindo com eles na exposição do enunciado, na condução da solução, na implicação de procedimentos de análises e de cálculo e até na obtenção e discussão dos resultados. Em seguida, o professor deve indicar a sua turma outros problemas parecidos e cuja resolução não ultrapasse a provável ZDP de seus estudantes, reduzindo, assim, gradualmente, sua colaboração.

4.1.4 Aulas 6 e 7 da SD

As aulas 6 e 7 foram destinadas à correção dos exercícios propostos para casa. A lista foi composta de doze problemas que se destinaram a abordar de forma sistemática os conhecimentos discutidos em sala de aula. Procuramos apresentar situações-problema não necessariamente relacionadas com a situação original que desencadeou a discussão da Natureza da Luz, mas que poderiam ser explicadas pelo mesmo conjunto de conhecimentos cuja discussão foi motivada pela situação inicial.

Tanto os exercícios resolvidos como exemplo em sala, como aqueles que foram indicados como tarefa de casa tiveram como objetivo fazer com que o aluno, ao compreender a resolução do problema, pudesse construir novas estruturas de pensamento para que, com o tempo, se tornassem efetivamente capazes de resolver problemas do tipo proposto.

4.1.5 Aulas 8 e 9 da SD

As aulas 8 e 9 compõem a última etapa da Situação de Estudo, denominada **Função de elaboração e compreensão conceitual**. Nesse momento há uma retomada das questões iniciais com intuito de se obter uma significação conceitual das mesmas. A partir daí o estudante terá condições de compreender outras situações análogas àquelas que lhe foram apresentadas ao longo do desenvolvimento da Situação de Estudo.

É nessa etapa que se objetiva a generalização dos conceitos propostos ao longo de toda a Sequência Didática. De acordo com Vigotski (2009):

> Quando uma palavra nova, ligada a um determinado significado, é aprendida pela criança, o seu desenvolvimento está apenas começando; no início ela é uma generalização do tipo mais elementar que, à medida que a criança se desenvolve, é substituída por generalizações de um tipo cada vez mais elevado, culminando o processo na formação de verdadeiros conceitos. (VIGOTSKI, 2009, p.246)

O professor finalizou a introdução ao estudo da Natureza da Luz explicando como funciona o LED e organizando a realização de um experimento que relaciona o LED com o efeito fotoelétrico. Para isso os alunos foram dispostos em grupos da mesma forma que aconteceu na simulação computacional. Foi distribuído um roteiro experimental semiestruturado (APÊNDICE C) para cada aluno, cujo objetivo foi utilizar LEDs para discutir o Efeito Fotoelétrico. Os alunos deveriam calcular a energia emitida por um fóton de luz de um LED, através da medida do potencial de corte, e determinar a frequência do fóton emitido. Para confecção de cada kit experimental (Figura 4.4) foram utilizados materiais de baixo custo (Figura 4.5).

Figura 4.4: Kit experimental desenvolvido para o estudo do Efeito Fotoelétrico.

Figura 4.5: Materiais utilizados na confecção do kit experimental.

Durante a execução desse experimento, os alunos foram girando o potenciômetro e realizando as medidas das tensões elétricas através de um voltímetro (Figura 4.6). Após a observação dos fenômenos e discussão entre os participantes do grupo, os alunos foram respondendo o que era pedido no roteiro (Figura 4.7) e por fim,

realizaram uma pesquisa na internet para a comparação entre os valores calculados para as frequências dos LEDs e os valores tabelados. Ao final do roteiro o estudante deveria explicar o funcionamento do LED utilizando os procedimentos do experimento. Por fim, o roteiro foi recolhido para posterior análise de dados.

Figura 4.6: Alunos realizando medidas com o voltímetro.

Figura 4.7: Estudantes respondendo as questões propostas no roteiro semiestruturado.

4.2. Os instrumentos de Coleta de Dados

Para a coleta de dados foram utilizados os seguintes instrumentos: questionário diagnóstico inicial, relatório da simulação computacional, relatório do experimento de baixo custo, registros em áudio e vídeo das aulas e uma avaliação tradicional ao término da intervenção. Os instrumentos que exigiam a leitura e o preenchimento por parte dos sujeitos desta intervenção foram elaborados pelo professor e previamente validados por pares e por alunos voluntários em equidade com os sujeitos desta pesquisa.

4.2.1 Questionário diagnóstico inicial

O questionário diagnóstico inicial (APÊNDICE A) foi aplicado um mês antes do início da SD. O objetivo era conhecer as concepções prévias dos alunos e assim determinar os ajustes necessários no planejamento da intervenção, direcionando a abordagem do conteúdo para atender as necessidades específicas dos sujeitos. Foi composto de 14 questões, sendo 13 questões discursivas e apenas uma de múltipla escolha.

As perguntas 1, 2, 3 e 4 apresentaram como objetivo elencar as concepções prévias dos alunos sobre o conceito de matéria e colisões de partículas. Os alunos estudaram esses assuntos no ano anterior, no conteúdo de Mecânica. Utilizamos as respostas como base para a construção de uma SD que aprofundou os conceitos científicos desses temas.

As perguntas 5, 6, 7, 8 e 9 buscaram descobrir o que o aluno já sabia sobre ondas, suas principais características e a sua interação com a matéria. Na ocasião do preenchimento do questionário os alunos estavam estudando sobre o assunto e já haviam realizado uma prova.

Por fim, as perguntas 10, 11, 12, 13 e 14 procuraram desvendar o que os alunos sabiam sobre a luz após o estudo introdutório de Ondulatória. Possivelmente ficaria evidenciado que o aluno entenderia a luz como onda, não como partícula.

4.2.2 Simulação computacional

A simulação computacional (Figura 4.8) utilizada na intervenção (disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric) teve como objetivos levar os alunos à compreensão de fenômenos decorrentes da interação entre a radiação eletromagnética e a matéria e à percepção da necessidade de utilizarem a Teoria Corpuscular da Luz para explicar os fenômenos observados através da simulação. Dentro da pesquisa, as finalidades foram investigar a potencialidade da ferramenta de proporcionar uma interação dialógica entre os alunos e observar a motivação dos estudantes em compreender os fenômenos relacionados à simulação. O experimento virtual consistia em atingir uma placa metálica com um feixe de luz, sendo que o metal da placa poderia ser substituído e as características da luz, intensidade e comprimento de onda, poderiam ser manipuladas.

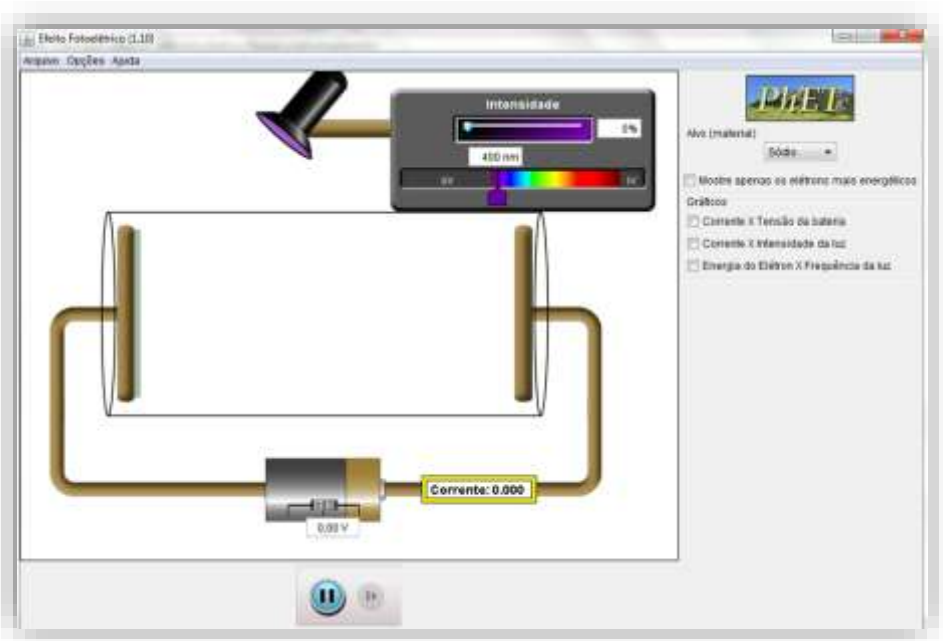


Figura 4.8: Imagem do simulador utilizado durante a intervenção.

Inicialmente foi dada uma breve explicação sobre o funcionamento do simulador e logo após os alunos foram divididos em grupos de quatro componentes que receberam um roteiro semiestruturado (APÊNDICE B). O roteiro foi composto de dez perguntas e seis questões. Iniciou-se a simulação com a intensidade da luz em 0%, o comprimento de onda em 400nm (faixa do violeta) e a superfície metálica de sódio. Ajustou-se a corrente elétrica e a tensão para zero (Figura 4.9).

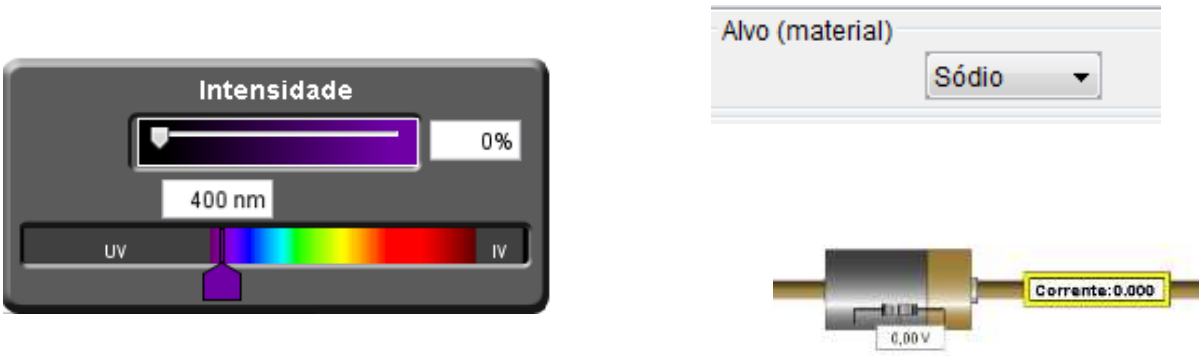


Figura 4.9: Configuração inicial da simulação

Utilizando-se dos próprios computadores (Figura 4.10), os estudantes foram manipulando o simulador para alterar as características da luz emitida, conforme as perguntas iam sendo respondidas. Cada indagação do roteiro foi procedida de um pequeno debate entre os participantes do grupo com objetivo de obterem a resposta ao que foi pedido. Essa técnica levou a uma maior participação e integração dos alunos. Por fim, os estudantes responderam às seis questões solicitadas. Após responderem o questionário, os alunos entregaram os roteiros individuais para posterior avaliação do professor.

Figura 4.10: Alunos utilizando o computador para a realização da simulação computacional**.**

4.2.3 Experimento de baixo custo

A realização de uma experiência em grupo foi proposta como última atividade antes da avaliação tradicional. Para isso a turma foi dividida em grupos de quatro alunos (Figura 4.11) e cada estudante recebeu um roteiro semiestruturado (APÊNDICE C). O roteiro foi composto de sete perguntas e uma questão final onde buscamos investigar a apropriação dos conceitos estudados ao longo da Sequência Didática. O experimento também serviu para observar a interação entre os pares a fim de perceber como se daria a cooperação mútua. Os objetivos de ensino foram calcular a energia emitida por um fóton de um LED através da medida do potencial de corte e determinar o comprimento de onda do fóton emitido. O circuito elétrico foi montado em uma saboneteira transparente com a finalidade de se utilizar um material barato, eficiente e que pudesse mostrar os componentes utilizados e as suas ligações. Foram utilizadas duas pilhas de 1,5 V associadas em série, um potenciômetro de 1,0 KΩ e dois LEDs de alto brilho, um verde e outro azul (Figura 4.12). Um multímetro foi usado para realizar as medidas propostas.

Figura 4.11: Grupo realizando a atividade proposta.

Figura 4.12: Kit experimental entregue aos grupos.

4.2.4 Avalição tradicional

A avaliação individual (APÊNDICE D), com nove questões abordando os conceitos estudados durante a intervenção, foi aplicada no último encontro da intervenção com o objetivo de aferir os resultados obtidos com a aplicação da Sequência Didática em termos de processos de ensino e aprendizagem. O teste foi aplicado em uma aula de 50 minutos.

As questões 1, 2, 3 e 4 foram retiradas do Questionário Inicial com a finalidade de comparar as respostas após a aplicação da Sequência Didática. A questão 5 perguntava sobre o conceito do Efeito Fotoelétrico e a 6 abordava as aplicações cotidianas desse fenômeno. As três ultimas questões consistiam em problemas numéricos cujo propósito era de que o aluno utilizasse as equações ensinadas para determinar a energia e a frequência de fótons emitidos em situações distintas.

4.2.5 A gravação das aulas

Para garantirmos o registro de todas as informações relevantes à pesquisa, todas as aulas da SD foram gravadas em áudio e vídeo. Pedimos aos alunos que gravassem em áudio os trabalhos em grupos realizados na simulação computacional e no experimento de baixo custo. Esses registros foram entregues ao professor para análise da interação entre os pares com a finalidade de avaliarmos a motivação na realização das tarefas assim como a cooperação entre os colegas.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DE DADOS

Neste capítulo apresentamos os dados coletados por meio dos instrumentos descritos na seção 4.2 e as análises de seus resultados. Na seção 5.1 mostramos os dados provenientes do **questionário diagnóstico inicial**. Em seguida, na seção 5.2, expomos os resultados da análise dos **relatórios da simulação computacional** assim como a descrição das observações dos registros em **áudio e vídeo** realizados durante a intervenção em sala. Na seção 5.3 analisamos os dados obtidos através dos **relatórios da atividade experimental** e também dos apontamentos em **áudio e vídeo** produzidos durante a aula. Por fim, na seção 5.4 apresentamos a análise do desempenho dos estudantes na **avaliação tradicional** aplicada ao final da intervenção.

5.1 Análise do questionário diagnóstico inicial

O questionário diagnóstico inicial (APÊNDICE A) foi aplicado, um mês antes do início da intervenção didática, para os 31 sujeitos desta pesquisa.

A primeira parte do questionário teve como objetivo elencar os conhecimentos dos alunos sobre o conceito de matéria e colisões de partículas. Esses conceitos, fundamentais para a compreensão da Natureza da Luz, foram abordados na 1ª Série do Ensino Médio.

A primeira pergunta solicitava que os estudantes conceituassem “matéria”. Cerca de 93% dos alunos relacionaram o conceito a tudo aquilo que possui massa, átomos, partículas ou ocupa espaço. É relevante destacar que 45% responderam que “matéria

é tudo que tem massa e ocupa lugar no espaço” evidenciando um conhecimento prévio que remonta as aulas de Ciências do Ensino Fundamental.

A segunda pergunta demandava a definição de “partícula”. Aproximadamente 42% associaram o conceito de “partícula” à corpos de dimensões reduzidas, 10% fizeram uma associação com massa reduzida, 13% definiram como uma fração da matéria sem especificar ordem de grandeza e 35% deram definições incorretas do ponto de vista científico.

As respostas às duas perguntas evidenciaram para o pesquisador a necessidade de retomar o ensino desses conceitos na Sequência Didática. Segundo Vigotski (2004), é papel do professor elencar os conhecimentos prévios que os alunos trazem sobre o conteúdo a ser exposto e, através da aquisição de novos conceitos, levar o educando a reformular suas concepções prévias.

A terceira questão, indicada na Figura 5.1, e a quarta, indicada na Figura 5.2, apresentaram ao estudante situações-problema que envolviam colisões de partículas.

(Epcar (Afa) 2012 – Modificada) De acordo com a figura abaixo, a partícula A, ao ser abandonada de uma altura H, desce a rampa sem atritos ou resistência do ar até sofrer uma colisão, perfeitamente elástica, com a partícula B que possui o dobro da massa de A e que se encontra inicialmente em repouso. O que poderá ocorrer com as partículas após a colisão?

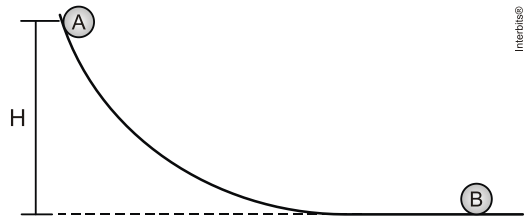
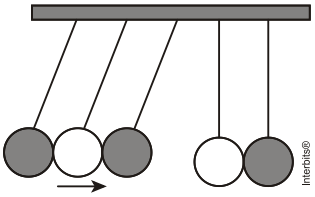


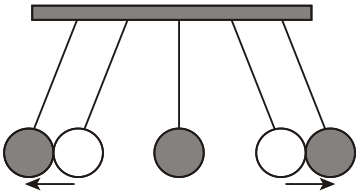
Figura 5.1: Terceira questão do Questionário Diagnóstico Inicial

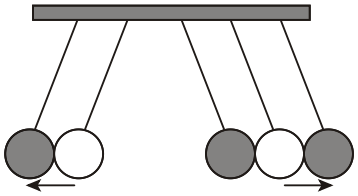
Na terceira questão, 35% dos alunos responderam que, após a colisão das duas partículas, o movimento se daria de acordo com a massa, sendo que a partícula de massa menor adquiria uma maior velocidade. Mesmo desprezando os atritos, 42% afirmaram que pelo menos uma das partículas pararia após a colisão e 23% não conseguiram prever o que ocorreria após a colisão .

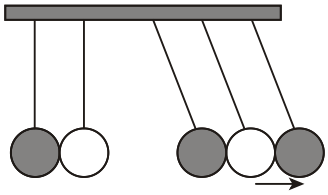
(Enem 2014) O pêndulo de Newton pode ser constituído por cinco pêndulos idênticos suspensos em um mesmo suporte. Em um dado instante, as esferas de três pêndulos são deslocadas para a esquerda e liberadas, deslocando-se para a direita e colidindo elasticamente com as outras duas esferas, que inicialmente estavam paradas.

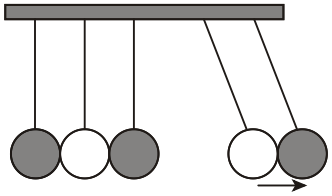


O movimento dos pêndulos após a primeira colisão está representado em:

a)


b)


c)


d)


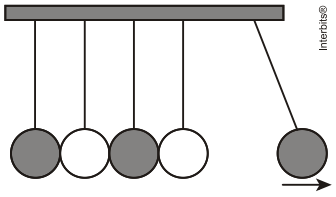
e)


Figura 5.2: Quarta questão do Questionário Diagnóstico Inicial

A quarta questão, indicada na Figura 5.2, utilizou o experimento denominado “Pêndulo de Newton” para criar uma situação-problema que investigava o movimento das esferas após o choque, sendo que 49% dos estudantes marcaram corretamente a alternativa **d)**. Daqueles que erraram, 51% marcaram a alternativa **e)** onde toda a energia era transferida para apenas uma esfera após a colisão.

Esses resultados demontraram que a maioria dos estudantes ainda tinham dúvidas sobre temas como conservação da quantidade de movimento e da energia.

A segunda parte do questionário levantou o entendimento do aluno sobre ondas, suas principais características e a sua interação com a matéria. No momento da aplicação desse questionário, esse assunto estava sendo ensinado e os alunos já haviam realizado uma avaliação acerca dessa temática.

Quando questionados sobre o conceito de “onda”, 65% dos estudantes responderam corretamente, 23% exemplificaram, mas não conceituaram e apenas 12% responderam de forma errada. Quando perguntado se uma onda poderia arrastar uma partícula, 68% responderam que não, argumentando que uma onda só carregaria energia e movimento, 20% responderam que sim e 12% deram respostas diversas, mas não aceitas do ponto de vista científico. A resposta da maioria reflete o que foi estudado em sala de aula, demonstrando que o conceito de onda estava claro para grande parte dos estudantes.

Para a sétima questão, que questionava ao estudante quais eram as diferenças entre ondas mecânicas e eletromagnéticas, 94% dos alunos conseguiram identificar as diferenças através do seu modo de vibração e do meio de propagação. Com relação as principais grandezas de uma onda e o que diferenciava uma onda eletromagnética de outra, 94% dos alunos obtiveram êxito ao listarem corretamente as grandezas ondulatórias e 65% souberam dizer que a diferenciação de uma onda eletromagnética de outra se dava pela sua frequência. Esses resultados apontam que a maioria dos alunos conseguiu reconhecer uma onda eletromagnética e destacar as diferenças dela para outro tipo de onda.

As últimas perguntas buscaram investigar o que os alunos sabiam sobre a Luz após o estudo introdutório de Ondulatória. Na décima questão, que procurou saber a definição de Luz apresentada pelos estudantes, 65% associaram Luz a uma onda

eletromagnética, 25% associaram-na a outras características válidas, tal como ser uma onda transversal, e 10% deram resposta não aceitas cientificamente.

A décima primeira questão perguntava qual luz possuía maior frequência, a de cor vermelha ou a azul e, na décima segunda pergunta, era questionado qual dessas cores possuía maior energia. Apenas 32% dos estudantes responderam corretamente as duas perguntas.

Na décima terceira questão, que indagava qual a razão para que a luz ultravioleta produzisse queimaduras na pele, 39% dos alunos responderam associando a radiação à sua frequência, 12% à sua energia, 16% relacionaram com o comprimento de onda, 13% com a intensidade e 20% deram respostas não aceitas cientificamente.

Esses números levaram à conclusão que a maioria dos estudantes associavam à Luz a uma forma de onda, mas não conseguiam estabelecer a relação entre sua frequência e sua energia.

Por fim, quando questionados sobre a possibilidade de uma onda eletromagnética arrancar elétrons de uma superfície metálica, 62% dos alunos responderam que era possível, mas justificaram de maneira incorreta, 23% responderam que não, pois o elétron sendo partícula não seria arrastado por uma onda e 15% não souberam responder.

A conclusão que obtivemos foi que os alunos não sabiam que a Luz poderia agir como partícula, arrancando elétrons de uma superfície metálica.

Através desse questionário conhecemos as concepções dos estudantes a respeito da Natureza da Luz e obtivemos informações relevantes para a nossa pesquisa, pois percebemos que os alunos entendiam a Luz como uma onda eletromagnética, mas desconheciam a sua ação como partícula. Além disso, a maioria dos estudantes não associava a frequência de vibração de uma onda eletromagnética à energia que ela transporta.

A partir dos conceitos apresentados pelos estudantes sobre matéria, partícula, ondas e Luz, elaboramos uma Sequência Didática buscando a ruptura dessas estruturas de conhecimento afim de introduzir os conceitos científicos. Para Delizoicov (1991), o fato de ocorrer uma ruptura entre o conhecimento prévio do aluno e os paradigmas científicos não significa renúncia, mas sim a possibilidade de habituar-se com diferentes explicações para os fenômenos que constituem a vivência do estudante.

Essa argumentação está muito associada ao **conceito verdadeiro**, resultado do movimento entre o conhecimento científico e o cotidiano (VIGOTSKI, 2009), que caracteriza a **Função de elaboração e compreensão conceitual** na Situação de Estudo (GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012). Tal analogia é possível, porque em ambas, o foco é a obtenção dos conhecimentos construídos, por parte dos estudantes.

5.2 Análise da simulação computacional

A simulação computacional utilizada na intervenção (disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric) teve como objetivos investigar a potencialidade da ferramenta em proporcionar uma interação dialógica entre os alunos e observar a motivação dos estudantes em compreender os fenômenos relacionados à simulação. O experimento virtual consistia em atingir uma placa metálica com um feixe de luz, sendo que o metal da placa poderia ser substituído e as características da luz, intensidade e comprimento de onda, poderiam ser manipuladas.

Os alunos foram divididos em 8 grupos. A Tabela 5.1 apresenta a disposição dos alunos nos grupos.

Tabela 5.1: Divisão dos alunos nos grupos que realizaram a simulação computacional.

