



## *SIMUPHOTON: UM SIMULADOR COMPUTACIONAL PARA O ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO*

Caio Fernando Rocha Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação (Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador(es):  
Mateus Gomes Lima  
Rodrigo do Monte Gester

Marabá  
Junho de 2019

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS-ICE**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**ATA DA APRESENTAÇÃO E DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO MESTRADO**  
**NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

ATA DA APRESENTAÇÃO E DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO INTITULADO **"SIMUPHOTON: UM SIMULADOR COMPUTACIONAL PARA O ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO"** PARA CONCESSÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA, REALIZADA ÀS 15:00 HORAS DO DIA 28 DE JUNHO DE 2019, NO MINIAUDITÓRIO DA GEOLOGIA, CAMPUS II. A DISSERTAÇÃO FOI APRESENTADA DURANTE 50 MINUTOS PELO CANDIDATO **CAIO FERNANDO ROCHA SILVA**, DIANTE DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELA SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA, ASSIM CONSTITUÍDA: MEMBROS: PROF. DR. MATEUS GOMES LIMA (ORIENTADOR), PROF. DR. TIAGO CARVALHO MARTINS (MEMBRO INTERNO), E PROF. DR. JÔNATAS BARROS E BARROS (MEMBRO EXTERNO). EM SEGUIDA, O CANDIDATO FOI SUBMETIDO À ARGUIÇÃO, TENDO DEMOSTRADO SUFICIÊNCIA DE CONHECIMENTOS NO TEMA OBJETO DA DISSERTAÇÃO, HAVENDO A BANCA EXAMINADORA DECIDIDO PELA APROVAÇÃO DA MESMA. PARA CONSTAR, FORAM LAVRADOS OS TERMOS DA PRESENTE ATA, QUE LIDA E APROVADA RECEBE A ASSINATURA DOS INTEGRANTES DA BANCA EXAMINADORA E DO CANDIDATO.

CANDIDATO: Caio Fernando R. Silva

BANCA: Mateus Gomes Lima

Prof. Dr. Mateus Gomes Lima

Orientador

Tiago Carvalho Martins

Prof. Dr. Tiago Carvalho Martins

Membro Interno

Jônatas Barros e Barros

Prof. Dr. Jônatas Barros e Barros

Membro Externo

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA**

---

Silva, Caio Fernando Rocha

*SIMUPHOTON*: um simulador computacional para o ensino do efeito fotoelétrico / Caio Fernando Rocha Silva; orientadores, Mateus Gomes Lima e Rodrigo do Monte Gester. — 2019.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Ciências Exatas - ICE, Mestrado Nacional em Ensino de Física - MNPEF, Marabá, 2019.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Fotoeletricidade. 3. Tecnologia da informação. 4. Ensino auxiliado por computador. 5. Simulação (Computadores). I. Lima, Mateus Gomes, orient. II. Gester, Rodrigo do Monte, orient. III. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. IV. Título.

CDD: 22. ed.: 530.07

---

Elaborado por Nádya Lopes Serrão CRB2/575

Marabá  
Junho de 2019

Dedico esta dissertação a minha eterna e amada avó  
Maria do Carmo Silva

## **Agradecimentos**

A minha família, em especial a minha avó pela eterna preocupação e incentivo.

A UNIFESSPA e ao MNPEF pela oportunidade de aperfeiçoamento profissional.

Ao corpo docente da faculdade de física e aos professores pelo empenho em trazer e manter este programa de mestrado nesta região.

Ao professor e orientador, Dr. Mateus Gomes Lima, que sem seu empenho e dedicação este trabalho não teria sido concretizado.

Ao professor e coorientador, Dr. Rodrigo do Monte Gester, pelas suas imemoráveis epopeias.

Aos colegas da turma, que durante este tempo, favoreceram boas experiências e gargalhadas.