GRUPO	ALUNOS
1	A2, A21, A22, A24
2	A3, A4, A11, A23
3	A6, A9, A15, A16
4	A10, A13, A25, A26
5	A8, A17, A18, A19
6	A5, A28, A30, A31
7	A1, A14, A27
8	A7, A12, A20, A29

Após a organização dos grupos na sala de aula, a atividade foi iniciada com a entrega do roteiro individual (APÊNDICE B). Nesse momento o professor forneceu as primeiras orientações para o trabalho:

Professor: "*Senhoras e senhores, vocês têm o roteiro em mãos. Faz parte da atividade a leitura e interpretação do mesmo. Eu posso orientá-los, mas não posso responder as perguntas. Leiam o roteiro."*

As orientações do professor para o desenvolvimento do trabalho são de extrema importância no processo pois, dentro de uma pedagogia inspirada na teoria de Vigotski, o professor é peça chave do processo de ensino e aprendizagem, fazendo na maior parte do tempo o papel de parceiro mais capaz. É por meio da colaboração com o professor que os alunos começam a aprender os conceitos científicos. Para Vigotski, "aquilo que uma criança pode fazer com assistência hoje, ela será capaz de fazer sozinha amanhã" (VIGOTSKI,2007, p.98).

A primeira proposição da atividade era aumentar progressivamente a intensidade da luz e analisar o que acontecia quando a luz atingia a placa metálica. O grupo 1 chama o professor e pede orientações:

Aluno A2: *"Professor, aonde aumenta a intensidade?"*

Professor: *"Veja no computador."*

Aluno A24: *"É aqui ó."* (Apontando para o computador).

Professor: *"Aí é o comprimento de onda."*

Aluno A24: *"É mesmo, 645 nm."*

Aluno A1: *"É onde está escrito, olhem..."* (Apontando para o lugar correto).

Professor: *"Isso mesmo... Agora variem o cursor..."*

Aluno A2: *"É isso! E o que acontece se a gente diminuir?"*

Professor: *"Calma... Façam o que se pede no roteiro, senão vocês vão se embolar..."*

A partir daí o grupo iniciou a leitura das orientações do roteiro. O professor passou pelos outros grupos certificando que todos já haviam iniciado a simulação.

Para responder as perguntas, alguns integrantes dos grupos leram em voz alta o que se pedia, enquanto outros manipulavam o equipamento, evidenciando uma divisão de

tarefas, onde ficou estabelecido o papel de cada membro no desenvolvimento da atividade.

Observamos que para cada questionamento havia uma breve discussão entre os alunos na tentativa de um consenso. Algumas vezes, principalmente quando não existia uma segurança nas respostas, o aluno chamava o professor, na tentativa de obter a solução. Evidenciamos essa observação na transcrição do diálogo do professor com os alunos do Grupo 8:

Aluno A12: *"O que acontece quando a luz atinge a placa metálica?"*

Aluno A7: *"Há uma troca de energia"*

Aluno A12: *"Não sei se é isso não... Professor, faça o favor..."*

Professor: *"Sim?"*

Aluno A12: *"Acontece que os elétrons ganham energia e saltam para os subníveis mais energéticos quando eu vou aumentando a intensidade da luz, o que dá a ela essa característica de partícula... É isso?"*

Professor: *"Você está me perguntando?"*

Aluno A12: *"Não... só estou querendo saber se é isso que é a resposta."*

Professor: *"Mas não sou eu que tenho que responder, é o que o grupo acha..."*

Aluno A12: *"Então?"*

Professor: *"Vamos ler juntos a pergunta: O que acontece quando a luz atinge a placa? Façam a observação..."*

Aluno A29: *"Os elétrons saltam..."*

Professor: *"É isso que o grupo observa?* (Todos balançam a cabeça afirmativamente.) *Então escrevam isso."*

Aluno A12: *"Ok, então."*

Evidenciou-se que o papel do professor naquele momento não era o de fornecer as respostas e sim o de indicar claramente o que as perguntas propunham, possibilitando que todos os parceiros discutissem as mesmas ideias e tentassem responder as mesmas perguntas, uma das condições essenciais para que a interação social se desenvolvesse adequadamente.

Após entenderem que deveriam seguir passo a passo o roteiro, as discussões entre os pares ficaram mais evidentes. Outra análise importante foi a do interesse dos alunos em realizar a simulação computacional.

Grupo 3:

Aluno A15: *"Coloque a intensidade em 5%..."*

Aluno A6: *"Vamos ver o que acontece... Uau, que legal! "* (Ao perceber que saem partículas da placa metálica). *"Vamos ver em 10%..."*

Aluno A16: *"Isso são partículas?"*

Aluno A15: *"Vai aumentar a velocidade, quer ver?"*

Aluno A6: *"Eu acho que vai aumentar a quantidade."*

Aluno A9: *"Eu acho que nada aconteceu..."*

Aluno A6: *"Aconteceu sim, olha: aumentou a intensidade e a velocidade... espera aí... só aumentou a quantidade..."*

Aluno A15: *"A velocidade é sempre a mesma..."*

Aluno A6: *"Vamos ver em 50 agora. "* (50%)

Aluno A9: *"Então, o que acontece: quanto maior a intensidade, maior a amplitude, mais eletricidade, mais elétrons são emitidos..."*

Aluno A15: *"Parabéns! Está sabendo a matéria..."* (Todos riem)

Aluno A16: *"Então vamos responder à pergunta: O que ocorre de diferente durante o aumento da intensidade luminosa?"*

Aluno A15: *"Aumenta a quantidade de elétrons emitidos pela placa."*

Grupo 5:

Aluno A8: *"Mas o que acontece? Ela reflete na placa e a partícula volta?"*

Aluno A17: *"Isso é reflexão?"*

Aluno A18: (Lendo) *"Aumente progressivamente a intensidade..."*

Aluno A19: *"Nossa! "* (Percebendo o aumento do número de partículas).

Aluno A17: *"As partículas estão mais devagar em 100%..."*

Aluno A8: *“Você acha?”*

Aluno A19: *“Eu acho que não.”*

Aluno A8: *“Eu também acho que não...”*

Aluno A19: *“O que aumenta é a quantidade...”*

Aluno A17: *“Elas estão mais juntinhas.”*

Aluno A19: *“É porque têm mais, na verdade...”*

Aluno A18: *“E a placa metálica reflete os elétrons?”*

Aluno A8: *“Reflete ou emite?”*

Aluno A19: *“Agora fiquei na dúvida... Professor! ”*

Professor: *“Sim?”*

Aluno A19: *“Esses elétrons são refletidos? ”*

Professor: *“Quais elétrons?”*

Aluno A19: *“Os que vêm da luz...”*

Professor: *“Mas existem elétrons na luz?”*

Aluno A8: *“Não! ... a luz é onda...”*

Aluno A19: *“É mesmo... os elétrons são da placa...”*

Ao perceberem o fenômeno, houve uma motivação, evidenciada nas exclamações dos alunos A6 e A19. Para responderem as perguntas os grupos levantaram hipóteses e tentaram alcançar um consenso, algumas vezes após a intervenção do parceiro mais capaz, no papel do professor. Fica também evidenciado que os conceitos científicos abordados necessitariam de um aprofundamento posterior.

Por fazer parte da **Problematização** na Situação de Estudo (GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012), a simulação computacional trouxe uma significação das linguagens que iriam se tornar uma discussão conceitual. Isto é, dentro da Sequência Didática, seu objetivo foi trazer um problema em que a sua solução necessitava de novas palavras representativas de conceitos, sendo esse o primeiro passo da significação conceitual.

Na análise dos diálogos dos grupos observamos também que a atividade possibilitou a interação com o professor e a consolidação do diálogo entre educador e educando, condição indispensável da **Problematização**.

> A problematização de uma Sequência de Estudos deve ocorrer a partir de situações de negociação de significados aos conceitos introduzidos, de modo a permitir o entendimento e a ação no contexto em novos níveis. Ao professor cabe fazer perguntas desafiadoras para perceber os sentidos que os alunos atribuem aos conceitos quando de suas falas e poder recolocá-las em outro nível de significação. Isso deve tornar possível aos alunos refletir crítica e conceitualmente sobre o meio social para que possam recriá-lo e modificá-lo, à medida que aprendem e modificam a si próprio (AUTH, 2002, p. 140).

Após a realização da simulação evidenciamos que as perguntas do roteiro, mesmo sendo individual e o professor tendo destacado no início da atividade que o consenso não era obrigatório, foram respondidas da mesma maneira, após o grupo chegar a um acordo.

As questões buscavam saber quais as conclusões dos alunos em relação à Natureza da Luz após a realização da simulação computacional. A questão 1 relatou que, segundo a teoria ondulatória da Luz, aumentando a intensidade da onda, os elétrons deveriam ser mais velozes. Todos os grupos descreveram que isso não foi observado na simulação. A próxima questão indagava sobre o que influenciava na emissão de elétrons. Com exceção do Grupo 1, que respondeu que apenas modificando a intensidade da luz os elétrons eram ejetados da placa, todos os outros grupos relataram que os elétrons eram emitidos a partir de um valor mínimo de comprimento de onda e com uma intensidade luminosa diferente de zero. Por meio da terceira questão todos os grupos relataram que as observações não estavam de acordo com a teoria ondulatória da Luz, mas apenas os Grupos 2, 3, 4 e 5, ao responderem à quarta questão, levantaram a hipótese de a Luz estar agindo como partícula, ao arrancar elétrons da placa.

Constatamos então que apenas metade dos grupos evidenciaram o comportamento corpuscular da Luz. Percebemos a necessidade de aprofundamento dos conceitos necessários para a total compreensão da teoria corpuscular da Luz. Isso foi posteriormente realizado a partir da **Primeira Elaboração** na Situação de Estudo (GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012). Essa etapa tem como função direcionar o estudante para atividades que envolvam um aprofundamento sobre as situações apresentadas na Problematização.

A quinta questão trouxe sete afirmações para serem julgadas como verdadeiras (V) ou falsas (F). A Tabela 5.2 mostra a análise das respostas apresentadas pelos grupos.

Tabela 5.2*:* Análise das respostas dos grupos para a questão 5 do roteiro da simulação computacional.

Item	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
1	C	C	C	C	C	C	C	C
2	C	C	C	C	C	C	C	C
3	E	E	E	E	C	E	C	E
4	C	C	C	C	E	C	C	C
5	C	C	C	C	C	C	C	C
6	C	C	C	E	C	C	C	C
7	C	C	C	C	E	C	C	C

C: Resposta Certa; **E**: Resposta Errada.

Da Tabela 5.2, damos destaque a constatação de que 75% dos grupos erraram a terceira afirmação, que alegava que quanto maior a frequência da luz de uma determinada intensidade incidindo sobre o metal, mais elétrons abandonam o material. Apesar da afirmação ser falsa, a maioria dos alunos acreditou que era isso que ocorria. Uma das hipóteses é a de que os estudantes relacionaram intensidade da luz com a sua frequência. Outra possibilidade é que o simulador possa ter gerado uma percepção falsa ao mostrar elétrons ejetados com energia diferentes. Esse problema poderia ser sanado se, no início da simulação, o professor pedisse para que os estudantes marcassem a opção de apenas aparecerem os elétrons mais energéticos.

A última questão foi retirada do ENEM e trazia uma situação-problema que discutia o Efeito Fotoelétrico, através da afirmação de que quando a luz branca incide em uma superfície metálica, são removidos elétrons desse material. A pergunta era sobre quais formas de energia estariam sendo transformadas nesse processo. Apenas o Grupo 7 respondeu que era uma transformação de energia potencial em cinética. Os outros grupos responderam corretamente que a transformação evidenciada era de energia radiante para cinética.

Ficou evidente que o grande número de acertos nas questões propostas estava correlacionado a atividade em conjunto. Observamos que, nessas circunstâncias, o aluno que tem dúvida em uma resposta tende a optar pela afirmação daquele sujeito

que ele julga mais capaz no seu meio. Quando essa liderança não se destaca, há um maior debate para se chegar em um acordo.

Algumas vezes, reconhecendo no professor àquele mais capaz, foi pedido a sua ajuda nas resoluções. Nesse momento, coube ao educador direcionar as conclusões evitando influenciar nas decisões do grupo, motivando-os a obterem suas próprias soluções. Na teoria de Vigotski, a motivação cumpre um papel essencial. Para ele, “antes de comunicar esse ou aquele sentido, o mestre deve suscitar a respectiva emoção do aluno e preocupar-se com que essa emoção esteja ligada a um novo conhecimento” (VIGOTSKI,2004, p.144) e ainda, “antes de explicar, interessar; antes de obrigar a agir, preparar para a ação; antes de apelar para reações, preparar a atitude; antes de comunicar alguma coisa nova, suscitar a expectativa do novo” (VIGOTSKI,2004, p.163).

5.3 Análise da atividade experimental

A realização de um experimento em grupo foi proposta como última atividade antes da avaliação tradicional. Para isso a turma foi dividida em grupos, com a mesma formação utilizada na atividade da simulação computacional (Tabela 5.1), e cada estudante recebeu um roteiro semiestruturado (APÊNDICE C). O roteiro foi composto de sete perguntas e uma questão final onde buscamos investigar a apropriação dos conceitos estudados ao longo da Sequência Didática. O experimento também serviu para observar a interação entre os pares a fim de perceber como se daria a cooperação mútua.

Os objetivos de ensino foram calcular a energia emitida por um fóton de um LED através da medida do potencial de corte e determinar a frequência do fóton emitido. O circuito elétrico foi montado em uma saboneteira transparente com a finalidade de se utilizar um material barato, eficiente e que pudesse mostrar os componentes utilizados e as suas ligações. Foram utilizadas duas pilhas de 1,5 V associadas em série, um potenciômetro de 1,0 KΩ e dois LEDs de alto brilho, um verde e outro azul. Um multímetro foi usado para realizar as medidas propostas.

Inicialmente, com os grupos já montados, o professor explicou como o trabalho seria realizado.

A primeira parte da atividade foi executada por todos os grupos, simultaneamente, de acordo com a orientação do educador, que leu o roteiro em voz alta. Apesar disso, foi destacado para os alunos que as conclusões dos questionamentos deveriam ser feitas pelo grupo, não pelo professor. Esse critério foi utilizado porque para a maioria dos alunos era a primeira vez que estariam manipulando elementos de um circuito elétrico, visto que o conteúdo de Eletricidade só seria ministrado na 3ª série do Ensino Médio. Apesar disso, vários alunos resgataram os conhecimentos básicos adquiridos nas aulas de Ciências do Ensino Fundamental ou ainda em outro contexto social. Isso pode ser percebido através do diálogo inicial entre educador e educando, cujos alguns trechos são descritos abaixo:

Professor: *" Vocês podem perceber que ao lado dos LEDs existe um cursor que os senhores já devem ter visto, por exemplo, em um botão para regular o volume de um amplificador de som. Esse cursor se chama potenciômetro."*

Aluno A12: *" Eu já vi esse negócio... é o troço que você gira para aumentar a velocidade do ventilador?"*

Professor: *"Isso mesmo. Ele também pode ser utilizado, por exemplo, para regular o brilho de uma lâmpada ou a velocidade de um ventilador. O potenciômetro é um resistor de resistência variável. Para entende-lo, temos que entender o conceito de resistência elétrica. Para que serve um resistor elétrico?"*

Aluno A21: *"Para resistir..."*

Professor: *"Sim. Para criar uma resistência... Resistência à quê?"*

Aluno A25: *"À corrente elétrica..."*

Professor: *"Isso! À corrente elétrica. Isso significa que se eu aumento à resistência o que ocorre com corrente elétrica?"*

Aluno A12: *"Aumenta?"*

Vários alunos discordam e falam: *"Diminui! "*

Professor: *“Muito bem! Diminui. Então o que esse potenciômetro irá fazer no meu circuito elétrico?”*

Aluno A25: *“Diminuir o fluxo de elétrons!”*

Professor: *“Ou...”*

Aluno A21: *“*Aumentar...”

Professor: *“Sim... causando uma variação na corrente elétrica do circuito.”*

Nesse momento, o aluno A23 indaga:

Aluno A23: *“Professor, o que é isso que está escrito no roteiro ao lado do potenciômetro?”*

Professor: *“É a sua unidade de medida: 1 kilo ohm. O kilo é um múltiplo que significa 1000 e o ômega é o símbolo da unidade de medida de resistência elétrica: o ohm. Três unidades de medidas são muito utilizadas no circuito elétrico básico. Alguém sabe me dizer quais são?”*

Aluno A6: *“O volt...”*

Aluno A13: *“O ampère...”*

Aluno A25: *“E ohm.”*

Aluno A12: *“Eu me lembro do 9º ano quando o professor falou que o que dava o choque não era o volt e sim o ampère...”*

Professor: *“Sim. O que causa o choque elétrico é a corrente elétrica que passa pelo corpo...”*

Os trechos destacados mostram que alguns alunos possuíam conceitos espontâneos sobre o funcionamento de um circuito elétrico, enquanto para outros era uma total novidade. Como o conteúdo de Eletricidade ainda não tinha sido apresentado formalmente aos estudantes no Ensino Médio, o professor trabalhou com esses conceitos dentro de uma Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) (VIGOTSKI, 2007). Segundo Vigotski (2007, p. 102),

> (...) em crianças normais, o aprendizado orientado para níveis de desenvolvimento que já foram atingidos é ineficaz do ponto de vista do desenvolvimento global da criança. Ele não se dirige para um novo estágio do processo de desenvolvimento, mas, em vez disso, vai a reboque desse processo. Assim, a noção de zona de desenvolvimento proximal capacita-nos a propor uma nova fórmula, a de que o "bom aprendizado" é somente aquele que se adianta ao desenvolvimento.

Cabe destacar que a pretensão da pesquisa não foi a de saber de cada um dos alunos qual o nível real de seu desenvolvimento e a sua ZDP em relação ao conteúdo de circuitos elétricos e sim mostrar que, com a cooperação de um parceiro mais capaz, os estudantes teriam capacidade de aprender conteúdos que estão acima de um nível cognitivo atual.

O experimento foi iniciado com o comando do professor para mover a chave e ligar o equipamento. Após certificar que todos já haviam feito, pediu então para que o potenciômetro fosse girado vagarosamente. Foi percebido uma comoção geral ao constatarem o acendimento do primeiro LED, seguido, quase imediatamente, de uma ânsia em continuar manipulando o dispositivo.

Aluno A30: *"Uau! Acendeu!"*

Aluno A17: *"Que lindo! É pra continuar?"*

Aluno A19: *"Não. É só para acender o primeiro."*

Aluno A26: *"Gira até acender o segundo..."* (o grupo começa a acender e apagar os LEDs.)

Professor: *"Não é para fazer sem autorização! Todos respondam apenas a primeira pergunta. Não façam nada a mais do que foi pedido por enquanto."*

Verificou-se que a manipulação do experimento causou uma motivação geral e despertou uma curiosidade maior nos alunos do que o trabalho com a simulação computacional. Possivelmente isso ocorreu porque estudar com o auxílio de um computador já fazia parte do cotidiano daquele grupo de educandos, enquanto o aparato experimental era uma novidade.

Nesse momento coube ao professor frear a ansiedade, garantindo que todos os participantes da interação pudessem ver o que deveria ser visto e saber quais questões deveriam ser respondidas.

Ao pedir que fosse respondido a segunda pergunta, onde o aluno colocaria quais as razões que levaram um LED acender primeiro que o outro, houve um debate entre os membros dos grupos. Nos diálogos percebemos que os conceitos aprendidos durante a Sequência Didática estavam sendo empregados. Mesmo assim, notamos que vários estudantes quiseram confirmar a resposta com o professor que, percebendo isso, fez uma intervenção:

Professor: *"O que a frequência da luz influencia? Porque o verde acendeu primeiro do que o azul? Foi uma coincidência? Porque o azul acendeu depois?"*

Aluno A19: *"Porque precisava de um negócio maior..."*

Professor: *"Que negócio maior?"*

Aluno A12: *"Precisava de mais energia! "*

Em alguns grupos, houve uma demora para se chegar a um consenso. Isso foi percebido, principalmente, onde os membros do grupo se equivaliam cognitivamente e cada um dos estudantes tinha uma opinião sobre o fenômeno. Houve nesse caso uma maior interação entre os participantes, possibilitando uma resposta mais correta do ponto de vista científico, exemplificado a seguir com um trecho do debate do grupo 5:

Aluno A17: *"Isso tem a ver com aquele negócio que ele explicou sobre camada de valência..."*

Aluno A8: *"Pra mim isso tem a ver com a frequência. "*

Aluno A19: *"Já vou escrever aqui..."*

Aluno A18: *"Calma! Espera o grupo."*

Aluno A17: *"Eu acho que é a camada de valência... Professor! "*

Aluno A19: *"Não adianta chamar, ele não vai responder. "*

Professor: *"A energia do fóton se calcula como?"*

Aluno A19: *"Com hf, sei lá..."*

Aluno A18: *“Esse h é o que mesmo? ”*

Aluno A8: *“Constante de Planck.”*

Aluno A19: *“Espera aí, vamos lá.... Pela fórmula, a energia é diretamente proporcional à frequência...”*

Aluno A8: *“O potenciômetro varia a tensão...”*

Aluno A19: *“O que diferencia uma luz da outra é a frequência, não é?* (Os outros integrantes do grupo concordam). *Então, quanto mais energia coloca, mais eu consigo uma certa frequência... O azul acendeu depois porque ele precisa de mais energia pois a essa luz tem maior frequência...”*

Aluno A17: *“É, eu acho que a resposta é essa...”*

Aluno A8: *“Que o verde precisa de menos energia que o azul para acender pois a frequência é menor...”*

Após o debate, a resposta do grupo ficou assim:

“Porque como exposto na fórmula: E = h x f, a energia do fóton é diretamente proporcional à frequência, logo luzes com frequências maiores como a azul, só são emitidas após uma quantidade maior de energia.”

Os Grupos 1, 3, 6, 7 e 8 tiveram respostas semelhantes ao Grupo 5, reforçando os conceitos sobre o Efeito Fotoelétrico abordados durante a Sequência Didática. Os Grupos 2 e 4 associaram a frequência da luz à tensão elétrica na qual os LEDs estariam submetidos, relacionando o fenômeno aos conceitos ligados à Eletricidade. Esse processo está de acordo com a última fase da proposta da Situação de Estudo, a **Função de elaboração e compreensão conceitual** (GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012). É nessa terceira etapa da Situação de Estudo que se busca a generalização do conceito, porque seu propósito maior é a significação conceitual. Através da retomada das questões iniciais apresentadas na Problematização busca-se a compreensão conceitual dos fenômenos abordados. A partir daí o estudante terá condições de compreender outras situações análogas àquelas que lhe foram apresentadas ao longo do desenvolvimento da Situação de Estudo.

Em uma segunda etapa do experimento foi proposto a medida, com um multímetro, da tensão elétrica mínima para acender os LEDs com o menor brilho possível. A maioria dos alunos demonstrou uma insegurança inicial, visto que era a primeira vez que manipulavam um medidor de tensão elétrica. Nesse momento, o professor interveio, auxiliando-os nas conclusões:

Aluno A12: *"Professor! Deu dois?"*

Professor: *"É um trabalho experimental. Você não tem que perguntar quando deu, você tem que ler o valor no aparelho."*

Aluno A12: *"Então, deu dois. Dois o quê?"*

Professor: *"O que você está medindo?"*

Aluno A12: *"Tensão elétrica."*

Professor: *"E tensão elétrica é medida em quê?"*

Aluno A29: *"Volts."*

Professor: *"Correto. Então escreva aí."*

A intenção foi a de que os grupos relacionassem a tensão elétrica com a frequência da luz, o que ocorreu com êxito, como exemplificado na resposta do Grupo 6:

"O LED azul precisa de uma tensão elétrica maior porque a frequência dele é maior e a energia é diretamente proporcional à frequência, logo precisa de uma energia maior."

A última parte do experimento se deu com a repetição do procedimento da medida da tensão elétrica por dez vezes afim de se obter um valor médio. Após relacionar esse valor ao potencial de corte do LED, foi pedido para que os grupos, utilizando a equação da energia do fóton, calculassem a frequência emitida pelos LEDs verde e azul. Esses valores estão listados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Frequências da luz emitida pelos LEDs verde e azul calculadas pelos grupos.

GRUPO	**Frequência (Hz)**	
	LED VERDE	***LED AZUL***
1	4,82 x 10^{14} Hz	5,97 x 10^{14} Hz
2	4,95 x 10^{14} Hz	5,88 x 10^{14} Hz
3	5,05 x 10^{14} Hz	5,93 x 10^{14} Hz
4	5,03 x 10^{14} Hz	5,97 x 10^{14} Hz
5	5,05x 10^{14} Hz	6,25 x 10^{14} Hz
6	4,82 x 10^{14} Hz	5,97 x 10^{14} Hz
7	5,05 x 10^{14} Hz	5,93 x 10^{14} Hz
8	5,08 x 10^{14} Hz	6,08 x 10^{14} Hz

De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2012), os comprimentos de onda para a luz verde variam entre 495 e 570 nm, enquanto para a luz azul, entre 450 e 495 nm. Esses valores correspondem às faixas de frequências de 5,26 x 10^{14} a 6,06 x 10^{14} Hz para a luz verde e 6,06 x 10^{14} a 6,67 x 10^{14} Hz para a luz azul. Avaliamos como razoáveis as medidas realizadas. A divergência entre o valor teórico e os valores encontrados pelos grupos, principalmente para a luz verde, pode ser explicada, pelos erros envolvidos principalmente na constatação do momento em que o LED acendia. Essa observação foi influenciada, entre outros, pela luminosidade da sala e pelo nível de atenção do aluno que estava realizando a medida.

Ressaltamos que durante a realização do experimento o educador constitui-se em presença essencial, realizando o papel do parceiro mais capaz. Segundo Gaspar (2014, p. 246):

> (...) o resgate do papel do professor, explícito na teoria vigotiskiana, considerado presença indispensável nas interações sociais que se desenvolvem em sala de aula, implica também um notável aumento da sua responsabilidade pedagógica. Isso porque ser o parceiro mais capaz de uma interação não é resultado de sua competência, mas do reconhecimento do grupo social, que assim o considera ou elege. Assim, para os alunos, o professor sempre será o parceiro mais capaz em sala de aula, principalmente em relação ao conteúdo de sua disciplina, pela simples razão de ser o professor.

Coube ao professor guiar os estudantes durante a realização da atividade, tomando o cuidado de não dar as respostas e sim incentivá-los a obtê-las através da interação social. Com isso, percebeu-se um maior envolvimento do aluno com o experimento, motivando-o a criar hipóteses sobre a os resultados, baseados ora nos conhecimentos

adquiridos durante a realização da Sequência Didática, ora nos conhecimentos prévios devido a outros intercâmbios sociais.

Através do experimento, constatamos que os estudantes demonstraram que os conceitos básicos para a compreensão do Efeito Fotoelétrico tinham sido internalizados. Naquele momento observamos que o entendimento da teoria corpuscular da Luz havia acontecido e os alunos percebiam que existe uma relação de proporcionalidade entre a frequência da Luz e a energia que ela transporta, colocada na equação da energia do fóton. Além disso, o professor trabalhou conceitos dentro de uma suposta ZDP dos alunos, intervindo como parceiro mais capaz e proporcionando, segundo as nossas conclusões, a oportunidade de compreensão de significados que, sem ajuda, os educandos não alcançariam naquele momento.

5.4 Análise dos resultados da avaliação tradicional

A avaliação tradicional foi trabalhada no último encontro da intervenção educacional. As questões tinham o objetivo de investigar a compreensão dos estudantes acerca dos conceitos estudados. Entendemos que foi um instrumento importante para a verificação individual da eficácia das práticas metodológicas adotadas durante a nossa intervenção. As questões foram elaboradas de modo que o estudante pudesse aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo da Sequência Didática e o professor pudesse inferir se houve apropriação dos conceitos científicos abordados.

A avaliação foi composta de nove questões, sendo que no último problema existiam três perguntas, totalizando assim onze itens analisados. Os critérios definidos e adotados nesse trabalho para categorizar as respostas dos alunos estão apresentados no Quadro 5.1.

Categorias	Características
Resposta Correta (RC)	Apresenta os conceitos, as aplicações, os resultados e as unidades de medida corretamente, respondendo plenamente ao problema proposto.
Resposta Incompleta (RI)	Apresenta o conceito central relacionado à resposta da questão proposta, porém não apresenta todas as proposições necessárias para a resposta completa à situação apresentada.
Resposta Errada (RE)	Demonstra não possuir conhecimento acerca do assunto ou não compreensão do enunciado da questão, apresentando uma resposta que foge completamente a questão proposta.
Branco (B)	-

Quadro 5.1: Categorias elaboradas para análise das respostas apresentadas pelos alunos.

Na Tabela 5.4 apresentamos a análise percentual da classificação das respostas apresentadas pelos alunos, por questão.

Tabela 5.4: Classificação do percentual de respostas por questão.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9A	Q9B	Q9C
RC	97	81	74	55	61	65	39	39	29	10	7
RI	-	-	7	29	-	10	39	45	35	20	7
RE	3	19	19	16	32	18	22	16	26	20	16
B	-	-	-	-	7	7	-	-	10	50	70

As questões 1, 2, 3 e 4 da avaliação foram idênticas, respectivamente, às questões 11, 12, 13 e 14 do questionário diagnóstico inicial. A intenção foi comparar as respostas após a aplicação da Sequência Didática.

A primeira questão objetivou saber qual lâmpada emitiria uma luz com frequência mais alta, a de cor azul ou a de cor vermelha, enquanto a segunda questão questionou qual delas emite luz de maior energia. A intenção foi inferir a quantidade de alunos que conseguiriam, naquele momento, relacionar a frequência luminosa com a energia emitida, conceito importante na compreensão do Efeito Fotoelétrico. Apresentamos na Figura 5.3 o percentual de alunos que conseguiram correlacionar corretamente frequência e energia, antes e depois da aplicação da Sequência Didática.

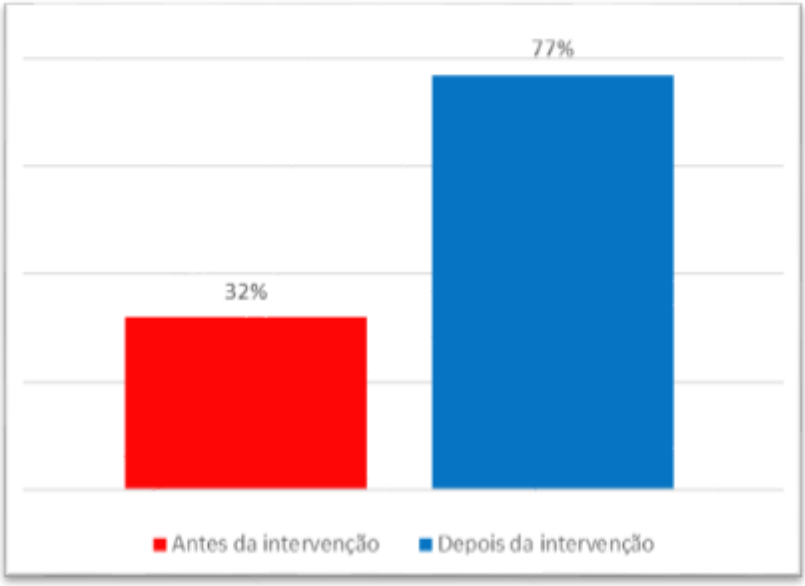


Figura 5.3: Percentual de acertos dos alunos nas questões 1 e 2 antes e depois da intervenção.

A Figura 5.3 mostra que antes da intervenção apenas 32% dos estudantes conseguiam associar uma luz de maior frequência como sendo aquela com maior energia. Ao término da intervenção esse percentual passa para 77%. Acreditamos que houve, através da implementação da Sequência Didática, uma negociação de conhecimentos para que os significados fossem alterados e assimilados em uma nova estrutura cognitiva dos alunos.

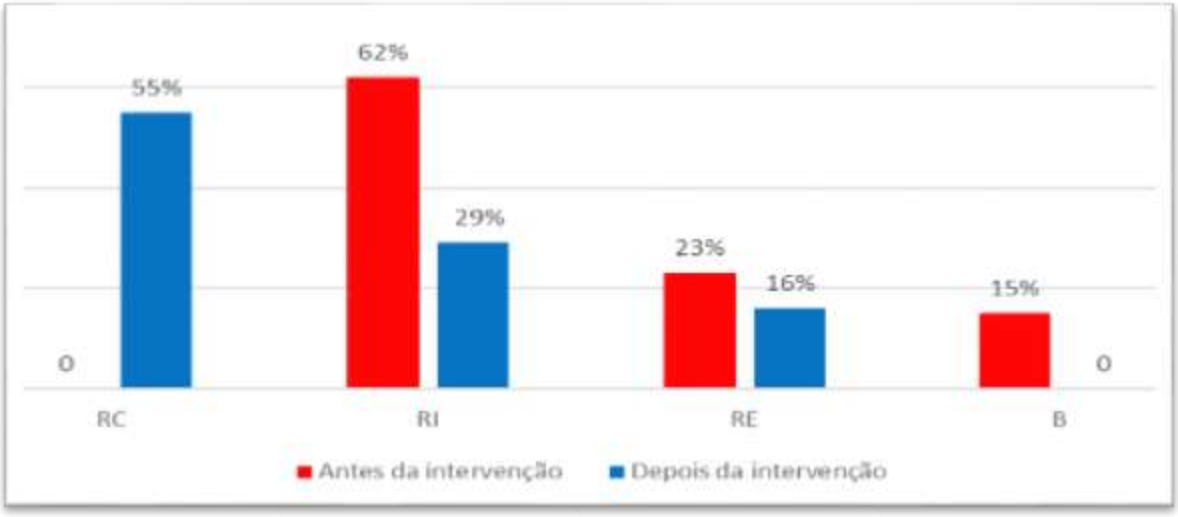
A terceira questão objetivou saber porque a luz ultravioleta queimava a pele. Antes da intervenção, 39% dos alunos afirmavam que a razão se devia a uma maior frequência da onda. Após a intervenção, esse número subiu para 71%. Além disso, com a análise das respostas individuais, percebemos uma evolução conceitual, pois, na maioria das respostas dadas na avaliação final, a frequência da onda vinha associada à energia que ela transmitia, situação que não foi observada no questionário inicial. Como exemplo dessa evolução conceitual, destacamos aqui as respostas dadas pelo estudante A18, antes e após a aplicação da Sequência Didática:

Antes: *"As ondas ultravioletas vibram com menor velocidade, seu comprimento de onda é maior, contudo, sua frequência é relativamente alta, o que acaba por afetar as células da pele e danificá-las."*

Depois: *"O que acarreta a queima da pele não é a intensidade, mas sim a frequência na qual a luz é emitida, o que provoca a perda de elétrons da superfície da pele. A luz visível, por ser de baixa frequência, não é suficiente para agredir a pele."*

Antes da intervenção, mesmo estando a resposta errada, nota-se a utilização dos conceitos de onda, vistos anteriormente pelo estudante, para explicar o fenômeno. Como o assunto da utilização de filtro solares para proteção contra a radiação ultravioleta é bastante difundido nos meios de comunicação, houve uma tentativa de explicação do fenômeno utilizando-se dos conhecimentos adquiridos até então. Após a aplicação da Sequência Didática, percebemos uma evolução conceitual, com uma resposta que associava a aprendizagem adquirida com a explicação correta do fenômeno. Para Vigotski (2007) "qualquer situação de aprendizado com qual a criança se defronta na escola tem sempre uma história prévia". Segundo Delizoicov (1991), cabe ao professor implementar processos que causem uma ruptura com o conhecimento prévio do estudante para logo após, provocar uma continuidade através do saber científico.

A quarta questão perguntava se a incidência de uma onda eletromagnética sobre uma superfície metálica poderia arrancar elétrons dessa superfície. Quando perguntados no questionário inicial, nenhum aluno associou o fenômeno ao fato da Luz agir como partícula ao interagir com a superfície metálica. Após a intervenção, 55% dos estudantes já associavam o fenômeno ao Efeito Fotoelétrico de maneira correta, como pode ser visto na Figura 5.4.

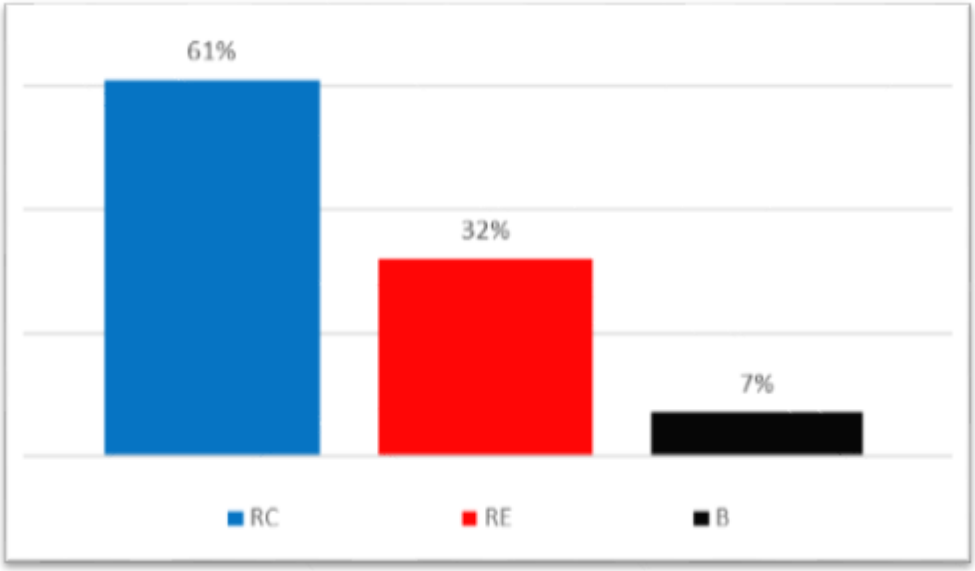


RC: Resposta Correta; **RI**: Resposta Incompleta; **RE**: Resposta Errada; **B**: Branco.

Figura 5.4: Análise percentual das respostas dos alunos na quarta questão.

Os estudantes que responderam que era possível arrancar elétrons mas justificaram de maneira incorreta, caíram de 62% para 29%. Aqueles que responderam à questão de forma equivocada foram de 23% para 16% e nenhum aluno deixou a questão em branco após a intervenção. Após a aplicação da Sequência Didática, avaliamos que houve uma compreensão do fenômeno por parte da maioria dos estudantes visto que o número de respostas coerentes com os conceitos científicos aumentou significativamente.

A partir da quinta questão foram expostas novas situações sobre a Natureza da Luz. Inicialmente foi apresentada uma questão de múltipla escolha que indagava sobre o conceito de Efeito Fotoelétrico. Os resultados estão dispostos na Figura 5.5.

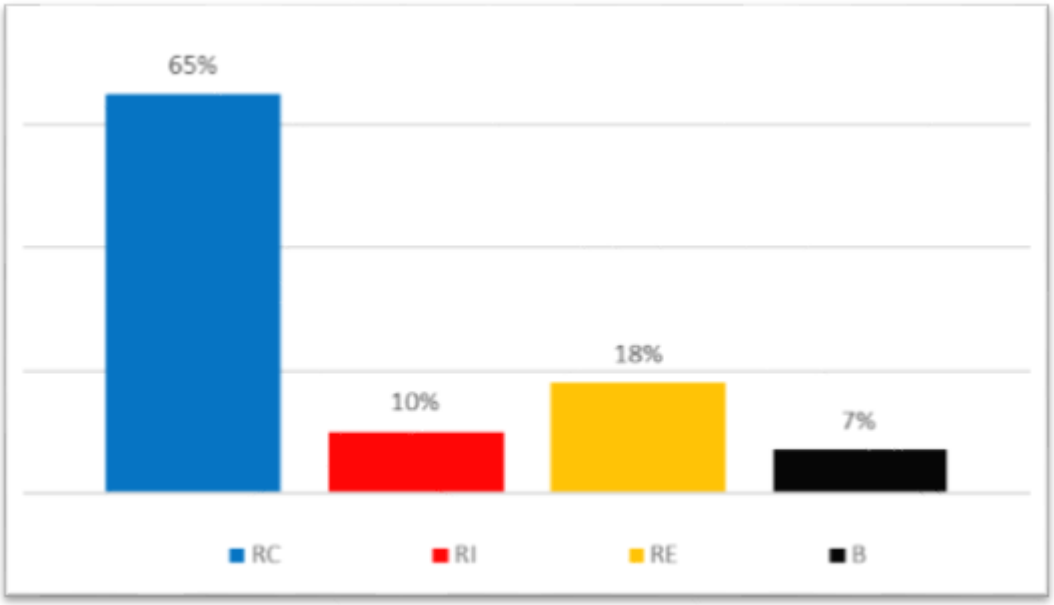


RC: Resposta Correta; **RE**: Resposta Errada; **B**: Branco.

Figura 5.5: Análise percentual das respostas dos alunos na quinta questão.

Pela Figura 5.5 vemos que 62% dos alunos marcaram a alternativa que afirmava que Efeito Fotoelétrico consistia na emissão de elétrons quando uma onda eletromagnética incide em certas superfícies. Daqueles que marcaram a alternativa errada (32% do total de alunos), 60% demonstraram confundir o conceito de corrente elétrica com o de fótons e 40% marcaram a alternativa que afirmava que a matéria é uma forma de energia que pode se transformar em fótons (uma afirmação verdadeira, mas que não respondia ao intuito da questão). Com os dados apresentados, avaliamos que o conceito de Efeito Fotoelétrico foi compreendido pela maioria dos alunos e os erros cometidos não foram aleatórios pois apresentavam contexto com o conteúdo apresentado.

A sexta questão pedia para que o aluno escolhesse uma aplicação do Efeito Fotelétrico e explicasse o seu funcionamento com base nesse efeito. Os resultados estão dispostos na Figura 5.6.



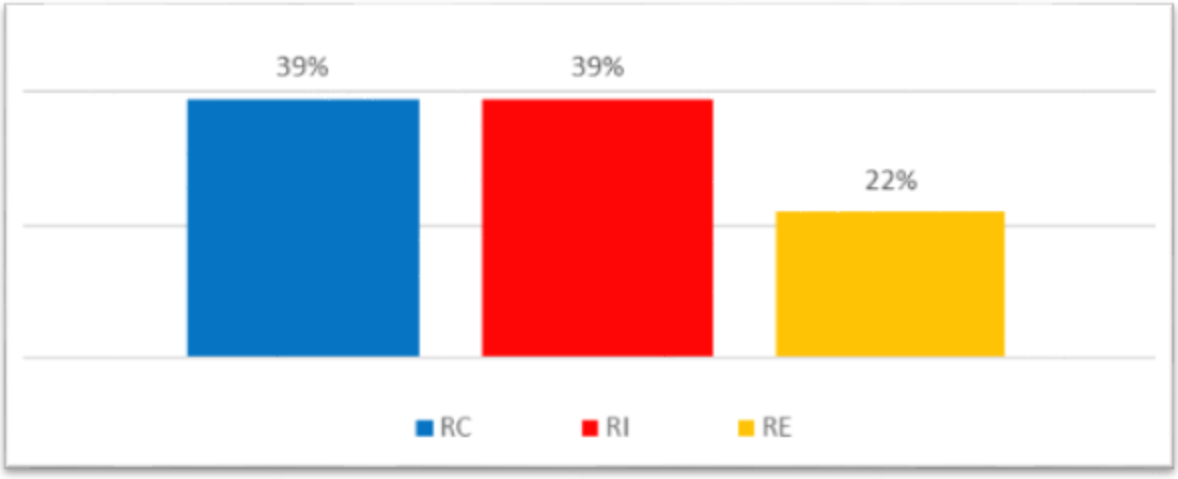
RC: Resposta Correta; **RI**: Resposta Incompleta; **RE**: Resposta Errada; **B**: Branco.

Figura 5.6: Análise percentual das respostas dos alunos na questão 6.

Observamos na Figura 5.6 que 65% dos estudantes citaram uma aplicação e explicaram corretamente, 10% citaram uma aplicação, porém explicaram de forma equivocada, 18% erraram a questão e 7% não responderam. A importância em associar um conteúdo de Física com a sua aplicação no cotidiano é defendida nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) (BRASIL, 2000). De acordo com os PCN's, é necessário que o estudante compreenda de forma conceitual os fenômenos tecnológicos atuais para ser capaz de interpretar e lidar com as situações do dia-a-dia. No entanto, percebemos que as aplicações citadas nas respostas eram somente aquelas que foram discutidas durante a intervenção. A nosso ver, isso era esperado, uma vez que não existindo tempo hábil para realizar outras interações sociais, o aluno remeteu-se aos modelos que foram construídos ao longo da aplicação da Sequência Didática. Entendemos que, com o tempo, os estudantes irão associar outras situações do cotidiano aos fenômenos estudados e conseguirão explicá-las utilizando os conceitos científicos aprendidos pois,

> (...) por meio da colaboração com o professor, os alunos começam a aprender. O domínio do conteúdo só se dá quando eles adquirirem ou construírem uma estrutura mental que lhes possibilite esse domínio, o que demanda tempo e esforço dos próprios alunos. (...) Talvez essa seja a principal estratégia vigotiskiana de aprendizagem, que em nada difere da recomendação de qualquer pessoa de bom-senso: para aprender é preciso estudar, estudar, estudar... (GASPAR, 2014, p. 205)

Nas últimas questões o estudante deveria aplicar as equações relativas ao Efeito Fotoelétrico para solucionar problemas de níveis distintos de dificuldade. A sétima questão solicitava que, com o comprimento de onda, o aluno calculasse a energia correspondente a um fóton emitido por um LED. Os resultados estão dispostos na Figura 5.7.

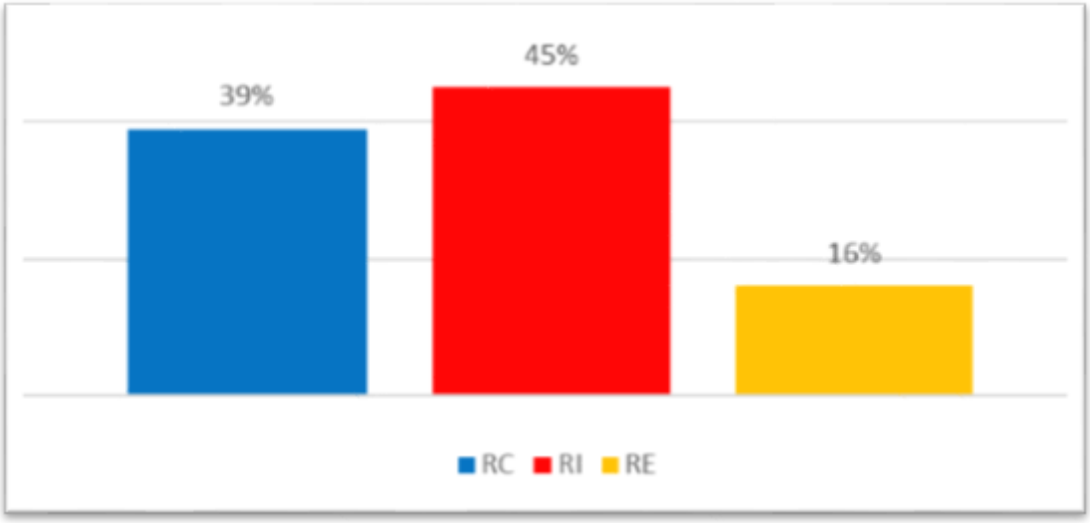


RC: Resposta Correta; **RI**: Resposta Incompleta; **RE**: Resposta Errada.

Figura 5.7: Análise percentual das respostas dos alunos na sétima questão.

Observamos que 39% dos estudantes responderam corretamente e esse mesmo número de alunos conseguiu desenvolver o problema, mas cometeram falhas no processo, tais como, erros de cálculo e transformações em unidades de medidas. Esses tipos de erros são recorrentes ao longo do processo de ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio, principalmente quando as manipulações matemáticas exigem a utilização de operações com números decimais ou com potenciação.

A oitava questão era um pouco mais elaborada, pois o problema solicitava o cálculo da frequência de um fotoelétron emitido a partir da função trabalho de um metal e da energia cinética máxima. Os resultados estão dispostos na Figura 5.8.

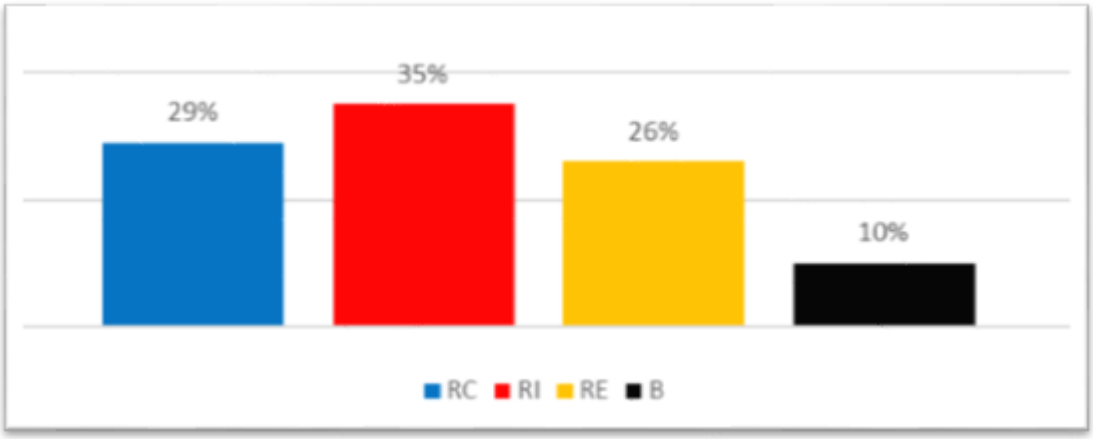


RC: Resposta Correta; **RI**: Resposta Incompleta; **RE**: Resposta Errada.