Ao IFPA e aos alunos do 3º ano, pela possibilidade de realizar a aplicação que culminaram nesta dissertação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## RESUMO

### *SIMUPHOTON*: UM SIMULADOR COMPUTACIONAL PARA O ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO

Caio Fernando Rocha Silva

Orientador(es):

Mateus Gomes Lima

Rodrigo do Monte Gester

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

A utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação tornaram-se presentes nas nossas vidas nos mais diferentes âmbitos sociais. Na área educacional, estudos demonstram que tais tecnologias contribuem para a prática pedagógica docente e, principalmente, no processo de ensino-aprendizagem. Diante da variabilidade de tecnologias, no âmbito educacional, a utilização dos simuladores computacionais se destaca como um recurso pedagógico promissor para a práxis educativa, sobretudo no ensino de física, reduzindo, em muitos aspectos, as dificuldades na transmissão e visualização de conteúdos considerados como abstratos, como é o caso, por exemplo, do efeito fotoelétrico. Neste trabalho objetivamos investigar como uma simulação computacional produzida, intitulada *SimuPhoton*, pode ajudar o ensino do conteúdo do efeito fotoelétrico no ensino médio. Este simulador permite a manipulação dos principais parâmetros relacionados ao efeito fotoelétrico, oferecendo aos alunos e professores uma alternativa para o ensino deste importante conteúdo. Para a intervenção didático-pedagógica, foi elaborada uma sequência didática baseada na metodologia dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov (3MP), resultando um total de quatro encontros para o desenvolvimento das atividades propostas, tendo como foco a utilização do *SimuPhoton*. Os resultados evidenciam que os alunos aprovaram a simulação computacional, como uma ferramenta atraente para se aprender Física. Entretanto, sua utilização deve ser feita de forma planejada e associada a alguma outra metodologia de ensino, para que o processo de ensino-aprendizagem seja significativo.

Palavras-chave: Ensino de Física, Efeito Fotoelétrico, Simulação Computacional, Momentos Pedagógicos de Delizoicov.

Marabá  
Junho de 2019

## ABSTRACT

### *SIMUPHOTON: A COMPUTATIONAL SIMULATOR FOR PHOTOELECTRIC EFFECT*

Caio Fernando Rocha Silva

Advisors:

Mateus Gomes Lima

Rodrigo do Monte Gester

Abstract of master's thesis submitted to Postgraduate Program in the Professional Master's Degree in Physics Teaching (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

The use of Information and Communication Technologies have become present in our lives in the most different social spheres. In the educational area, studies show that such technologies contribute to teacher's pedagogical practice and, mainly, in the teaching-learning process. Given the variability of technologies, in the educational scope, the use of computer simulators stands out as a promising pedagogical resource for educational praxis, especially in physics teaching, reducing, in many aspects, difficulties in the transmission and visualization of contents considered as abstract, as is the case, for example, of the photoelectric effect. In this work we aim to investigate how a computer simulation produced, called *SimuPhoton*, can help the teaching of the content of photoelectric effect in high school. This simulator manipulates the main parameters related to the photoelectric effect, offering students and teachers an alternative to teaching this important content. For the didactic-pedagogical intervention, a didactic sequence was elaborated based on the methodology of Three Pedagogical Moments of Delizoicov (3PM), resulting a total of four meetings for the development of the proposed activities, focusing on the use of *SimuPhoton*. The results show that the students approved the computer simulation as an attractive tool to learn physics. However, its use must be made in a planned way and associated with some other teaching methodology, so that the teaching-learning process is significant.

Keywords: Teaching Physics, Photoelectric Effect, Computational Simulation, Delizoicov Pedagogical Moments.

Marabá  
Junho de 2019

## Sumário

|                                                                                           |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Introdução .....</b>                                                                   | <b>9</b>   |
| <b>1 Pressupostos Teóricos .....</b>                                                      | <b>15</b>  |
| 1.1 A questão do ensino de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio do Brasil ..... | 15         |
| 1.2 Simulações computacionais no ensino de Física .....                                   | 21         |
| 1.3 Os três momentos pedagógicos de Delizoicov .....                                      | 26         |
| 1.3.1 Problemática inicial .....                                                          | 27         |
| 1.3.2 Organização do Conhecimento .....                                                   | 27         |
| 1.3.3 Aplicação do Conhecimento .....                                                     | 28         |
| <b>2 O conteúdo escolhido .....</b>                                                       | <b>30</b>  |
| 2.1 Justificativa .....                                                                   | 30         |
| 2.2 O efeito fotoelétrico.....                                                            | 31         |
| <b>3 Pressupostos metodológicos.....</b>                                                  | <b>44</b>  |
| 3.1 A intervenção metodológica.....                                                       | 44         |
| 3.2 Produção e descrição do simulador computacional .....                                 | 46         |
| 3.3 Descrição dos momentos pedagógicos.....                                               | 49         |
| 3.3.1 O primeiro momento .....                                                            | 50         |
| 3.3.2 O segundo momento .....                                                             | 52         |
| 3.3.3 O terceiro momento .....                                                            | 54         |
| <b>4 Resultados e discussões .....</b>                                                    | <b>55</b>  |
| 4.1 O primeiro momento .....                                                              | 55         |
| 4.2 O segundo momento .....                                                               | 65         |
| 4.3 O terceiro momento .....                                                              | 74         |
| 4.3.1 Avaliação da intervenção didática e do Simulador .....                              | 79         |
| <b>5 Considerações Finais .....</b>                                                       | <b>83</b>  |
| <b>Apêndices.....</b>                                                                     | <b>87</b>  |
| Apêndice A: Sequência didática .....                                                      | 88         |
| Apêndice B.....                                                                           | 97         |
| Apêndice C.....                                                                           | 98         |
| Apêndice D.....                                                                           | 100        |
| <b>Apêndice E: Produto educacional .....</b>                                              | <b>101</b> |
| Atividade 01 .....                                                                        | 108        |
| Atividade 02 .....                                                                        | 111        |
| Apêndice F .....                                                                          | 114        |
| Apêndice G .....                                                                          | 116        |
| Apêndice H.....                                                                           | 117        |
| <b>Referências Bibliográficas .....</b>                                                   | <b>118</b> |