Figura 5.8: Análise percentual das respostas dos alunos na oitava questão.

Notamos que, apesar do problema exigir maior conhecimento do aluno, obtivemos resultados semelhantes ao da sétima questão, com 39% de respostas corretas e 45 % de incompletas. Os tipos de erros se repetiram mostrando serem sistemáticos. O percentual de alunos que erraram completamente a questão também se assemelha nos dois casos: 22% na sétima e 16% na oitava.

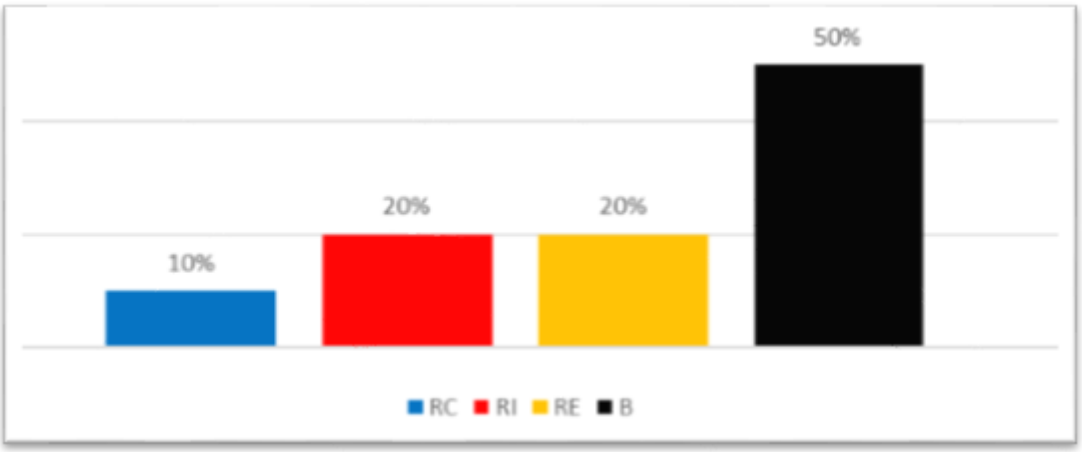
A nona questão possuía três itens para serem respondidos e exigiu um nível de abstração bem maior que os outros dois problemas anteriores. Os resultados são apresentados nas Figuras 5.9, 5.10 e 5.11.



RC: Resposta Correta; **RI**: Resposta Incompleta; **RE**: Resposta Errada; **B**: Branco

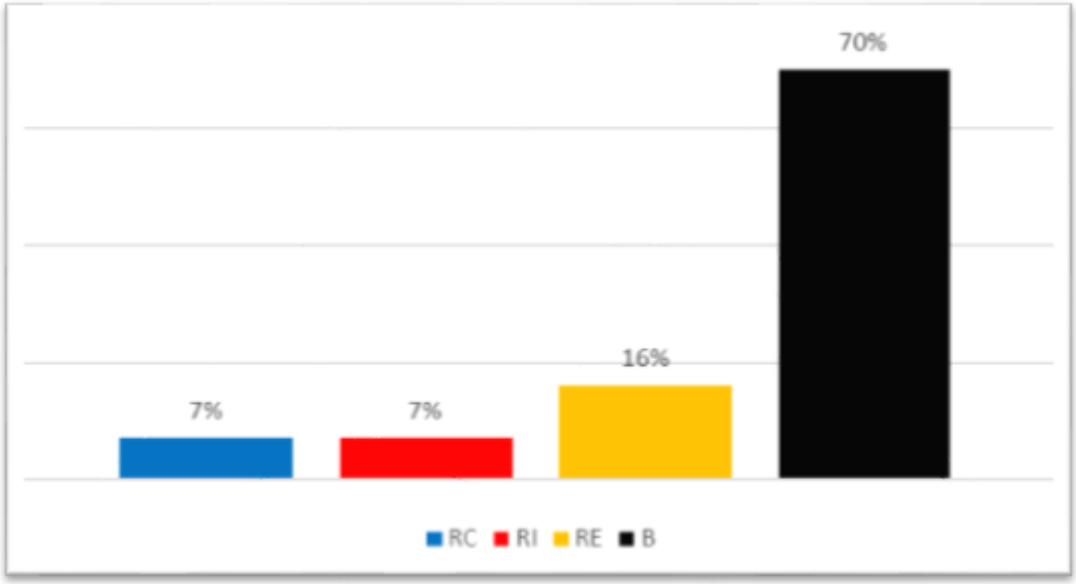
Figura 5.9: Análise percentual das respostas dos alunos na questão 9A.

Apesar da orientação do item A ser idêntico ao da questão 7, percebemos na Figura 5.9 que apenas 29% das respostas foram completamente corretas e 35% incompletas. O fato do enunciado do problema ser mais complexo exigiu uma maior interpretação do estudante, fato que pode ter levado ao maior índice de erros. O número de estudantes que erraram o item foi de 26% e 10% não responderam.



RC: Resposta Correta; **RI**: Resposta Incompleta; **RE**: Resposta Errada; **B**: Branco

Figura 5.10: Análise percentual das respostas dos alunos na questão 9B



RC: Resposta Correta; **RI**: Resposta Incompleta; **RE**: Resposta Errada; **B**: Branco

Figura 5.11: Análise percentual das respostas dos alunos na questão 9C

Os últimos dois itens da avaliação eram de extrema dificuldade. Apesar do professor já ter resolvido dois outros problemas semelhantes em sala de aula, os resultados apresentados nas Figuras 5.10 e 5.11 podem ser justificados, pois, além dos conceitos aprendidos durante a intervenção, a questão exigia que o aluno resgatasse conceitos anteriores, tais como o cálculo de intensidade de uma onda. Acreditamos que o fato

desses serem os últimos itens da avaliação, também corroborou para esse resultado, pois, ao demandar muito tempo para realizar as operações matemáticas nas questões anteriores, faltou tempo para terminar a avaliação.

Com esses resultados, percebemos que a maior parte dos alunos soube interpretar os enunciados dos problemas e utilizar as equações para solucioná-los. Os erros cometidos mostraram que para compreensão completa do conteúdo é necessário resolver mais problemas que envolvam as equações do Efeito Fotoelétrico. O desenvolvimento de problemas em Física requer tempo e dedicação. Durante aplicação da Sequência Didática, tanto os exercícios resolvidos como exemplo em sala, quanto aqueles que foram indicados para tarefa de casa tiveram como objetivo fazer com que o aluno, ao compreender a resolução do problema, pudesse construir novas estruturas de pensamento para que, com o tempo, se tornassem efetivamente capazes de resolver problemas do tipo proposto. Acreditamos que a aprendizagem de qualquer conteúdo é um procedimento longo e que apenas começa quando é exposto, e só se aperfeiçoa quando se completa a construção das estruturas intelectuais necessárias para seu alcance.

.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo é apresentada uma síntese da pesquisa realizada e, com base nos resultados obtidos, são respondidos os objetivos propostos para este trabalho. Em seguida, são apresentados os apontamentos finais dessa investigação.

A pesquisa nasceu da necessidade do professor-pesquisador buscar respostas para as suas percepções em relação ao ensino da Física Moderna no Ensino Médio. Na atualidade, por orientações dos PCN's (Brasil, 2000), todos os livros aprovados no PNLD possuem, obrigatoriamente, capítulos destinados ao ensino da Física Moderna e Contemporânea (FMC). Essa necessidade já vinha sendo apontada ao longo dos anos, como destaca Ostermann e Moreira (2001). Porém, na nossa visão, ainda existem dificuldades de implementação efetiva já que o ensino de FMC acaba sendo colocado em segundo plano com a justificativa de não haver tempo hábil para ministrar o conteúdo da forma que ele exige. A solução, ao nosso ver, está na discussão de uma mudança curricular que possa integrar o estudo de Física Moderna ao da Física Clássica no Ensino Médio. Como isso exige muito mais tempo e estudo do que essa dissertação consegue abranger, foi realizado um recorte temático específico e seu consequente estudo para tornar viável o ensino integrado de Ondulatória, Óptica e do Efeito Fotoelétrico através da discussão sobre a Natureza da Luz.

Traçado um caminho a ser trilhado, fomos em busca de referenciais teóricos que embasassem a nossa pesquisa. Encontramos na teoria de Vigotski (2004, 2007, 2009) os argumentos necessários para a implementação do estudo em sala de aula: a interação social como fator responsável para o desenvolvimento cognitivo e a função do professor, como o parceiro mais capaz, de colaborar e orientar o seu educando afim de que ele consiga alcançar o aprendizado. Buscamos, a partir desse referencial, uma metodologia de prática em sala de aula que se aproximasse dos preceitos vigotskianos. Encontramos essa prática na Situação de Estudo (GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012), que embasou a construção de uma Sequência

Didática sobre o estudo da Natureza da Luz, através do ensino do Efeito Fotoelétrico, voltada aos alunos da 2ª série do Ensino Médio.

Primeiramente foi necessário conhecer as concepções dos estudantes a respeito da Natureza da Luz. Essa fase foi realizada inicialmente por meio de um questionário com o objetivo de conhecer as concepções prévias dos alunos sobre os conceitos mais relevantes no estudo que seria implementado. A primeira etapa da Situação de Estudo, Problematização, também cumpriu o papel de levantamento de percepções iniciais dos alunos, através de situações-problema que além de fornecer uma motivação inicial para discussão, procurou conectar o conteúdo das aulas com as situações reais do cotidiano dos alunos.

Ao tornar as aulas mais dialógicas, percebemos uma maior motivação dos estudantes e uma percepção da necessidade de aprofundarmos o estudo sobre a Luz afim de respondermos às questões colocadas através dos problemas iniciais. O breve histórico realizado em aula foi importante para mostrar as mudanças conceituais ao longo dos séculos de discussão sobre a Natureza da Luz.

Constatado a necessidade de aprofundamento para a aprendizagem do que foi proposto sobre a Natureza da Luz, partimos para responder o segundo objetivo da pesquisa: analisar a apropriação dos conceitos relativos ao Efeito Fotoelétrico. Com base em um documentário, iniciamos o estudo sistemático do Efeito Fotoelétrico. Através de um breve histórico sobre a vida e as ideias de Max Planck destacamos a criação de uma nova ciência: a Física Quântica. Percebemos que o tema causou fascínio e receio nos estudantes, pois as concepções que traziam de que a Física Quântica era um tema difícil ocasionaram um temor inicial em relação ao que estava por vir. Nesse momento coube ao professor abrandar os receios dos alunos ao esclarecer que os estudos propostos estariam dentro de uma zona de compreensão e que eles a alcançariam com a ajuda dos instrumentos pedagógicos a serem utilizados.

A apresentação e discussão das equações do Efeito Fotoelétrico causou apreensão em alguns estudantes, principalmente pelas relações matemáticas de potenciação e notação científica. Os problemas resolvidos em sala serviram para auxiliar no desenvolvimento de habilidades necessárias para efetuar as operações que os alunos julgaram mais complexas. De qualquer modo, constatamos que a resolução de problemas análogos era necessária para que os estudantes praticassem essas

habilidades. Para isso foi enviada como tarefa de casa uma lista de exercícios contendo doze problemas, sendo metade deles, teóricos, e a outra metade de aplicação das equações. A correção e discussão desses problemas em sala de aula serviu para um aprofundamento sobre as situações apresentadas na primeira etapa, nomeada de Problematização. Foi por meio dessas atividades que os alunos sistematizaram os conhecimentos científicos discutidos nas aulas.

As atividades em grupo cumpriram um papel importante no nosso estudo. Foi através delas que pudemos observar como as interações sociais poderiam influenciar na aprendizagem do conteúdo. A simulação computacional foi a primeira atividade em grupo, ainda na fase da Problematização. O grupo pesquisado já estava familiarizado com esse tipo de ferramenta, pois a utilização de computadores pessoais em sala de aula faz parte do seu cotidiano. Para o professor que desejar replicar a ação, deverá realizar as adequações necessárias à sua realidade. Se o educador for utilizar um laboratório de informática, é necessária uma preocupação em relação à disposição espacial dos estudantes na sala durante a simulação pois o mais importante é que a atividade proporcione uma dialogicidade entre os pares e que o professor consiga motivar os educandos afim de que eles próprios formulem as respostas a partir da sua orientação como parceiro mais capaz.

No início da simulação percebemos uma tentativa, por parte de alguns grupos, de obterem uma resposta direta do professor sobre as perguntas do roteiro. Avaliamos que essa ação é fruto de uma metodologia muito praticada nas salas de aula: o aluno pergunta e o professor responde, agindo como aquele que detém o saber. Em uma prática pedagógica inspirada em Vigotski, o professor conduz a ação para que os alunos comecem a aprender. Porém, o domínio do conteúdo só se dará quando eles adquirirem ou construírem uma estrutura mental que possibilite esse domínio, o que demanda tempo e esforço dos próprios alunos. Sendo assim, coube ao professor, naquele momento, orientar os alunos no sentido de discutirem no grupo e encontrarem uma solução para o problema proposto.

Após entenderem a proposta da atividade, percebemos que as discussões fluíram e os objetivos de ensino foram alcançados com a reflexão, por parte dos estudantes, de que os conceitos científicos abordados durante a simulação necessitariam de um aprofundamento posterior.

O trabalho com o experimento físico trouxe uma maior motivação aos alunos em relação à atividade com a simulação computacional. Diferente da simulação, manipular os dispositivos em um experimento não fazia parte do cotidiano dos estudantes. Por esse motivo, a intervenção do professor foi mais contundente na primeira parte do roteiro, para proporcionar que os participantes da interação conseguissem enxergar o que deveria ser visto. Do contrário, correria o risco de haver uma empolgação em manipular os equipamentos sem conseguir chegar nas respostas pretendidas pelo professor.

Como última atividade de ensino antes da avaliação formal, o experimento também serviu para analisar a apropriação dos conceitos relativos ao Efeito Fotoelétrico. Notamos que naquele momento, os estudantes já conseguiam entender o comportamento dual da luz, responder aos questionamentos propostos no início da Sequência Didática e generalizar os conceitos para aplicá-los em outras situações cotidianas.

Para avaliar os resultados obtidos com a aplicação da Sequência Didática em termos de processos de ensino e aprendizagem foi realizado um teste escrito e individual. Através dele percebemos que a maioria dos estudantes obteve uma evolução conceitual, compreendendo que a luz teria um comportamento de onda e de partícula, aprendendo que existia uma relação entre a frequência de uma onda eletromagnética e a sua energia e realizando os cálculos básicos necessários para a obtenção das grandezas relativas ao Efeito Fotoelétrico. Notamos também uma maior dificuldade em realizar cálculos mais complexos, que exigiam manipulações matemáticas com notação científica. A nossa conclusão foi que os estudantes necessitariam de mais tempo e prática para conseguir resolver os problemas mais difíceis relativos ao tema.

A Sequência Didática teve uma duração de nove aulas de 50 minutos que, para a realidade do professor-pesquisador, equivaleu à duas semanas e meia de aulas para a turma em questão. A escolha da apresentação se deu pela facilidade de acesso à instrumentos como projetores em sala conectados à internet. Novamente, para os professores que desejarem aplicá-la, deve-se fazer as adequações à realidade vivida. Cada apresentação contou com uma sequência de atividades programadas para durarem o tempo da aula e na nossa intervenção, percebemos que o tempo foi adequado. A sequência da metodologia adotada, assim como os materiais necessários para cada aula originaram o produto educacional que está anexo a essa

dissertação. Nele, o professor que desejar replicar a sequência didática, encontrará todas as orientações assim como os slides que foram usados nas apresentações.

Durante a aplicação da Sequência Didática notamos que a metodologia proposta proporcionou uma maior interação entre o professor-pesquisador e o grupo de estudantes que foi pesquisado, além de uma participação ativa dos alunos durante a realização das aulas. Percebemos também que as aulas dialógicas e a cooperação entre pares, no experimento e na simulação, proporcionaram uma maior motivação à participação de alunos que normalmente não se expressavam em sala de aula.

Acreditamos que a utilização da Sequência Didática na 2ª série do Ensino Médio venha ocupar uma lacuna do ensino de FMC no ensino básico. A partir dos conceitos ensinados em Ondulatória, o professor poderá iniciar a discussão sobre a Natureza da Luz como uma introdução à Óptica, sem que haja uma ruptura com o que classicamente os livros didáticos já adotam. O desafio maior seria a adequação das nove aulas ao planejamento anual, visto que o conteúdo ministrado na 2ª série é extenso, pois engloba Termologia, Ondulatória e Óptica Geométrica e a carga horária semanal de Física não é satisfatória, principalmente nas escolas públicas estaduais. Cabe ao professor realizar os ajustes necessários, de acordo com o seu planejamento.

Por fim, respondendo o problema da pesquisa: É viável o estudo da Natureza da Luz através do ensino do Efeito Fotoelétrico na 2ª série do Ensino Médio, logo após o estudo de Ondulatória? Sim, é viável criar uma sequência didática que proporcione esse aprendizado, de forma dialógica, respeitando a zona de desenvolvimento proximal do aluno e com estratégias que busquem a ruptura das concepções prévias e a promoção de uma continuidade na construção do conhecimento através do pensamento científico. Tentamos produzir algo que viesse ao encontro desses preceitos e avaliamos que o resultado foi satisfatório. A partir daí, entendemos que devemos ampliar essa prática para todos os assuntos de Física no Ensino Médio, com o propósito de uma implementação de um currículo que viabilize de fato a introdução de temas relacionados às descobertas do início do século XX, sem a necessidade que os tópicos sejam colocados apenas ao final do curso. De acordo com os PCN+, é necessário que o aprendiz compreenda de forma conceitual os fenômenos tecnológicos atuais para ser capaz de identificar, interpretar e lidar com as situações do cotidiano, como “reconhecer e avaliar o desenvolvimento tecnológico

contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social” (BRASIL, 2002, p. 150). É urgente que criemos estratégias para viabilizar essa compreensão, e avaliamos que este trabalho, distante ainda de ser a solução final, apresenta uma proposta que atende as especificidades e as necessidades formativas dos sujeitos pesquisados, encorajando assim novas implementações dessa metodologia.

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS

ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S.; STUDART, N. Objetos de aprendizagem no ensino de Física: usando simulações do PhET. **Física na Escola**, v. 11, n. 1, p. 27–31, 2010.

ARAÚJO, S. M.; SILVA, F. W. O. DA. A teoria ondulatória de Huygens em livros didáticos para cursos superiores. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 2, p. 323–341, 2009.

ARTUSO, A. R.; WRUBLEWSKI, M. **Física 2**. 1ª Edição. Curitiba: Editora Positivo, 2013.

ASSIS, A. et al. Uma proposta de construção e utilização de um sensor de presença simplificado. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 809-823, 2015.

AUTH, M. A. et al. **Formação de professores de ciências naturais na perspectiva temática e unificadora**. Tese de Doutorado em Ensino de Ciências Naturais. Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

BARRETO FILHO, B.; SILVA, C. X. **Física Aula por Aula**. Mecânica: 2º ano. 2ª edição. São Paulo: FTD, 2013.

BONJORNO, J. R. *et al*. **Física: mecânica**, 2º ano. 2. ed. São Paulo: FTD, 2013.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 2000. 360 p.

BRASIL**. PCN + Ensino médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/Semtec, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ CienciasNatureza.pdf> Acesso em Mar: 2015.

BRENNAN, Richard P. **Gigantes da física: uma história da física moderna através de oito biografias**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

CARDOSO, S. O. DE O.; DICKMAN, A. G. Simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa: uma ferramenta para ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 891–934, 2012.

CATELLI, F.; LAZZARI, F. Interferência da Luz: Uma versão simplificada do espelho de Lloyd. **Física na Escola**, v. 5, n. 2, p. 20–22, 2004.

CAVALCANTE, M. A.; RODRIGUES, T. T.T.; BUENO, D. A. Controle Remoto: princípio de funcionamento (parte 1 de 2). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 554-565, 2013.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma aula sobre o efeito fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. **Física na Escola**, v. 3, n. 1, p. 24–29, 2002.

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. Espectros e modelos atômicos. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, p. 75–82, 2005.

COELHO, G. R.; BORGES, O. O entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz em um currículo recursivo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 63-87, abr. 2010.

DAVIDOVICH, L. Os quanta de luz e a ótica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, p. 1–12, 2015.

DELIZOICOV, D. et al. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. Cortez Editora, 2002.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Física.** São Paulo: Cortez, 1991

DOCA, R. H.; BISCUOLA, G. J.; VILLAS BÔAS, N. **Física 2**. 2º Edição. São Paulo: Saraiva, 2013.

ERTHAL, J. P. C.; LINHARES, M. P. Proposta de ensino de tópicos sobre radiações eletromagnéticas para o ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 247-265, ago. 2008.

ESPÍRITO SANTO (ESTADO). Secretaria da Educação. **Currículo Básico Escola Estadual - Ensino médio: área de Ciências da Natureza.** Vitória: SEDU, 2009.

FUKE, L. F.; YAMAMOTO, K. **Física para o Ensino Médio 2.** 3ª Edição. São Paulo: Saraiva, 2013.

GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de física: uma nova visão baseada na teoria de Vigotski.** São Paulo: Livraria da Física, 2014.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**. 2º Edição. São Paulo: Ática, 2013.

GEHLEN, S. T.; MALDANER, O. A.; DELIZOICOV, D. Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a educação em ciências. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 1, p. 1–22, 2012.

GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. **Física: Interação e Tecnologia**, Volume 2. 1ª edição. São Paulo: Leya, 2013.

GUERRA, A.; BRAGA, M.; REIS, J. C. Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 575-583, 2007.

GUIMARÃES, Y. A.; GIORDAN, M. Instrumento para construção e validação de sequências didáticas em um curso a distância de formação continuada de professores. **VIIII Encontro Nacional De Pesquisa em Educação em Ciências. Campinas**, 2011.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**, v.4, 2012.

KRAPAS, S. Livros didáticos: Maxwell e a transposição didática da luz como onda eletromagnética. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 564–600, 2011.

KRAPAS, S.; QUEIROZ, G. R. P. C.; UZÊDA, D. O Tratado Sobre a Luz de Huygens: comentários. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 123–151, 2011.

LORETO, É. L.; SANTOS, P. H. Simulação da visão das cores: decodificando a transdução quântica-elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 266-286, 2008.

LURIA, A. R. Nota Biográfica sobre L. S. Vygotsky In: VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente.** 7 ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

MARINELI, F.; SASSERON, L. H. A estrutura argumentativa e as características dos argumentos no texto que aborda a “nova teoria sobre luz e cores” de Isaac Newton. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 2, p. 107–124, 2014.

MARTINI, G. *et al*. **Conexões com a Física**. 2ª Edição. São Paulo: Moderna, 2013.

MARTINS, R. D. A.; SILVA, C. C. As pesquisas de Newton sobre a luz: Uma visão histórica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, p. 4202–4232, 2015.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Física Contexto e Aplicações 2**. 1ª Edição. São Paulo: Scipione, 2013.

MENEZES, L. C de *et al*. **Coleção Quanta Física**. 2ª série. 1. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

MICHA, D. N. et al. “Vendo o invisível”: experimentos de visualização do infravermelho feitos com materiais simples e de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, p. 01–06, 2011.

MOURA, B. A.; BOSS, S. L. B. Thomas Young e o resgate da teoria ondulatória da luz: Uma tradução comentada de sua Teoria Sobre Luz e Cores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, p. 4203–1–4203–24, 2015.

MOURA, B. A.; BOSS, S. L. B. Thomas Young e o resgate da teoria ondulatória da luz: Uma tradução comentada de sua Teoria Sobre Luz e Cores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, p. 4203–1–4203–24, 2015.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo desta problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Vol. 18, n. 2, p. 135-151, 2001.

PEREIRA, A. et al. Uma abordagem conceitual e fenomenológica dos postulados da física quântica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 0, p. 831–863, 2012.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em ensino de ciências.** Vol. 14, n. 3, p. 393-420, 2009.

PIETROCOLA, M. *et al*. **Física - Conceitos e Contextos**: Pessoal, Social, Histórico. 1ª Edição. São Paulo: FTD, 2013.

PIMENTEL, J. R. et al. Uma sugestão para a interação multidisciplinar: a observação do fenômeno da fluorescência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 2, p. 365-384, 2014.

PIQUEIRA, J. R. C.; CARRON, W.; GUIMARÃES, O. **Física 2**. 1ª Edição. São Paulo: Ática, 2014.

RODRIGUES, L. G. P. et al. Decodificando o código de barras. **Física na Escola**, v. 12, n. 2, p. 75–82, 2005.

SCARINCI, A. L.; MARINELI, F. O modelo ondulatório da luz como ferramenta para explicar as causas da cor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 1309, 2014.

SILVA NETTO, J.; OSTERMANN, F.; PRADO, S. D. Estratégias discursivas adotadas por professores em formação na compreensão do fenômeno da complementaridade em atividades didáticas mediadas pelo interferômetro virtual de Mach-Zehnder. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 15, n. 2, 2015.

SILVA NETTO, J.; OSTERMANN, F.; PRADO, S. D. O tema da dualidade onda-partícula na educação profissional em radiologia médica a partir da simulação do interferômetro de Mach-Zehnder. **Revista brasileira de ensino de física.** v. 33, n. 1, 10 p., 2011.

SILVA, H. R. A.; MORAES, A. G. O estudo da espectroscopia no ensino médio através de uma abordagem histórico-filosófica: possibilidade de interseção entre as disciplinas de Química e Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 378-406, 2015.

SILVA, I. Uma nova luz sobre o conceito de fóton: Para além de imagens esquizofrênicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, p. 4204–4211, 2015.

SILVA, J. A.; SOUSA, C. M. S. G. O modelo ondulatório como estratégia de promoção da evolução conceitual em tópicos sobre a luz em nível Médio. **Ciência & Educação**, v. 20, n. 1, p. 23-41, 2014.

SILVA, L. F.; ASSIS, A. Física Moderna no Ensino Médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, p. 313-324, 2012.

SILVA, N. C. Laboratório virtual de física moderna: atenuação da radiação pela matéria. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 1206-1231, 2012.

SILVA, R. S.; ERROBIDART, N. C. G. Sobre as pesquisas relacionadas ao ensino do efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 618-639, 2015.

SOUZA, L. A. et al. Discutindo a natureza ondulatória da luz e o modelo da óptica geométrica através de uma atividade experimental de baixo custo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, 2015.

STEFANOVITS, A. (Editor responsável). Obra coletiva. **Ser protagonista: Física**. 2º ano: ensino médio. 2ª Edição. São Paulo: Edições SM, 2013.

STUDART, Nelson. Uma concisa abordagem histórica e conceitual da luz e de algumas de suas aplicações: Apresentação de artigos convidados na edição comemorativa do Ano Internacional da Luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, p. 4201-1-4201-3, 2015.

TORRES, C. M. A. *et al*. **Física Ciência e tecnologia 1**. 3ª Edição. São Paulo: Moderna, 2013.

VYGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. 2 ed. São Paulo: Martins Fontes, 2009.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente.** 7 ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

VYGOTSKY, L. S. **Psicologia pedagógica**. 2 ed. São Paulo: Martins Fontes, 2004.

.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Questionário inicial

1. Em todos os lugares estamos cercados por objetos. Esses corpos que nos rodeiam fazem parte de um conjunto que denominamos “matéria”. Do ponto de vista científico, como podemos definir “matéria”?

_____

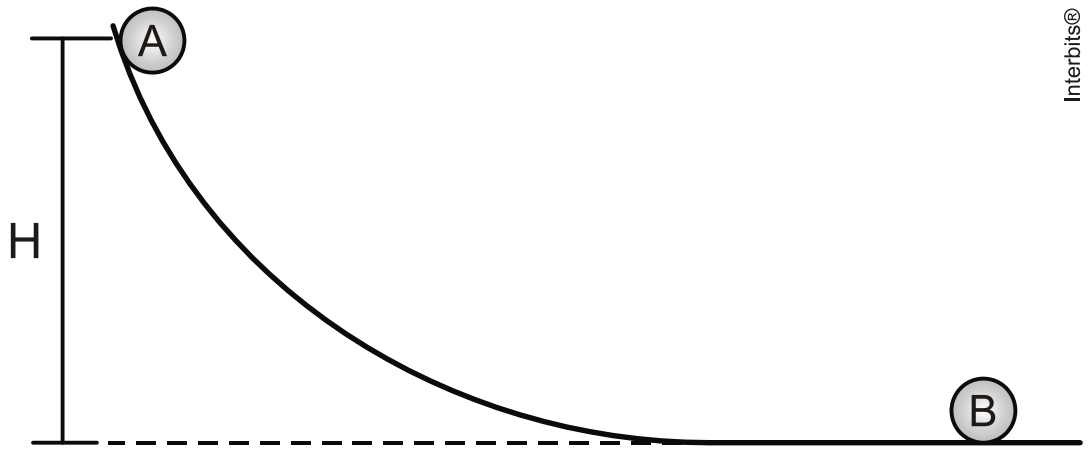
_____

2. Existem diversas grandezas físicas que, ao serem medidas, possibilitam a classificação dos corpos que nos cercam. Uma denominação muito utilizada em problemas de Física é a de “partícula”. O que você entende como “partícula”?

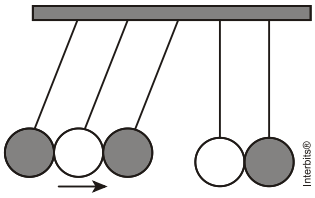
_____

_____

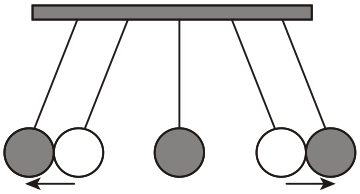
3**.** (Epcar (Afa) 2012 – Modificada) De acordo com a figura abaixo, a partícula A, ao ser abandonada de uma altura H, desce a rampa sem atritos ou resistência do ar até sofrer uma colisão, perfeitamente elástica, com a partícula B que possui o dobro da massa de A e que se encontra inicialmente em repouso. O que poderá ocorrer com as partículas após a colisão?

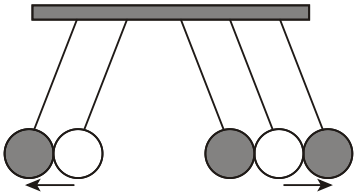


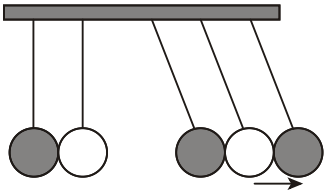
4**.** (Enem 2014) O pêndulo de Newton pode ser constituído por cinco pêndulos idênticos suspensos em um mesmo suporte. Em um dado instante, as esferas de três pêndulos são deslocadas para a esquerda e liberadas, deslocando-se para a direita e colidindo elasticamente com as outras duas esferas, que inicialmente estavam paradas.

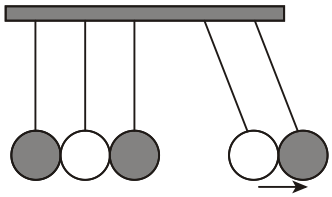


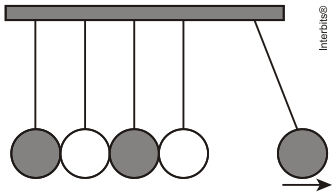
O movimento dos pêndulos após a primeira colisão está representado em:

a)


b)


c)


d)


e)


5**.** As ondas estão presentes em várias situações do nosso dia a dia e em expressões diversas, tais como: “pegar uma onda na praia” ou “navegar nas ondas da internet”. As ondas estudadas na Física, num campo denominado Ondulatória, diferem-se das relações citadas, mas tem pontos comuns. Defina "Ondas" do ponto de vista da Física.

_____

_____

_____

_____

6. Uma onda pode arrastar uma partícula? Justifique.

_____

_____

7**.** Podemos diferenciar uma onda de outra através do seu modo de vibração ou meio de propagação. Além disso, classificamos uma onda quanto à sua natureza, seja eletromagnética ou mecânica. Quais as diferenças entre esses dois tipos de ondas?

_____

_____

_____

_____

8**.** Ao se estudar o movimento ondulatório, primeiro é preciso definir alguns elementos de uma onda. Considerando um movimento periódico, ou seja, aquele cuja onda vibra da mesma forma e em intervalos regulares, quais grandezas são importantes de serem medidas em uma onda?

_____

_____

9**.** Das grandezas físicas citadas na questão anterior, qual diferencia uma onda de rádio, da luz vermelha, da luz violeta e do raio-x?

_____

10**.** Em 20 de dezembro de 2013, a ONU proclamou que 2015 seria o Ano Internacional da Luz. Mais do que uma nomeação simbólica, é nesse ano que o mundo todo terá eventos que promovem a importância e o desenvolvimento da luz, não somente como tecnologia de iluminação artificial, mas desde o brilho emitido pelas estrelas até a fibra ótica, que transmite informações mundialmente. Diante do que você já estudou, defina o que é a luz.

_____

_____

_____

11. A luz incidente nos objetos cria o efeito de cores por efeito de absorção, reflexão, dispersão ou refração. O que diferencia uma cor de outra, é a frequência emitida pelo objeto. Imagine um objeto de cor azul e outro de cor vermelha. Qual têm frequência mais alta, a luz vermelha ou azul?

_____

12. Imagine agora duas lâmpadas que emitam luz de mesma intensidade, porém uma de cor azul e a outra, de cor vermelha. Qual luz têm mais energia, a vermelha ou a azul?

_____

13. (HEWITT, 2002, p. 525) A luz ultravioleta produz queimaduras na pele, enquanto a luz visível não queima a pele, mesmo sendo de grande intensidade. Qual a razão disso?

_____

_____

_____

14**.** A incidência de uma onda eletromagnética sobre uma superfície metálica pode arrancar elétrons dessa superfície? Justifique.

_____

_____

_____

APÊNDICE B – Roteiro para a simulação computacional

ROTEIRO PARA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: INVESTIGANDO O COMPORTAMENTO DA LUZ

- OBJETIVO:

  Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação eletromagnética e a matéria através de uma simulação computacional

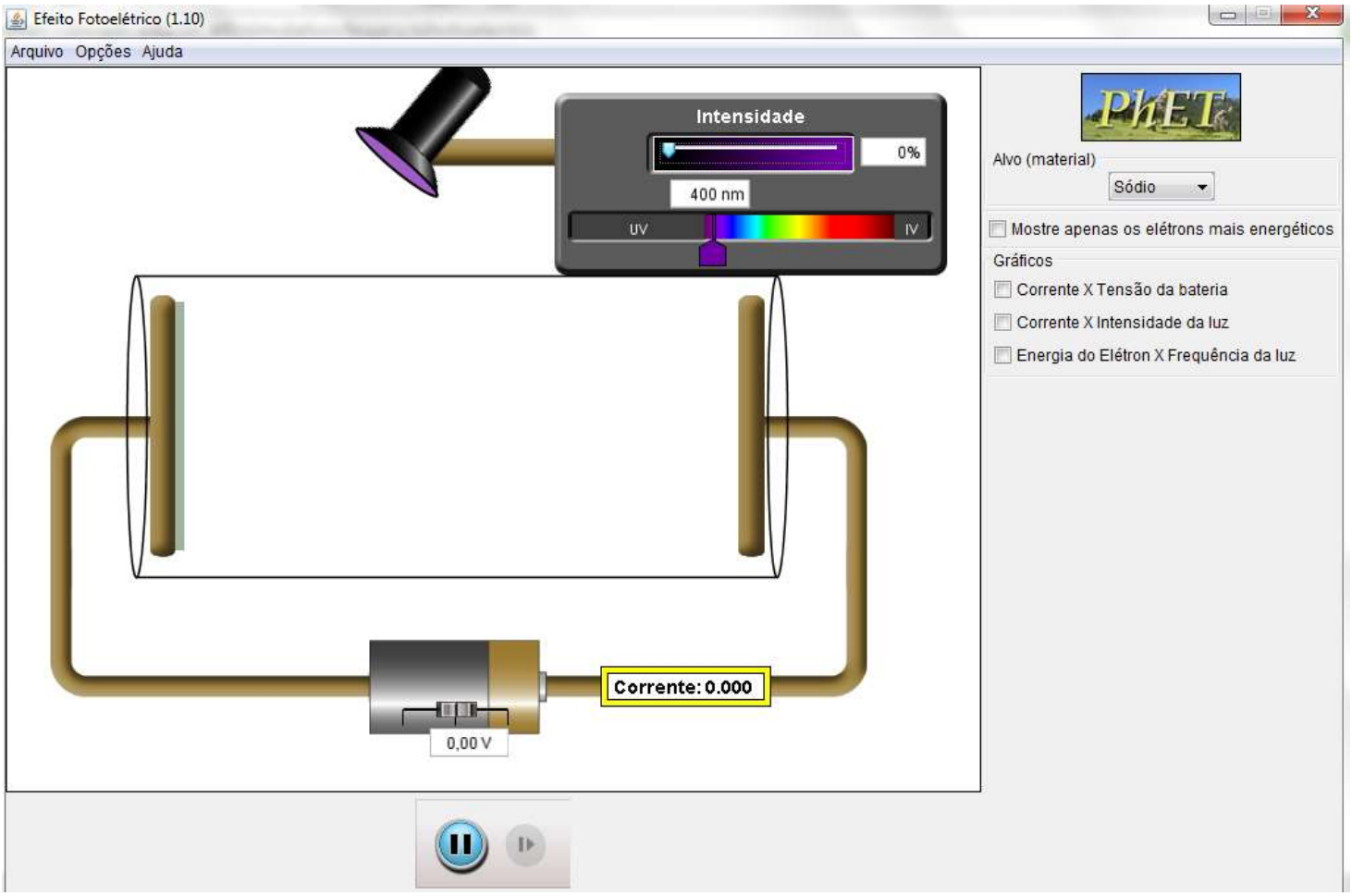
- MATERIAL UTILIZADO

  Computador ou tablet com acesso à internet.

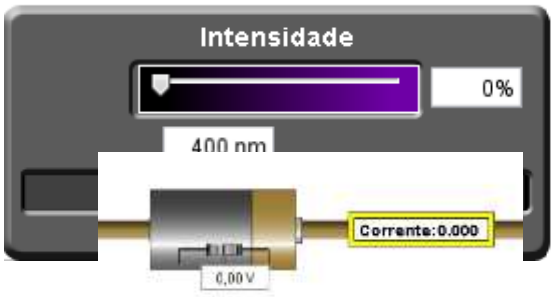
- METODOLOGIA

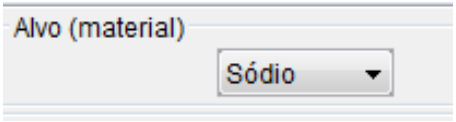
✓ Formem grupos de quatro alunos e conectem as máquinas à internet.

✓ Acessem o seguinte endereço para o simulador: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric



- ✓ Inicie a simulação com a intensidade da luz em 0%, o comprimento de onda em 400nm (faixa do violeta) e a superfície metálica de sódio. Ajuste a corrente elétrica e a tensão para zero**.**





- ✓ Aumente progressivamente a intensidade da luz para 5%, 10%, 50% e 100% e observe o que ocorre.

1. **O que acontece quando a luz atinge a placa metálica?**

2. **O que ocorre de diferente durante o aumento da intensidade luminosa?**

- ✓ Altere o comprimento de onda da luz incidente para 645 nm e aumente progressivamente a intensidade da luz. Observe o que ocorre.

3. **Nesse caso, houve emissão de elétrons? Na opinião do grupo, qual a explicação para esse fenômeno?**

4. **Considerando a velocidade da luz 3 x 10^8 m/s, calcule a frequência correspondente a esse comprimento de onda.**

- ✓ A partir de 645 nm, diminua o comprimento de onda até um valor mínimo para que ocorra a emissão de elétrons.

5. **Qual o valor encontrado? Calcule a frequência correspondente a esse comprimento de onda.**

6. **Qual conclusão do grupo em relação a esse fenômeno?**

- ✓ Altere o material da placa para o cobre e varie o comprimento de onda até o valor máximo para ocorrer emissão de elétrons.

7. **Qual o valor da frequência mínima para que ocorra a emissão?**

- ✓ Depois de determinar a frequência mínima para a ocorrência da emissão de elétrons, aumente essa frequência, alterando o comprimento de onda no simulador.

8. O que o grupo observa?

9. Qual a conclusão do grupo em relação a esse fenômeno?

✓ Diminua gradativamente a intensidade da luz.

10. O que o grupo observa?

QUESTÕES

1. Segundo a teoria ondulatória da luz, aumentando a intensidade da onda (e consequentemente sua energia) os elétrons ejetados deveriam ser mais velozes. O que o grupo observou na simulação?

_____
_____
_____

2. A partir de que momento o grupo observou uma emissão de elétrons?

_____
_____

3. Essas observações podem ser explicadas pelo modelo clássico da luz (teoria ondulatória)? Justifique.

_____
_____

4. Qual seria, na opinião do grupo, a melhor maneira para explicar o fenômeno de emissão de elétrons que ocorre na interação da radiação eletromagnética com a matéria?

_____
_____
_____
_____

5. Em relação à simulação, analise as afirmações abaixo e marque (V) para as quais o grupo achar verdadeira e (F) para as quais entenderem que é falsa.

( ) Qualquer que seja a frequência e comprimento de onda da luz incidente é possível que sejam arrancados elétrons do metal.

( ) Quaisquer que sejam a frequência, comprimento de onda e a intensidade da luz, os elétrons são emitidos com a mesma energia cinética.

( ) Quanto maior a frequência da luz de uma determinada intensidade incidindo sobre o metal, mais elétrons abandonam o metal.

( ) Quanto maior a frequência da luz de uma determinada intensidade incidindo sobre o metal, maiores são as energias com que os elétrons abandonam o metal.

( ) A emissão de elétrons ocorre independentemente da frequência da luz incidente na superfície do metal, mas é dependente de sua intensidade.

( ) Por mais intensa que seja a luz incidente, não haverá ejeção de elétrons enquanto sua frequência for menor que uma frequência mínima do metal.

( ) A energia de uma partícula de luz é diretamente proporcional à sua frequência.

6. (Enem 2013) Quando a luz branca incide em uma superfície metálica, são removidos elétrons desse material. Esse efeito é utilizado no acendimento automático das luzes nos postes de iluminação, na abertura automática das portas, no fotômetro fotográfico e em sistemas de alarme.
Esse efeito pode ser usado para fazer a transformação de energia

a) nuclear para cinética.
b) elétrica para radiante.
c) térmica para química.
d) radiante para cinética.
e) potencial para cinética.

APÊNDICE C – Roteiro para a atividade experimental

ROTEIRO EXPERIMENTAL: UTILIZANDO LED'S PARA DISCUTIR O EFEITO FOTOELÉTRICO

OBJETIVOS:

- ✓ Calcular a energia emitida por um fóton de um LED através da medida do potencial de corte.
- ✓ Determinar a frequência do fóton emitido.

MATERIAL UTILIZADO

- ✓ LED verde;
- ✓ LED azul;
- ✓ Potenciômetro (resistor variável de 1KΩ);
- ✓ Voltímetro;
- ✓ Pilhas AA de 1,5 V;
- ✓ Fios de ligação.

MONTAGEM

Duas pilhas pequenas de 1,5 V, associadas em série, fornecem uma tensão de 3,0 V. Um potenciômetro de 1KΩ permite variar a tensão que é aplicada aos LED's.

METODOLOGIA

- ✓ Gire vagarosamente o potenciômetro até acender o primeiro LED.

1. **Qual LED acendeu primeiro?**

- ✓ Gire vagarosamente o potenciômetro até acender o segundo LED.

2. Por que um LED acende primeiro que o outro?

- ✓ Retorne com o potenciômetro para a posição original para apagar os LED's. Gire o potenciômetro somente até uma posição mínima para acender o primeiro LED com o menor brilho possível. Meça com um voltímetro a tensão elétrica nos terminais do LED e anote. Repita o procedimento para o segundo LED.

3. Qual LED necessitou de uma maior tensão elétrica para acender? Explique porque isso ocorreu.

- ✓ Refaça o procedimento anterior, porém repetindo por dez vezes. O objetivo é determinar um valor médio de tensão elétrica. Coloque os valores medidos na tabela abaixo.

Verde										
Azul										

- ✓ Agora calcule o valor médio das medidas.

Tensão elétrica média LED verde = _____ Volts

Tensão elétrica média LED azul = _____ Volts

4. **De acordo com o que você aprendeu em aulas anteriores, defina o conceito de elétron-volt (eV).**

5. **Considerando que a energia mínima necessária para acender o LED é igual àquela que é liberada pelo fóton, determine, em eV, o valor dessa energia para o LED verde e para o LED azul.**

6. **Considerando a constante de Planck, h = 4,0 x 10^{-15} eV.s, calcule a frequência emitida pelo LED verde e pelo LED azul.**

7. **Faça uma pesquisa na internet sobre os valores típicos para as frequências da luz verde e da luz azul e anote no quadro abaixo. Os valores encontrados são compatíveis com os que o grupo calculou?**

QUESTÃO

Utilizando os procedimentos do experimento, como o grupo explicaria o funcionamento de um LED?

_____
_____
_____
_____
_____
_____

APÊNDICE D – Avaliação individual

Considere: h= 6,63 x 10^{-34} J.s ou h= 4,14 x 10^{-15} eV.s

c = 3,0 x 10^{8} m/s e 1 eV = 1,6 x 10^{-19} J

Imagine duas lâmpadas que emitam luz de mesma intensidade, porém uma de cor azul e a outra de cor vermelha.

1. Qual luz têm frequência mais alta, a azul ou a vermelha?

_____

2. Qual lâmpada emite luz de maior energia, a azul ou a vermelha?

_____

3. (HEWITT, 2002, p. 525) A luz ultravioleta produz queimaduras na pele, enquanto a luz visível não queima a pele, mesmo sendo de grande intensidade. Qual a razão disso?

_____

_____

4**.** A incidência de uma onda eletromagnética sobre uma superfície metálica pode arrancar elétrons dessa superfície? Justifique.

_____

_____

5. (PUC-MG) O efeito fotoelétrico consiste:

a) na existência de elétrons em uma onda eletromagnética que se propaga num meio uniforme e contínuo.

b) na possibilidade de se obter uma foto do campo elétrico quando esse campo interage com a matéria.

c) na emissão de elétrons quando uma onda eletromagnética incide em certas superfícies.

d) no fato de que a corrente elétrica em metais é formada por fótons de determinada energia.

e) na ideia de que a matéria é uma forma de energia, podendo transformar-se em

fótons ou em calor.

6. O efeito fotoelétrico tem várias aplicações no cotidiano. Diante do que você estudou, escolha uma dessas aplicações e explique o seu funcionamento com base nesse efeito.

_____

_____

_____

_____

7. Um determinado LED gera uma luz verde cujo comprimento de onda é de 550 nm. Calcule a energia correspondente a um fóton emitido por esse LED.

8. A função trabalho do zinco é 4,3 eV. Um fotoelétron do zinco é emitido com energia cinética máxima de 4,2 eV. Qual a frequência do fóton incidente que emitiu aquele fotoelétron?

9. (Ufjf) Um feixe de luz laser, de comprimento de onda λ = 400 nm, tem intensidade luminosa I = 100 W/m^2. De acordo com o modelo corpuscular da radiação, proposto por Einstein, em 1905, para explicar fenômenos da interação da radiação com a matéria, a luz é formada por quanta de energias denominados fótons. Usando como base esse modelo quântico da luz, calcule:

a) a energia de cada fóton do feixe de luz laser.

b) a energia que incide sobre uma área de 1 cm^2 perpendicular ao feixe durante um intervalo de tempo de 1,0 s.

c) o número de fótons que atingem essa área durante esse intervalo de tempo.

APÊNDICE E – Termo de consentimento livre e esclarecido -TCLE

Universidade Federal do Espírito Santo
Centro de Ciências Exatas
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – Polo 12 – UFES

Prezado (a) responsável pelo aluno (a) _____ da 2ª Série do Ensino Médio do Colégio Salesiano Jardim Camburi. O aluno (a) está sendo convidado (a) para participar, como voluntário, em uma pesquisa. Após ser esclarecido (a) sobre as informações a seguir, no caso de autorizar o (a) estudante fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é da coordenação da pesquisa.

A pesquisa "**O ESTUDO DA NATUREZA DA LUZ: UMA INTRODUÇÃO À FÍSICA QUÂNTICA NA 2ª SÉRIE DO ENSINO MÉDIO"** será desenvolvida por pesquisadores do Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física vinculado à Sociedade Brasileira de Física e ofertado em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo (MNPEF - Polo 12 - Ufes), sob a coordenação dos seguintes pesquisadores:

João Paulo Casaro Erthal – jperthal@gmail.com – Professor Orientador

Leonardo Pereira Gama – professorleonardogama@gmail.com – Mestrando do Programa

Trata-se de uma pesquisa que tem como objetivo investigar a viabilidade da inserção do ensino da Teoria Corpuscular da Luz na 2ª série do Ensino Médio através da aplicação de uma Sequência Didática. Como instrumento de coleta de dados utilizaremos um questionário inicial, registros em áudio e vídeo da realização das atividades, uma simulação computacional e um experimento de baixo custo sobre o Efeito Fotoelétrico, além de uma avaliação tradicional. Os dados coletados serão todos tratados e analisados.

Esclarecemos que, em nenhum momento, divulgaremos os dados pessoais do aluno (nome, imagem e outros) sem sua prévia autorização, garantindo assim o sigilo dos

dados coletados. Afirmamos que os instrumentos de pesquisa foram elaborados conforme as orientações da Resolução CNS nº 196, de 10 de outubro de 1996 (disponível em: http://www.cefetes.br/pse/prppg/comites/) e seus dados servem somente para fins de pesquisa.

Antecipadamente agradecemos a contribuição e colocamo-nos à disposição para os esclarecimentos que se fizerem necessários.

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO

Eu, _____, RG/CPF/n.º_____, responsável legal pelo aluno (a) _____, abaixo assinado, autorizo a participação na pesquisa "**O ESTUDO DA NATUREZA DA LUZ: UMA INTRODUÇÃO À FÍSICA QUÂNTICA NA 2ª SÉRIE DO ENSINO MÉDIO"** desenvolvida por pesquisadores vinculados ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF – Polo 12 – Ufes). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelos pesquisadores sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes da participação do (a) estudante. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade ao aluno.

_____, _____ de _____ de 2015

_____

Assinatura

APÊNDICE F – Produto da dissertação

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

www.ensinodefisica.ufes.br

http://www.sbfisica.org.br/~mnpef/

LEONARDO PEREIRA GAMA

JOÃO PAULO CASARO ERTHAL

O ESTUDO DA NATUREZA DA LUZ: UMA INTRODUÇÃO À FÍSICA QUÂNTICA NA 2ª SÉRIE DO ENSINO MÉDIO

Vitória – ES

Novembro - 2016

Sumário

Apresentação 7

Aula 1 da SD.....8

Aula 2 da SD.....17

Aula 3 da SD.....21

Roteiro da simulação computacional.....22

Aulas 4 e 5 da SD 28

Aulas 6 e 7 da SD.....36

Aulas 8 e 9 da SD.....39

Orientações para montagem do experimento.....42

Relatório do experimento.....44

Referências 49

APRESENTAÇÃO

Neste manual o professor encontrará as instruções necessárias para a utilização da Sequência Didática (SD) ***Introdução da Natureza da Luz***. A sequência é o produto referente à conclusão do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo – MNPEF – Polo 12 – UFES.

O objetivo desta SD é inserir o ensino da Teoria Corpuscular da Luz na 2ª série do Ensino Médio. Buscamos, com essa abordagem, levar o estudante a compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria, instigando a ligação com os conceitos clássicos de Óptica e Ondulatória que tradicionalmente são ministrados durante o ano. Acreditamos que possamos assim fomentar a discussão da efetiva inserção do estudo da Física Moderna durante o Ensino Médio.

A metodologia adotada priorizou uma prática pedagógica baseada nos preceitos da teoria de Vigotski (2004, 2007, 2009), apoiando-se na promoção de interações sociais nas quais o professor, como parceiro mais capaz, tem como função primaz a orientação da conduta dos seus educandos, respeitando os limites cognitivos, motivando-os a querer aprender e deixando-se imitar para que eles começassem a aprender. Para isso, escolhemos como estratégica pedagógica as etapas da **Situação de Estudo** (GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012).

A SD foi dividida em 9 aulas, de 50 minutos cada, e apresentada através de projeção de *slides*. Ela foi elaborada para ser aplicada na 2ª série do Ensino Médio, **após o estudo de Ondulatória**. O professor que desejar replicá-la deverá contar com acesso à instrumentos como projetores conectados à internet, podendo realizar as adequações necessárias à sua realidade. O essencial é que as aulas sejam dialógicas, com intensa participação dos alunos.

As apresentações foram elaboradas com base nas etapas da **Situação de Estudo**, como mostra a Figura 1.

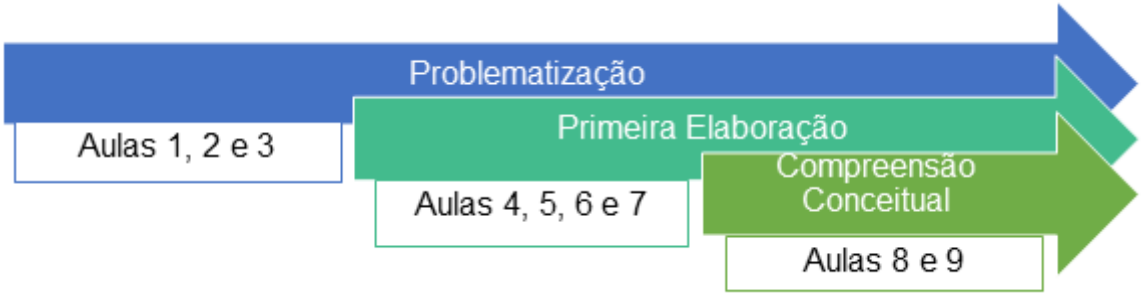


Figura 1: Etapas da Situação de Estudo e estruturação da Sequência Didática.

Para facilitar o acesso, as aulas da SD estão disponibilizadas no endereço eletrônico:

https://sites.google.com/site/luzparticulaonda

Esperamos, com essa Sequência Didática, contribuir com os professores que desejam implementar temas referentes à introdução da Física Quântica durante o Ensino Médio, principalmente na 2ª série, onde os assuntos de Ondulatória e Óptica são tradicionalmente abordados.

A seguir o professor encontrará as aulas da SD distribuídas por slides, assim como as orientações para o seu desenvolvimento.

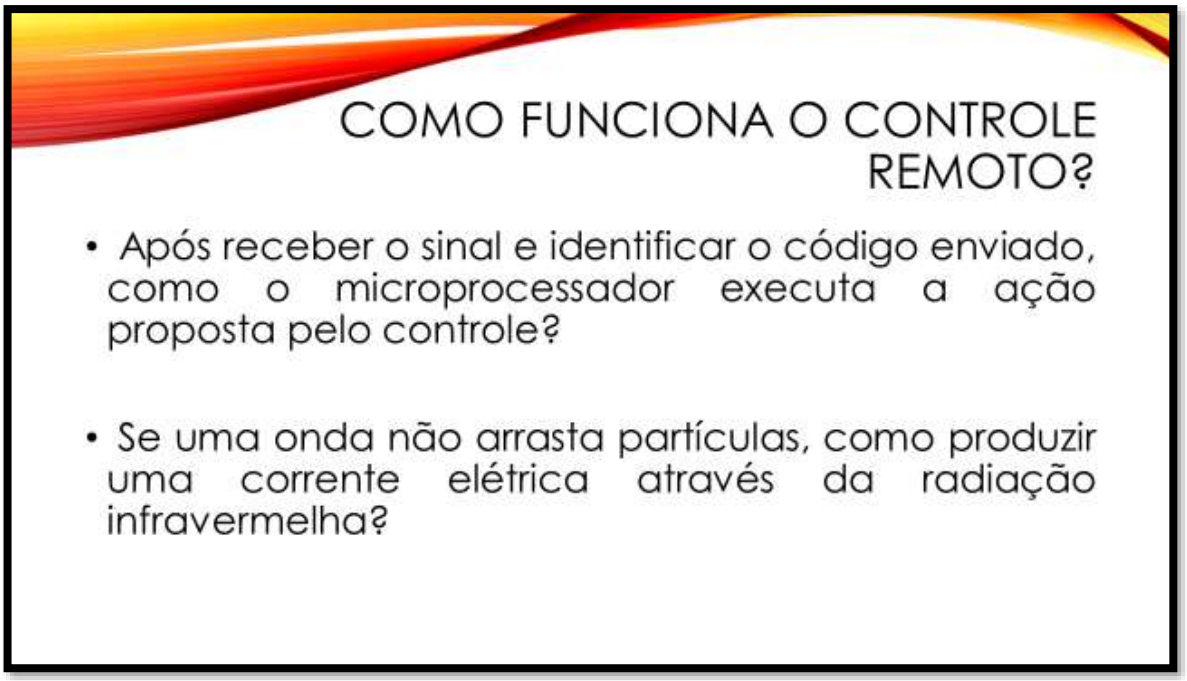
1. Aula 1 da SD

Inicialmente, explique o objetivo da aula. Enfatize a duração da sequência, relatando as diversas atividades que serão realizadas ao longo desse período. Não se aprofunde nos detalhes das atividades futuras mas crie uma expectativa boa. Isso fará com que os alunos entendam os motivos que os levarão à aprendizagem do conteúdo. Ainda nessa tela, pergunte para os alunos: o que é a luz? Conforme as respostas, relembre o conceito de luz como onda eletromagnética e recorde as suas características de acordo com o estudo em Ondulatória. Aproveite para relembrar o espectro eletromagnético. Essa é a aula introdutória ao estudo da Óptica. Sendo assim, enfatize com seus alunos que, mesmo sendo uma onda eletromagnética, a luz possui outras características e por isso um ela requer um estudo próprio. Após isso, passe para o próximo slide.

Inicie a primeira aula com uma questão: Como funciona o controle remoto? A pergunta busca explicitar o primeiro entendimento que o aluno possui sobre o funcionamento dessa tecnologia e a partir daí, criar a necessidade de estudos para compreender a demanda colocada. Após a pergunta, escute as respostas dos alunos e inicie um diálogo. Pode-se, também, com um controle remoto em mãos, mostrar a percepção da radiação infravermelha do LED através da câmera do celular. Se for realizar esse experimento, peça um aluno para que venha à frente e mostre para os colegas o efeito

*na câmera no celular dele. Essa etapa é denominada **Problematização** e tem a função de trazer um problema que está presente na vivência dos estudantes, em que a sua solução necessita de novas representações conceituais, sendo esse o primeiro passo da significação conceitual. Ao abordar, em sala de aula, situações já experimentadas pelos alunos, há a possibilidade desses interagirem com o objeto de estudo e com o professor, o que pode favorecer a aprendizagem.*

Convide um aluno para ler o texto em voz alta. Após a leitura, repasse os pontos mais importantes do texto e pergunte se existe algum trecho que não ficou claro.



Resposta da primeira pergunta: "Estes sensores são pequenos dispositivos que funcionam como uma matriz 2D com milhões de pequenas células solares de modo que cada uma destas células transforma luz em carga elétrica. A carga acumulada em cada pixel (Pix é a abreviatura em inglês para Picture; que corresponde ao menor "ponto" de uma imagem digital) deve ser transportada pelo chip e um conversor analógico digital transforma o seu valor em uma grandeza digital que é então processada e transformada em imagem (CAVALCANTE; RODRIGUES; BUENO 2013).

A segunda pergunta serve para a introdução ao Efeito Fotoelétrico. Não deverá ser explicada pelo professor nesse momento. Retomaremos a questão mais adiante.

Na segunda parte da aula realize um breve histórico tendo como base os cientistas que discutiram a Natureza da Luz. Enfatize a evolução conceitual sobre a Natureza da Luz ao longo dos séculos com o objetivo de levar o estudante a apropriar-se do conhecimento historicamente produzido. A significação conceitual é uma construção social e histórica, sendo por meio da assimilação dessa construção e pela interação social que o indivíduo se desenvolve cognitivamente (VIGOTSKI, 2007).

Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Lucrecio Acesso em 27 julho. 2015

Disponível em: https://www.academia.edu/14172126/A_%C3%93ptica_de_Ibn_al-Haytham_1.000_anos_de_luz._Roberto_de_Andrade_Martins Acesso em 27 julho. 2015

Fonte: BRENNAN, 1998

CHRISTIAAN HUYGENS

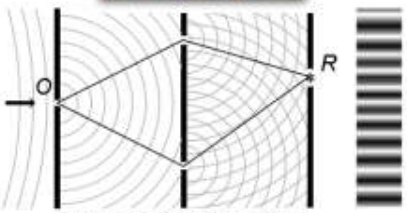
Cientista holandês que, em 1690, publica os seus estudos sobre a natureza da luz no livro "Tratado sobre a luz". Nele, defende que a luz é uma onda e , sendo assim, necessitaria de um meio de propagação, intitulado "éter". Como Newton discordava, foi criado um debate científico que somente anos depois obteve comprovações experimentais.

http://curiosidades.bateriga.com/files/curiosidades.bateriga.com/files/imagecache/cc/wiki/La-teoria-ondulatoria-1.jpg

Fonte: BRENNAN, 1998

THOMAS YOUNG

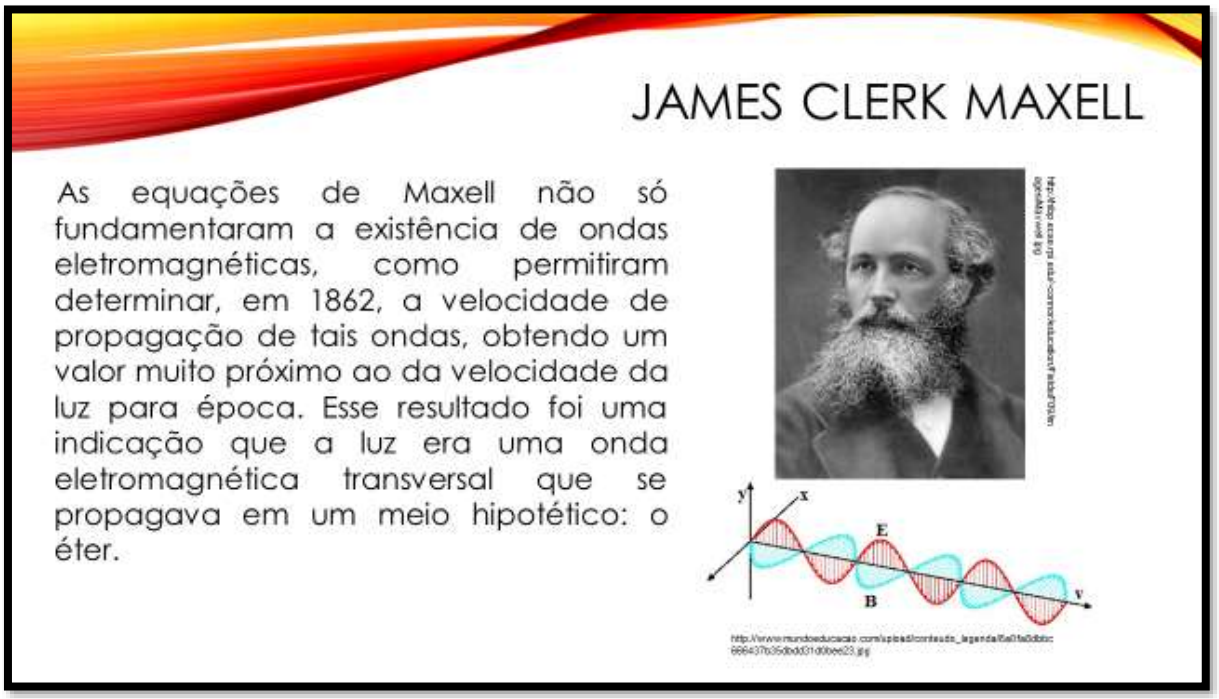
Em 1800, o Físico britânico Thomas Young realiza a experiência da dupla fenda , que se torna um ponto de virada crucial na história da ciência, pois prova após um século de debates , que a luz não era composta de partículas, mas existia na forma de onda. Os trabalhos de Young e outros forçaram gradualmente a aceitação da teoria das ondas para a luz, e a teoria corpuscular foi finalmente abandonada por volta de 1830.



http://www2.ufcl.com.br/nyweblan/figuras/yaccp17.gif

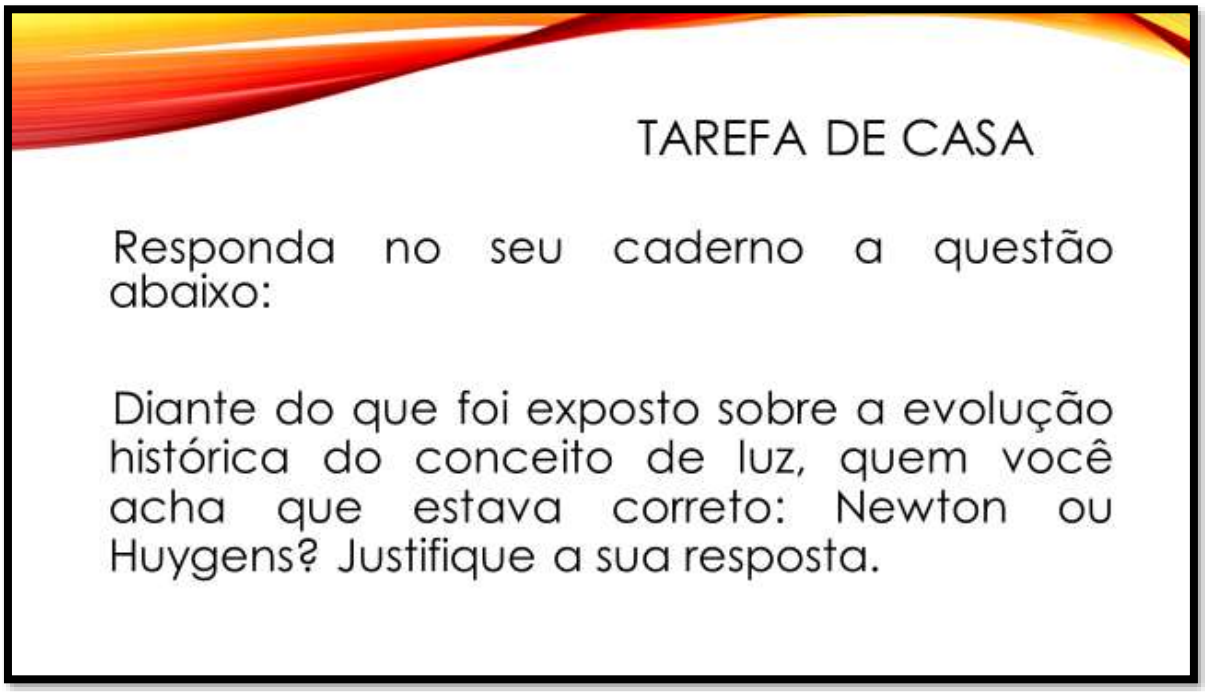
Fonte: BRENNAN, 1998

Fonte: GASPAR, 2014



Fonte: GASPAR, 2014

Nesse momento explique que a teoria ondulatória não estabelece nenhuma relação entre a frequência de uma onda e a energia que ela transporta e que a conclusão dos experimentos de Hertz levou os físicos da época a dois impasses: ou a teoria ondulatória estava errada ou a propagação eletromagnética não era um fenômeno ondulatório. Não mencionar ainda o efeito fotoelétrico.

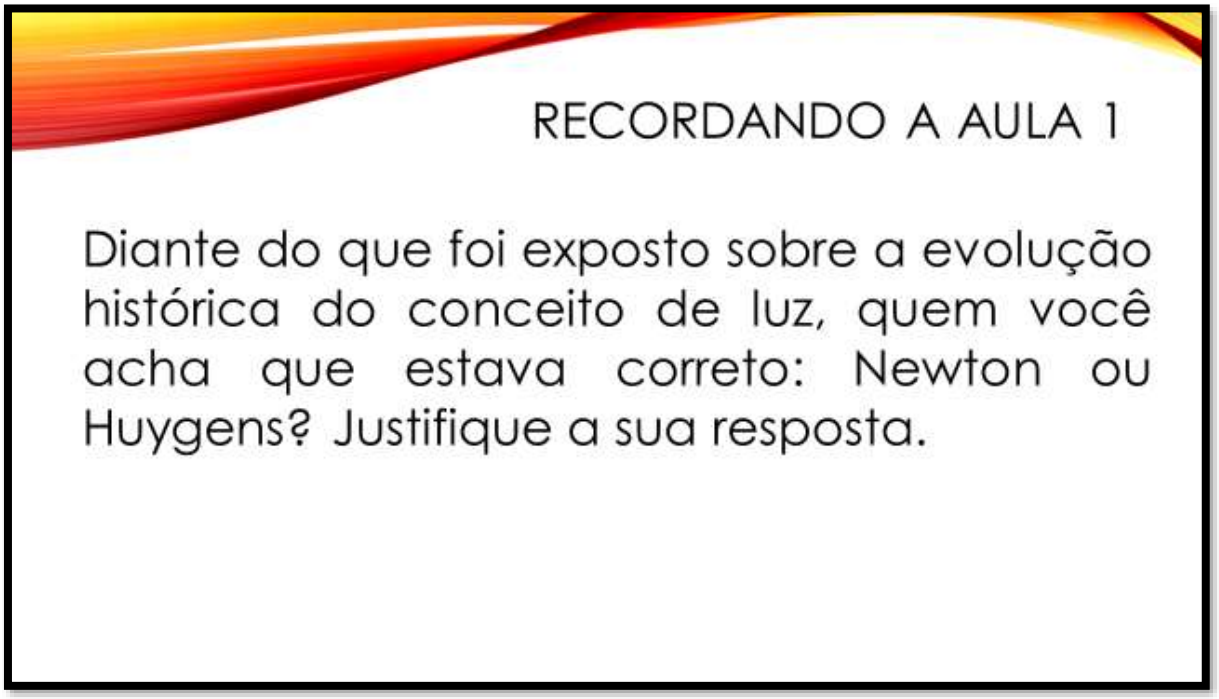


Essa atividade tem como função direcionar o estudante para questões que envolvem um aprofundamento sobre as situações apresentadas na primeira etapa – ***Problematização****.*

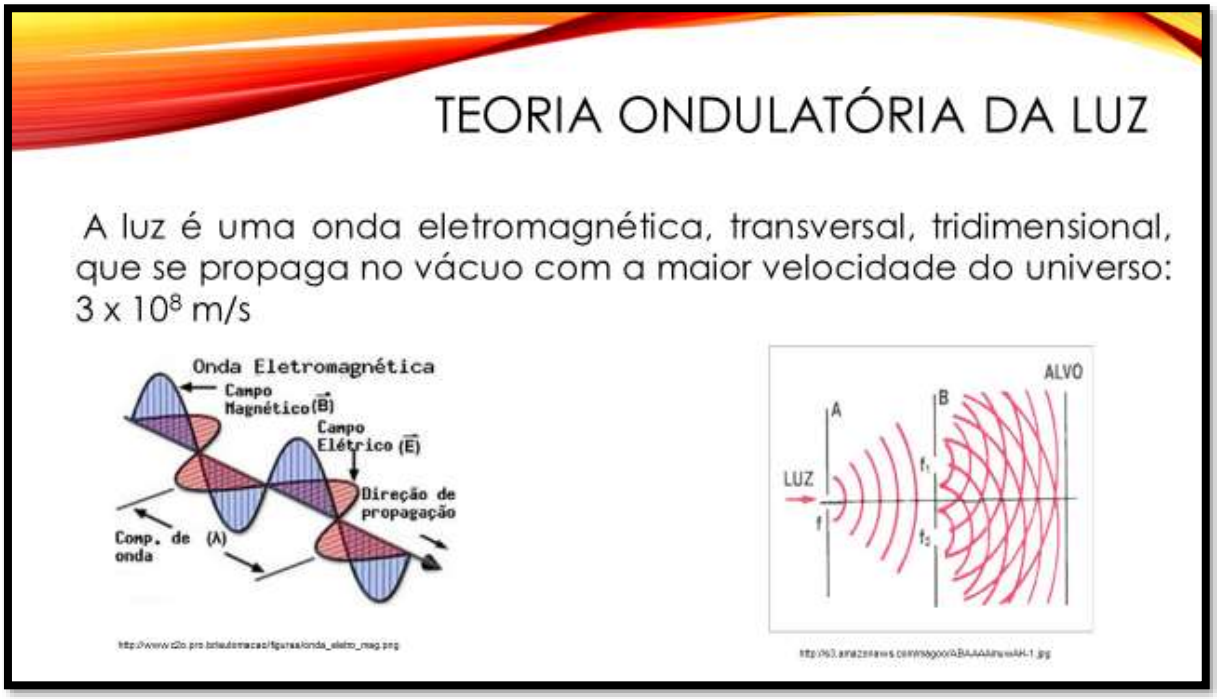
Encerre a aula incentivando os alunos a pesquisarem outros textos para responder a pergunta. A discussão será retomada na próxima aula.

2. Aula 2 da SD

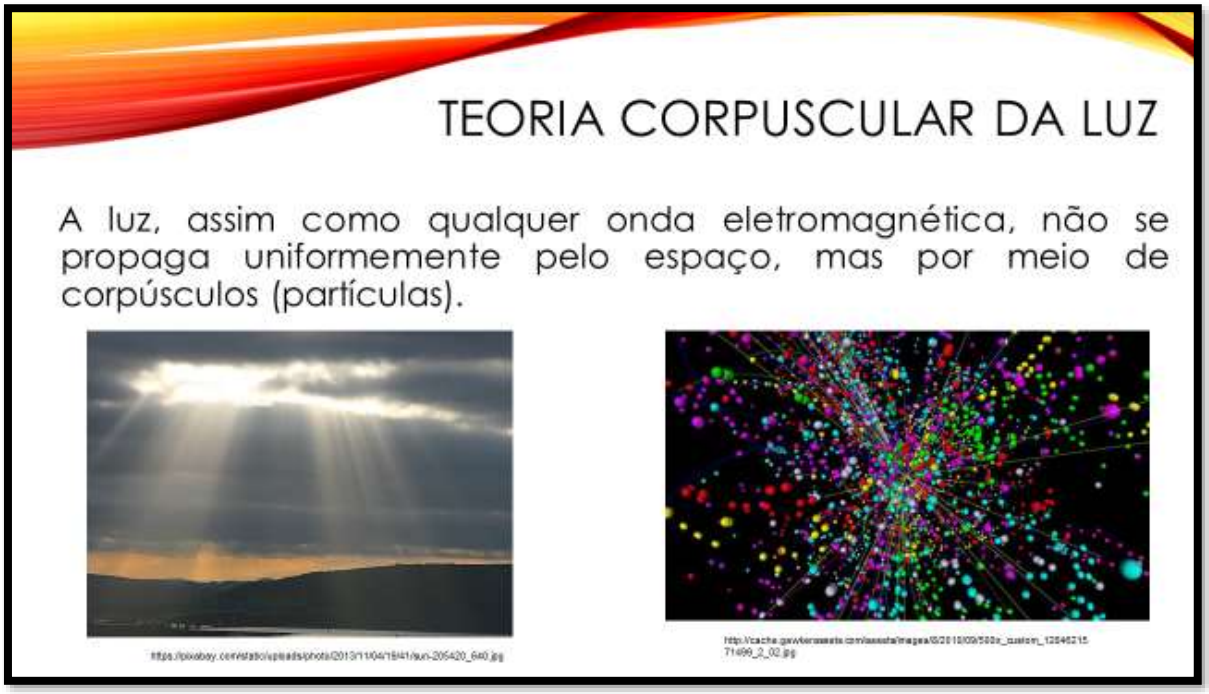
Nessa aula retome a discussão histórica sobre a natureza da luz, aprofunde a explicação sobre a teoria ondulatória e a corpuscular e introduza a realização da simulação computacional, dividindo os grupos e listando os requisitos necessários para a realização da tarefa.



Retome a pergunta que foi proposta para casa e realize de um pequeno debate, proporcionando a dialogicidade e o levantamento do conhecimento dos alunos. Faça um contraponto na discussão, indagando como que, na Natureza, algo pode ter dois comportamentos tão diferentes como ocorre com a luz.



De acordo com a discussão anterior, aprofunde sobre o tema, destacando na figura da esquerda o modelo ondulatório da luz e relembrando através da figura da direita a experiência de Thomas Young.



Retome as observações de Hertz, explicando novamente o funcionamento do experimento que originou as suas conclusões. Destaque a diferença entre o comportamento ondulatório e o corpuscular da luz. Por fim, conclua que a luz como onda não conseguiria mover uma partícula, mas agindo como partícula ela poderia mover outras através de uma colisão.

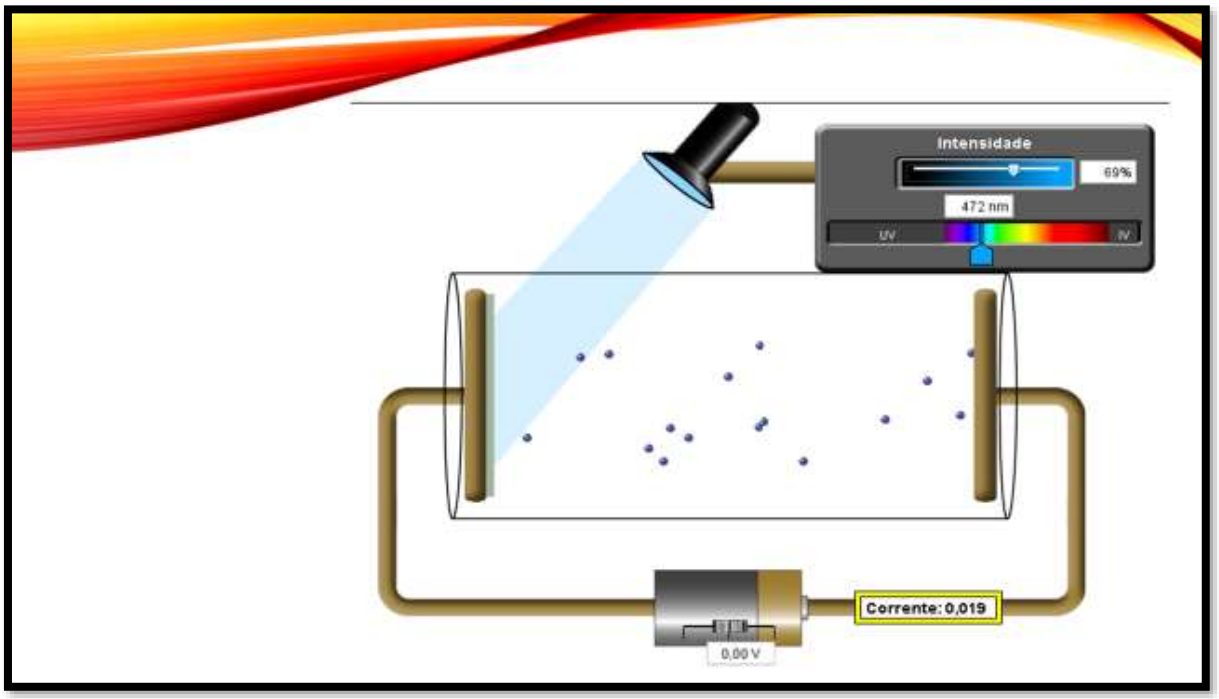
Retome a discussão abordando o Método Científico. Relate que na Ciência, uma das maneiras de se chegar a conclusões sobre os fenômenos é através da observação de experimentos. No caso da luz, a história mostrou que existiram experimentos que evidenciaram a luz como onda e outros que mostraram que ela age como partícula, tendo, portanto, um comportamento dual.

Nesse momento explique o projeto de simulação do PhET, deixando claro que a simulação computacional difere de um experimento real, principalmente na análise de erros, mas é um poderoso instrumento para a investigação de um fenômeno. Organize os alunos para a atividade, dividindo-os em grupos de quatro integrantes e estabeleça qual deles irá trazer o computador para a próxima aula. A simulação também poderá ser realizada no laboratório de informática da escola. Se a sala de aula possuir internet, abra a página da simulação para os alunos e explique como baixar o programa, pré-requisito para a realização da simulação. Se não houver essa possibilidade, passe o endereço para que os alunos realizem essa tarefa em casa. Importante frisar que o programa deve ser baixado antes da próxima aula. Endereço: (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric)

A próxima aula será para a realização da simulação.

3. Aula 3 da SD

A terceira aula inicia-se com os grupos de quatro estudantes distribuídos na sala e com os computadores ligados. O roteiro para a realização da tarefa deve ser distribuído para cada aluno e os objetivos, o material utilizado e a metodologia devem ser lidos em voz alta e, após sanadas as dúvidas preliminares, os estudantes devem dar início à simulação.



O professor utilizará esse slide somente para listar os componentes principais do simulador, sem explicar o seu funcionamento.

3.1 Roteiro da simulação computacional

ROTEIRO EXPERIMENTAL: INVESTIGANDO O COMPORTAMENTO DA LUZ

ALUNO: _____

O roteiro para a realização da tarefa deve ser distribuído para cada aluno. O professor deve conferir se o simulador está instalado em todos os computadores. O endereço da simulação na internet é https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric *. Os objetivos, o material utilizado e a metodologia devem ser lidos em voz alta e, após sanadas as dúvidas preliminares, os estudantes devem dar início à simulação.*

- OBJETIVO:

Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação eletromagnética e a matéria através de uma simulação computacional.

- MATERIAL UTILIZADO

Computador ou tablet com a simulação instalada.

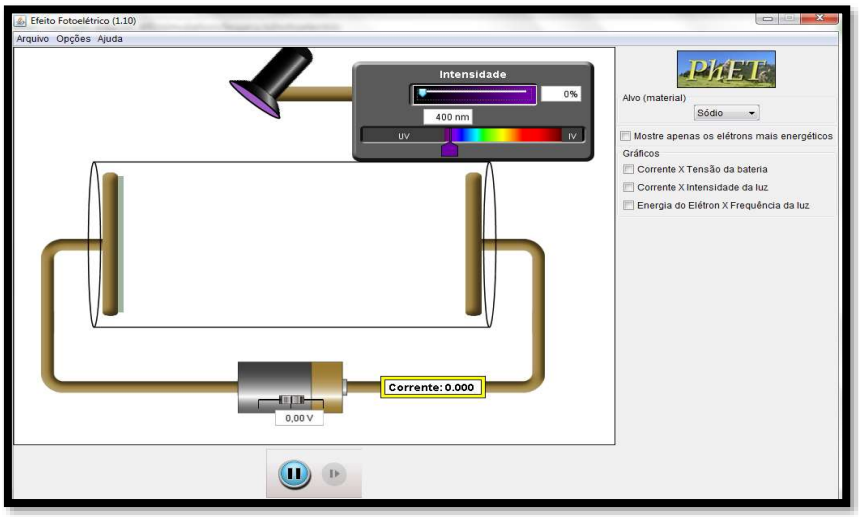
Os alunos deverão previamente baixar o programa nos seus computadores. A simulação também poderá ser realizada no laboratório de informática da escola.

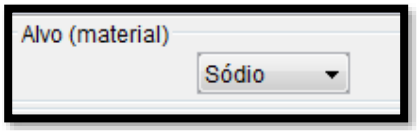
.

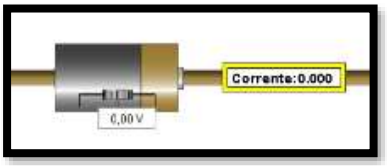
- METODOLOGIA

✓ Formem grupos de quatro alunos e acessem o simulador no computador através do ícone:

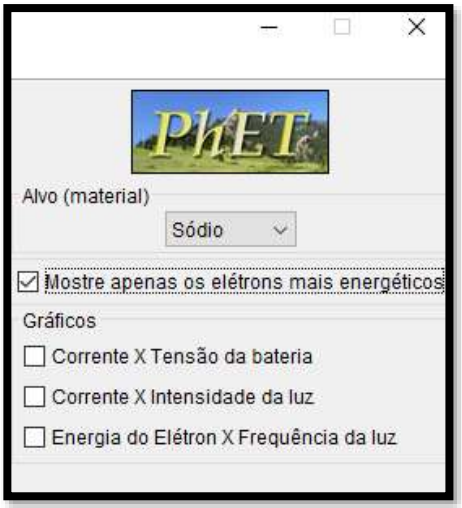
- ✓ Inicie a simulação com a intensidade da luz em 0%, o comprimento de onda em 400nm (faixa do violeta) e a superfície metálica de sódio. Ajuste a corrente elétrica e a tensão para zero.







- ✓ Marque a opção “ Mostre apenas os elétrons mais energéticos”.



- ✓ Aumente progressivamente a intensidade da luz para 5%, 10%, 50% e 100%.Observe o que ocorre.

11. O que acontece quando a luz atinge a placa metálica?

12. O que ocorre de diferente durante o aumento da intensidade luminosa?

- ✓ Altere o comprimento de onda da luz incidente para 645 nm e aumente progressivamente a intensidade da luz. Observe o que ocorre.

13. Nesse caso, houve emissão de elétrons? Na opinião do grupo, qual a explicação para esse fenômeno?

14. Considerando a velocidade da luz 3 x 10^8 m/s, calcule a frequência correspondente a esse comprimento de onda.

- ✓ A partir de 645 nm, diminua o comprimento de onda até um valor mínimo para que ocorra a emissão de elétrons.

15. Qual o valor encontrado? Calcule a frequência correspondente a esse comprimento de onda.

16. Qual conclusão do grupo em relação a esse fenômeno?

- ✓ Altere o material da placa para o cobre e varie o comprimento de onda até o valor máximo para ocorrer emissão de elétrons.

17. Qual o valor da frequência mínima para que ocorra a emissão?

- ✓ Depois de determinar a frequência mínima para a ocorrência da emissão de elétrons, aumente essa frequência, alterando o comprimento de onda no simulador.

18. O que o grupo observa?

19. Qual a conclusão do grupo em relação a esse fenômeno?

- ✓ Diminua gradativamente a intensidade da luz.

20. O que o grupo observa?

QUESTÕES

7. Segundo a teoria ondulatória da luz, aumentando a intensidade da onda (e consequentemente sua energia) os elétrons ejetados deveriam ser mais velozes. O que o grupo observou na simulação?

_____
_____
_____

8. A partir de que momento o grupo observou uma emissão de elétrons?

_____
_____

9. Essas observações podem ser explicadas pelo modelo clássico da luz (teoria ondulatória)? Justifique.

_____
_____
_____
_____
_____

10. Qual seria, na opinião do grupo, a melhor maneira para explicar o fenômeno de emissão de elétrons que ocorre na interação da radiação eletromagnética com a matéria?

_____
_____
_____
_____
_____

11. Em relação à simulação, analise as afirmações abaixo e marque (V) para as quais o grupo achar verdadeira e (F) para as quais entenderem que é falsa.

( ) Qualquer que seja a frequência e comprimento de onda da luz incidente é possível que sejam arrancados elétrons do metal.

( ) Quaisquer que sejam a frequência, comprimento de onda e a intensidade da luz, os elétrons são emitidos com a mesma energia cinética.

( ) Quanto maior a frequência da luz de uma determinada intensidade incidindo sobre o metal, mais elétrons abandonam o metal.

( ) Quanto maior a frequência da luz de uma determinada intensidade incidindo sobre o metal, maiores são as energias com que os elétrons abandonam o metal.

( ) A emissão de elétrons ocorre independentemente da frequência da luz incidente na superfície do metal, mas é dependente de sua intensidade.

( ) Por mais intensa que seja a luz incidente, não haverá ejeção de elétrons enquanto sua frequência for menor que uma frequência mínima do metal.

( ) A energia de uma partícula de luz é diretamente proporcional à sua frequência.

12. (Enem 2013) Quando a luz branca incide em uma superfície metálica, são removidos elétrons desse material. Esse efeito é utilizado no acendimento automático das luzes nos postes de iluminação, na abertura automática das portas, no fotômetro fotográfico e em sistemas de alarme.

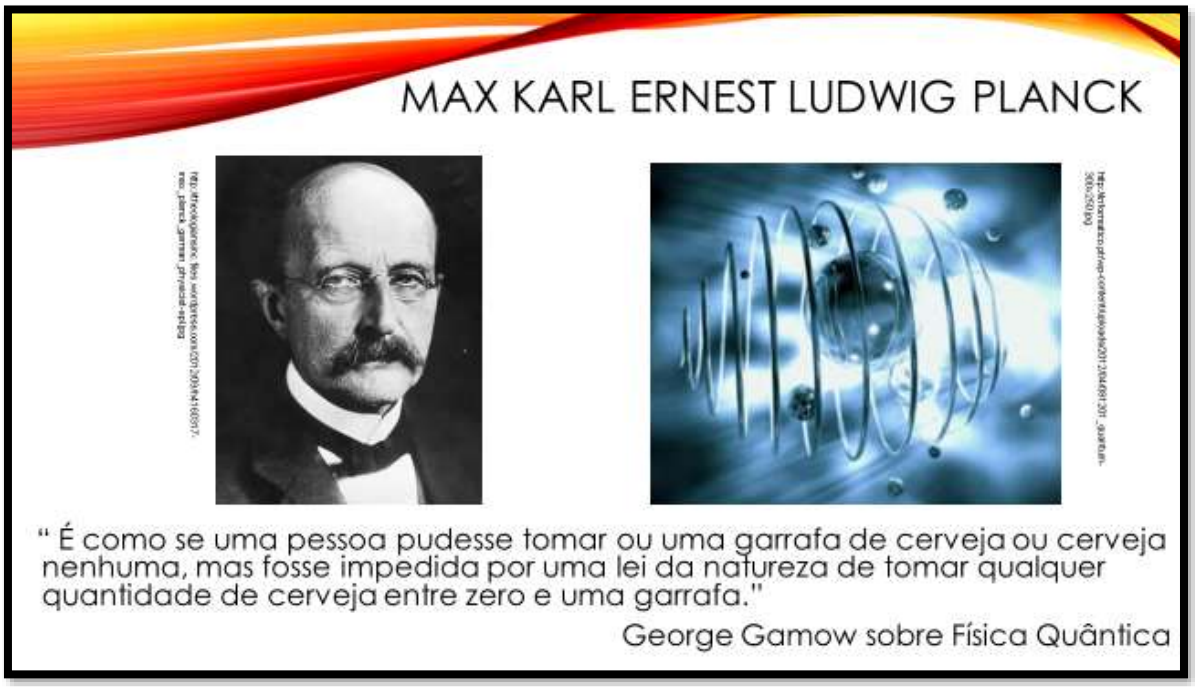
Esse efeito pode ser usado para fazer a transformação de energia

a) nuclear para cinética.
b) elétrica para radiante.
c) térmica para química.
d) radiante para cinética.
e) potencial para cinética.

4. Aulas 4 e 5 da SD

A quarta e quinta aulas, assim como a sexta e a sétima, compõe a segunda etapa na Situação de Estudo, denominada de ***Primeira Elaboração****. É nesse momento que se constrói um estudo sistemático dos conhecimentos envolvidos na etapa da* ***Problematização****. Essa compreensão está em sintonia com base vigotskiana, no sentido de que o conhecimento não é construído espontaneamente, mas em processos intersubjetivos relacionados ao enfrentamento de problemas comuns, o que remete para a necessidade de o professor introduzir conhecimentos específicos.*

Inicie a aula retomando os conceitos científicos estudados e acrescentando outros através do vídeo, cujo endereço é https://youtu.be/-ceQ42fF9o8. No contexto do documentário, explique a Teoria dos Quanta de Max Planck e como Albert Einstein a utilizou para entender o Efeito Fotoelétrico. O tempo de duração do vídeo é de 10 minutos. Faça paradas estratégicas na execução do documentário para frisar os pontos que julgar mais importantes.



Faça um breve resumo sobre a biografia de Max Planck destacando a criação de uma nova ciência: A Física Quântica.

Aprofunde os pontos principais da Teoria dos Quanta relembrando a explicação dada no vídeo.

TEORIA DOS QUANTA

- A energia contida nas radiações eletromagnéticas emanadas de um átomo, não é emitida de modo contínuo, mas em forma de minúsculos "pacotes" discretos.
- Esses pacotes foram batizados de fótons pelo físico-químico americano Gilbert Lewis.
- Cada fóton contém uma quantidade bem definida de energia denominada quantum de energia.

A energia de um fóton de radiação eletromagnética de frequência f é dada por:

$$E = h.f$$

Onde:

E = energia de um fóton (J ou eV)

h= constante de Planck

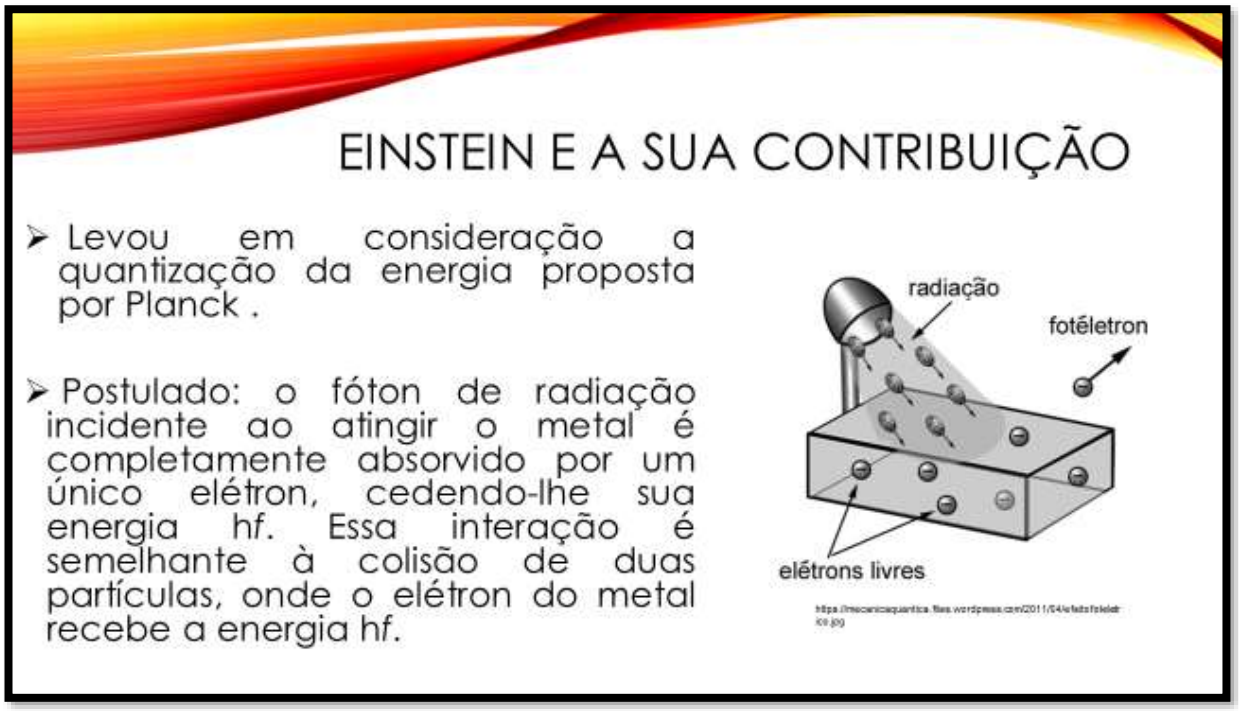
(h= $6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s ou h= $4{,}14 \times 10^{-15}$ eV.s)

f = frequência da radiação (Hz)

✓ 1 eV (elétron-volt) equivale à energia que é adquirida por um elétron quando submetido à uma tensão elétrica de 1 volt. 1 eV = $1{,}6 \times 10^{-19}$ J

É importante o professor destacar que a energia do fóton é diretamente proporcional à frequência e que a mesma se apresenta de modo discreto.

A figura de Albert Einstein fascina a maioria dos estudantes. Convém o professor dedicar-se a um breve relato das contribuições de Einstein para a ciência.

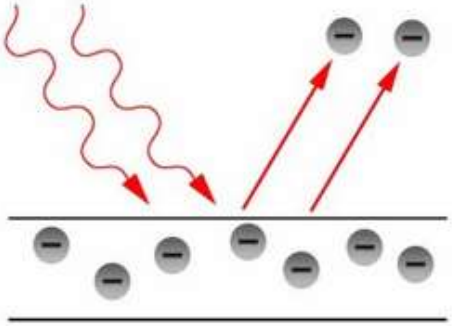


- ✓ Para que o elétron consiga escapar é necessário que receba uma quantidade mínima de energia;
- ✓ A energia mínima para esse elétron escapar depende do tipo de metal onde está incidindo-se radiação;
- ✓ A energia mínima para que ocorra o efeito fotoelétrico é denominada de função trabalho (ϕ), que é característico de cada metal.

METAL	Φ (eV)
Sódio	2,28
Alumínio	4,08
Zinco	4,31
Ferro	4,50
Cobre	4,70
Prata	4,73

- ✓ Quando o elétron recebe energia hf, essa deve ser igual ou superior a função trabalho (ϕ) para que o elétron possa escapar;
- ✓ O excesso de energia é conservado pelo fotoelétron na forma de energia cinética.

$$Ec = hf - \phi$$



http://s3.amazonaws.com/images/AB8AAAATRuAB-2.jpg

- ✓ A emissão de fotoelétrons pela placa não depende da intensidade de radiação incidente, mas sim da frequência da radiação (essa frequência é a frequência de corte f_0)
- ✓ A frequência de corte (f_0) ocorre quando Ec = 0. Então:

$$h f_0 = \phi$$

- ✓ A intensidade de radiação incidente tem haver com o número de elétrons arrancados. Quanto maior a intensidade da radiação incidente maior o número de fotoelétrons ejetados pela placa.

APLICAÇÕES DO EFEITO FOTOELÉTRICO

A problematização inicial é retomada esclarecendo o funcionamento do controle remoto através do Efeito Fotoelétrico e acrescentando outras aplicações do fenômeno, tais como a abertura automática de portas e o funcionamento dos LEDs. Nessa etapa da ***Situação de Estudo****, ao situar o conceito no contexto da vivência do aluno, permite-se a possibilidade de uma nova significação afim de uma apropriação do produto do conhecimento científico pelo estudante.*

Para terminar a aula, resolva três exercícios de aplicação e entregue uma lista de exercícios para ser resolvida em casa. Segundo Gaspar (2014), em uma visão pedagógica vigotiskiana, para que haja aprendizagem é importante que o professor dirija sua prática no sentido de ser imitado. Para isso, ao resolver um problema de Física que esteja ao alcance da provável zona de desenvolvimento proximal (ZDP) da maior parte dos seus alunos, ele deve atentar para que todos possam seguir a sua resolução passo a passo, interagindo com eles na exposição do enunciado, na condução da solução, na implicação de procedimentos de análises e de cálculo e até na obtenção e discussão dos resultados. Em seguida, o professor deve indicar a sua turma outros problemas parecidos e cuja resolução não ultrapasse a provável ZDP de seus estudantes, reduzindo, assim, gradualmente, sua colaboração.

1. (Ufrgs 2015) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem.

A incidência de radiação eletromagnética sobre uma superfície metálica pode arrancar elétrons dessa superfície O fenômeno é conhecido como _____ só pode ser explicado satisfatoriamente invocando a natureza _____ da luz.

a) efeito fotoelétrico - ondulatória
b) efeito Coulomb - corpuscular
c) efeito Joule - corpuscular
d) efeito fotoelétrico - corpuscular
e) efeito Coulomb - ondulatória

2. (Ufsm 2014) O ano de 1905 é conhecido como o "ano miraculoso" de Albert Einstein, devido à publicação de uma série de trabalhos científicos revolucionários de sua autoria. Esses trabalhos, compostos pela teoria da relatividade especial, teoria do movimento browniano, efeito fotoelétrico e equivalência massa-energia tiveram impacto crítico no entendimento da natureza e no desenvolvimento de novas tecnologias. O efeito fotoelétrico em particular tem aplicações importantes, como em fotocélulas, projetores cinematográficos, etc.
A respeito do efeito fotoelétrico, assinale as afirmativas a seguir com verdadeira (V) ou falsa (F).

( ) O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por uma placa metálica, em decorrência da incidência de radiação.
( ) De acordo com a teoria de Einstein, a radiação que incide sobre a matéria exibe características corpusculares.
( ) A radiação é quantizada na forma de fótons, que transportam uma quantidade de energia proporcional à amplitude da onda incidente.

3. Em um laboratório de física, estudantes fazem um experimento em que radiação eletromagnética de comprimento de onda $\lambda = 300$ nm incide em uma placa de sódio, provocando a emissão de elétrons. Considerando a velocidade da radiação eletromagnética: $c = 3 \times 10^8$ m/s e a função trabalho do sódio igual a 2,3 eV, determine:

a) a frequência da radiação incidente na placa de sódio;
b) a energia de um fóton dessa radiação;
c) a energia cinética máxima de um elétron que escapa da placa de sódio;
d) a frequência da radiação eletromagnética, abaixo da qual é impossível haver emissão de elétrons da placa de sódio.

5. Aulas 6 e 7 da SD

Aulas 6 e 7 são destinadas à correção dos exercícios propostos para casa. A lista é composta de doze problemas que se destinam a abordar de forma sistemática os conhecimentos discutidos em sala de aula. A lista de exercícios procura apresentar situações-problema não necessariamente relacionadas com a situação original que desencadeou a discussão da Natureza da Luz, mas que poderiam ser explicadas pelo mesmo conjunto de conhecimentos cuja discussão foi motivada pela situação inicial.

Tanto os exercícios resolvidos como exemplo em sala, como aqueles que foram indicados como tarefa de casa têm como objetivo fazer com que o aluno, ao compreender a resolução do problema, construa novas estruturas de pensamento para que, com o tempo, se tornem efetivamente capazes de resolver problemas do tipo proposto. A seguir, a lista de exercícios:

1. Faça uma pesquisa sobre os binóculos de visão noturna e explique como seu funcionamento baseia-se no efeito fotoelétrico.
2. Qual a relação que existe entre o efeito fotoelétrico e a fotossíntese?
3. A luz emitida por uma lâmpada de vapor de mercúrio tem frequência de 5,45 x 10^{14} Hz. Fazendo as considerações cabíveis, determine a energia emitida por um fóton dessa radiação.
4. A luz amarela de uma lâmpada de sódio, usada na iluminação de estradas, tem o comprimento de onda de 589 nm. Qual a energia de um fóton emitido por uma dessas lâmpadas?
5. Dois feixes de luz, de mesma intensidade, mas de frequências diferentes, incidem sobre duas placas metálicas de mesmo material. Um deles consegue arrancar elétrons da placa, mas o outro não. Qual a explicação para esse fato?
6. A mínima energia para extrair um elétron de uma placa de ferro é igual a 4,5 eV. Determine a frequência de uma radiação eletromagnética que arranca elétrons dessa placa com uma energia cinética máxima de 2,5 eV.
7. Uma luz monocromática de comprimento de onda 450 nm incide sobre uma placa de sódio cuja função trabalho é 3, 7 x 10^{-19} J. Qual é a energia cinética máxima dos elétrons emitidos? Qual é a frequência de corte para o sódio?
8. (Upe) Considere as afirmações a seguir com relação ao efeito fotoelétrico.

   I. A energia cinética do elétron emitido pelo material depende da intensidade da radiação incidente.
   II. Somente ocorre quando há incidência de elétrons sobre uma superfície metálica.
   III. A quantidade de elétrons emitidos pelo material depende da intensidade da luz incidente.
   IV. A menor energia cinética do elétron emitido pelo material é igual a zero.

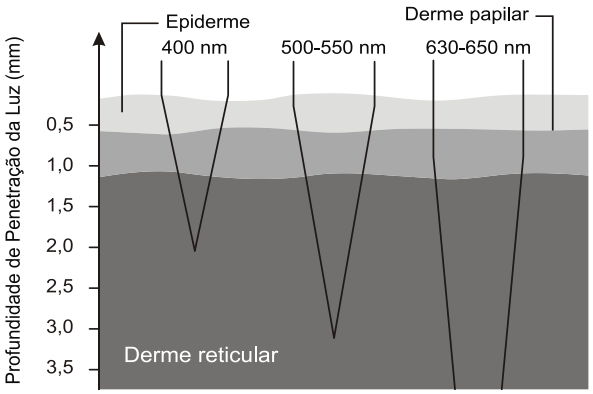
   Estão CORRETAS apenas
   a) I, II e IV.
   b) II e III.
   c) III e IV.
   d) I e III.
   e) II e IV.

9. (Ufsm) O fenômeno físico responsável pelo funcionamento dos sensores CCD, presentes nas primeiras e em muitas das atuais câmeras digitais, é similar ao efeito fotoelétrico. Ao incidirem sobre um cristal de silício, os fótons transferem a sua energia aos elétrons que se encontram na banda de valência, que são "promovidos" para os níveis de energia que se encontram na banda de condução. O excesso de carga transferido para a banda de condução é então drenado por um potencial elétrico aplicado sobre o dispositivo, produzindo um sinal proporcional à intensidade da luz incidente.
   A energia transferida aos elétrons pelos fótons, nesse processo, é proporcional à _____da radiação incidente.

Assinale a alternativa que preenche corretamente a lacuna.

a) intensidade
b) frequência
c) polarização
d) amplitude
e) duração

10. (Enem) A terapia fotodinâmica é um tratamento que utiliza luz para cura de câncer através da excitação de moléculas medicamentosas, que promovem a desestruturação das células tumorais. Para a eficácia do tratamento, é necessária a iluminação na região do tecido a ser tratado. Em geral, as moléculas medicamentosas absorvem as frequências mais altas. Por isso, as intervenções cutâneas são limitadas pela penetração da luz visível, conforme a figura:



LANE, N. Profundidade de penetração de feixes de luz de diferentes comprimentos de onda da luz incidente. *Scientific American Brasil*, fev. 2003 (adaptado).

A profundidade de até 2 mm em que o tratamento cutâneo é eficiente se justifica porque a luz de
a) curto comprimento de onda é mais refletida pela pele.
b) maior energia é mais absorvida pelo tecido orgânico.
c) menor energia é absorvida nas regiões mais profundas.
d) todos os comprimentos de onda terão alta intensidade.
e) cada comprimento de onda percebe um índice de refração diferente.

11. (Ufes) Um telefone celular emite ondas eletromagnéticas monocromáticas (radiação) através de sua antena, liberando uma potência de 10,0 mW. Sabendo que essa antena representa um ponto material e que o telefone celular emite radiação com frequência de 880 MHz (tecnologia GSM), determine

a) o comprimento de onda dessa radiação;
b) a energia de um fóton emitida por essa antena de celular em elétrons-volt;
c) o número de fótons emitidos por essa antena de celular por segundo;
d) a intensidade da onda que chega a um ponto distante 2,00 cm do telefone.

Dados: velocidade da luz no ar c = 3,00 x 10^8 m/s; constante de Planck h = 6,60 x 10^{-34} J.s; 1eV = 1,60 x 10^{-19} J

12. (Ufjf) Um feixe de luz laser, de comprimento de onda $\lambda = 400\text{nm} = 400 \times 10^{-9}\text{m}$, tem intensidade luminosa $I = 100\text{W}/\text{m}^2$. De acordo com o modelo corpuscular da radiação, proposto por Einstein, em 1905, para explicar fenômenos da interação da radiação com a matéria, a luz é formada por quanta de energias denominados fótons. Usando como base esse modelo quântico da luz, calcule:

a) a energia de cada fóton do feixe de luz laser.
b) a energia que incide sobre uma área de 1cm^2 perpendicular ao feixe durante um intervalo de tempo de $1{,}0\text{s}$.
c) o número n de fótons que atingem essa área durante esse intervalo de tempo.

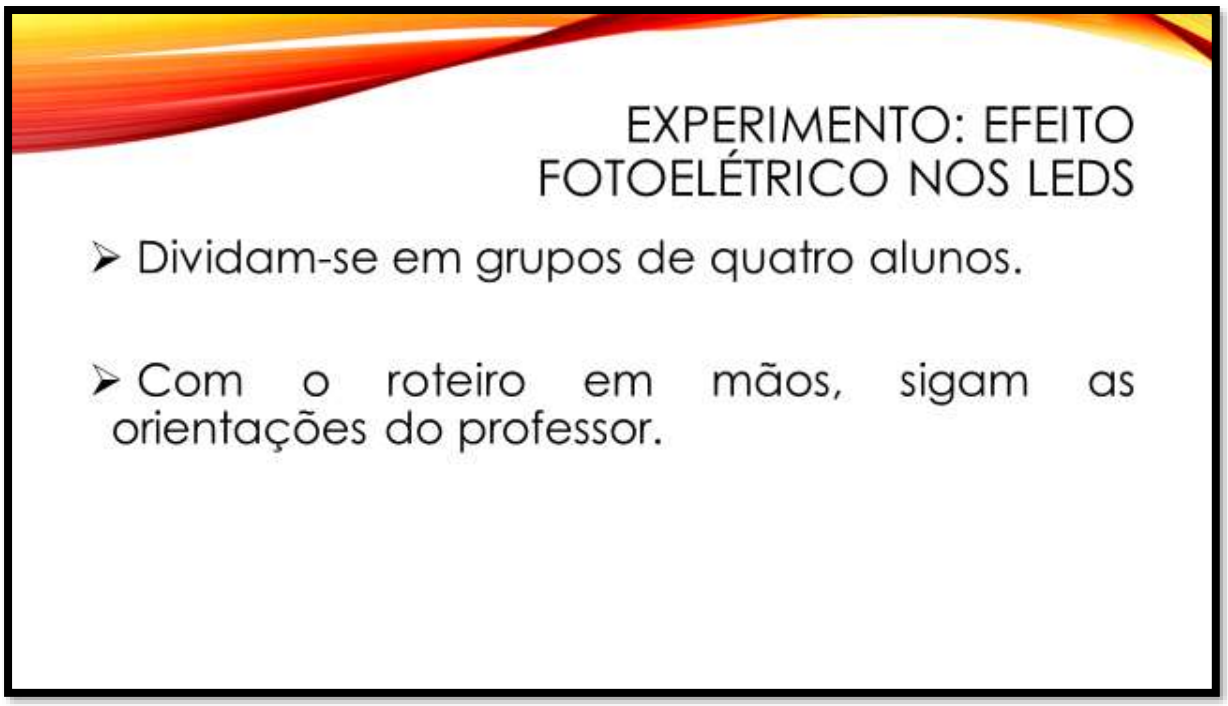
6. Aulas 8 e 9 da SD

*As aulas 8 e 9 compõem a última etapa da Situação de Estudo, denominada **Função de elaboração e compreensão conceitual**. Nesse momento há uma retomada das questões iniciais com intuito de se obter uma significação conceitual das mesmas. A partir daí o estudante terá condições de compreender outras situações análogas àquelas que lhe foram apresentadas ao longo do desenvolvimento da **Situação de Estudo**. Finalize a Introdução ao Estudo da Natureza da Luz explicando como funciona o LED e organizando a realização de um experimento que relaciona o LED com o efeito fotoelétrico.*

Nesse momento o professor faz uma breve explicação do funcionamento do LED, destacando, através da tabela periódica, quais são as características de um elemento semicondutor. Se desejar, poderá utilizar um vídeo de explicação. Sugestão: https://youtu.be/ddpHoqRTVF4

Nesse slide o professor destaca as principais características do LED. É importante levar alguns LEDs para manipulação dos estudantes.

Por fim, destaque outras aplicações do LED no cotidiano.



Organize a realização de um experimento que relaciona o LED com o efeito fotoelétrico. Para isso os alunos serão dispostos em grupos da mesma forma que aconteceu na simulação computacional. Distribua um roteiro experimental semiestruturado para cada aluno, cujo objetivo será utilizar LEDs para discutir o Efeito Fotoelétrico. Os alunos devem calcular a energia emitida por um fóton de luz de um LED, através da medida do potencial de corte, e determinar a frequência do fóton emitido.

6.1 Orientações para montagem do experimento

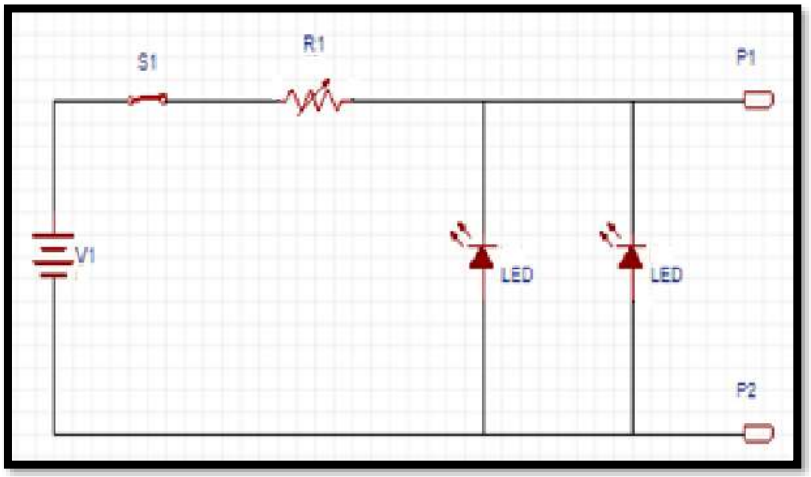
Para montar o experimento priorizou-se materiais de baixo custo e fácil aquisição. A figura 2 mostra os componentes utilizados.

Figura 2: Componentes utilizados na confecção do experimento.

Para confecção do experimento foram utilizados:

- Um potenciômetro de 1,0 KΩ,
- Uma chave liga-desliga,
- Um LED de 5mm azul de alto brilho,
- Um LED de 5mm verde de alto brilho,
- Dois suportes para os LEDs,
- Dois bornes de 2mm,
- Duas pilhas de 1,5 V com suporte,
- 1,5 m de fio flexível de 0,20 mm,
- Uma saboneteira transparente.

A figura 3 mostra o esquema de ligação dos componentes:



Legenda:

V1: duas pilhas de 1,5 V em série;

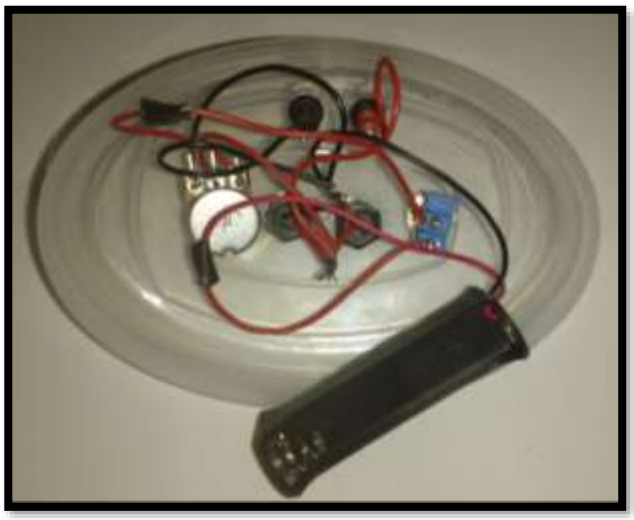
S1: chave liga-desliga;

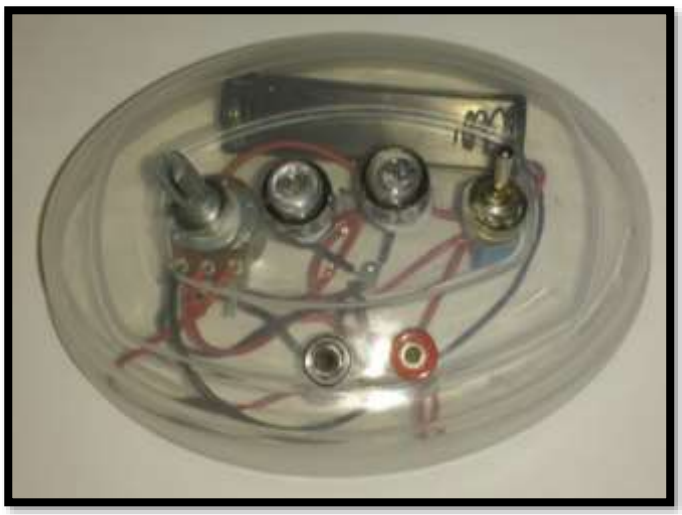
R1: potenciômetro;

P1, P2: bornes.

Figura 3: Esquema de ligação dos componentes.

A figura 4 mostra a montagem feita na saboneteira:





(a) (b)

(c)

Figura 4: (a) Esquema de ligação dos componentes dentro da saboneteira. **(b)** Parte frontal da ligação. **(c)** Equipamento funcionando.

6.2 Relatório do experimento

O roteiro foi composto para avaliar se houve apropriação dos conceitos estudados ao longo da Sequência Didática. Esperamos que, nessa atividade, os estudantes já consigam entender o comportamento dual da luz, responder aos questionamentos propostos no início da Sequência Didática e generalizar os conceitos para aplicá-los em outras situações cotidianas. A seguir, o roteiro que será distribuído ao aluno:

ROTEIRO EXPERIMENTAL: UTILIZANDO LED'S PARA DISCUTIR O EFEITO FOTOELÉTRICO

OBJETIVOS:

- ✓ Calcular a energia emitida por um fóton de um LED através da medida do potencial de corte.
- ✓ Determinar a frequência do fóton emitido.

MATERIAL UTILIZADO

- ✓ LED verde;
- ✓ LED azul;
- ✓ Potenciômetro (resistor variável de 1KΩ);
- ✓ Voltímetro;
- ✓ Pilhas AA de 1,5 V;
- ✓ Fios de ligação.

MONTAGEM

Duas pilhas pequenas de 1,5 V, associadas em série, fornecem uma tensão de 3,0 V. Um potenciômetro de 1KΩ permite variar a tensão que é aplicada aos LED's.

METODOLOGIA

✓ Gire vagarosamente o potenciômetro até acender o primeiro LED.

8. Qual LED acendeu primeiro?

✓ Gire vagarosamente o potenciômetro até acender o segundo LED.

9. Por que um LED acende primeiro que o outro?

✓ Retorne com o potenciômetro para a posição original para apagar os LED's. Gire o potenciômetro somente até uma posição mínima para acender o primeiro LED com o menor brilho possível. Meça com um voltímetro a tensão elétrica nos terminais do LED e anote. Repita o procedimento para o segundo LED.

10. Qual LED necessitou de uma maior tensão elétrica para acender? Explique porque isso ocorreu.

✓ Refaça o procedimento anterior, porém repetindo por dez vezes. O objetivo é determinar um valor médio de tensão elétrica. Coloque os valores medidos na tabela abaixo.

e										

✓ Agora calcule o valor médio das medidas.

Tensão elétrica média LED verde = _____ Volts

Tensão elétrica média LED azul = _____ Volts

11. De acordo com o que você aprendeu em aulas anteriores, defina o conceito de elétron-volt (eV).

12. Considerando que a energia mínima necessária para acender o LED é igual àquela que é liberada pelo fóton, determine, em eV, o valor dessa energia para o LED verde e para o LED azul.

13. Considerando a constante de Planck, $h = 4{,}0 \times 10^{-15}$ eV.s, calcule a frequência emitida pelo LED verde e pelo LED azul.

14. Faça uma pesquisa na internet sobre os valores típicos para as frequências da luz verde e da luz azul e anote no quadro abaixo. Os valores encontrados são compatíveis com os que o grupo calculou?

QUESTÃO

Utilizando os procedimentos do experimento, como o grupo explicaria o funcionamento de um LED?

_____
_____
_____
_____
_____
_____

REFERÊNCIAS

BRENNAN, Richard P. **Gigantes da física: uma história da física moderna através de oito biografias**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

CAVALCANTE, M. A.; RODRIGUES, T. T.T.; BUENO, D. A. Controle Remoto: princípio de funcionamento (parte 1 de 2). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 554-565, 2013.

GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de física: uma nova visão baseada na teoria de Vigotski.** São Paulo: Livraria da Física, 2014.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**. 2º Edição. São Paulo: Ática, 2013.

GEHLEN, S. T.; MALDANER, O. A.; DELIZOICOV, D. Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a educação em ciências. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 1, p. 1–22, 2012.

LUCRÉCIO. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Lucrecio>

MARTINS. R. de A. **A Óptica de Ibn al-Haytham – 1.000 anos de luz.** Disponível em: <https://www.academia.edu/14172126/A_%C3%93ptica_de_Ibn_al-Haytham_1.000_anos_de_luz._Roberto_de_Andrade_Martins> Acesso em 27 julho. 2015

MARTINS. R. de A. Introdução: A História das Ciências e seus usos na Educação. *In* SILVA, C. C.(Org.), **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino.** São Paulo: Livraria da Física, 2006.

VYGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. 2 ed. São Paulo: Martins Fontes, 2009.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente.** 7 ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

VYGOTSKY, L. S. **Psicologia pedagógica**. 2 ed. São Paulo: Martins Fontes, 2004