## Introdução

A evolução das tecnologias, de um modo geral, tem se tornado cada vez mais evidente em nossa sociedade, deixando não apenas a vida das pessoas mais prática, mas também transformando os processos produtivos, econômicos, políticos, técnicos informacionais e educacionais mais rápidos, tornando-os mais eficazes de modo a modificar profundamente nas mais diversas áreas do conhecimento.

De acordo com Antônio Silva (2008) podemos atribuir essa rápida evolução científica ao eficiente emprego e desenvolvimentos proporcionados pela física moderna e contemporânea, mais precisamente, a mecânica quântica, como um dos principais agentes dessas transformações.

Segundo Greca, Moreira e Herscovitz (2001) a física moderna e contemporânea, entendida como toda a física desenvolvida a partir do século XX, é constituída basicamente pela relatividade e mecânica quântica, que formam as bases de áreas de estudos relacionados a física atômica molecular, física do estado sólido, física de partículas e campos e etc. De acordo com Eisberg e Resnick (1979), esta grande área da física surgiu preponderantemente a partir de dois problemas não resolvidos até pouco antes de 1900, a saber: o problema da radiação de corpo negro e da invariância das equações de Maxwell sob as transformações de Lorentz. Tanto a relatividade, quanto a mecânica quântica proporcionaram uma nova interpretação da realidade que mais tarde trariam impactos diretos ao nosso cotidiano através de soluções práticas relacionadas a medicina e as engenharias graças ao desenvolvimento de transistores semicondutores, tecnologias *LASER*, ressonância magnética nuclear, microcomputadores, sistemas de geolocalização (GPS), *smartphones*, entre outros, modificando diretamente as relações sociais e mercadológicas a partir da segunda metade do século XX. Neste sentido, Nunes (2007), Tegmark e Wheeler (2001) esclarecem respectivamente.

Os países mais bem-sucedidos no campo social e econômico são exatamente aqueles que mais tem estimulado os avanços científicos e as pesquisas de base. Há uma correlação direta entre a rapidez do crescimento econômico e a ação sólida e consistente de governos que estimulam o avanço científico. (NUNES, 2007, p. 6)

“We virtually ignore the astonishing range of scientific and practical applications that quantum mechanics undergirds: today an estimated 30 percent of the U.S. gross national product is based on inventions made possible by quantum mechanics...”. (TEGMARK e WHEELER, 2001, p. 73)<sup>1</sup>

Neste contexto de desenvolvimento tecnológico, temos o surgimento das chamadas Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) que são um conjunto de ferramentas tecnológicas integradas e que tem como sua principal característica sua eficácia na propagação da informação. As TIC's proporcionam, através de hardware, software e telecomunicações, a automação e a comunicação que sustentam atualmente relações econômicas, pesquisas científicas e também o ensino e aprendizagem. O termo TIC foi primeiramente usado em 1997 por Dennis Stevenson e promovido pela documentação do Novo Currículo Britânico no ano 2000 (ZOLLMAN, 1999) .

De acordo com Oliveira (2015), a presença das TIC's é perceptível nas mais diferentes áreas do contexto humano e apresenta potencialidades para promover mudanças nas relações do cotidiano refletindo, também no processo de ensino e aprendizagem . Neste aspecto, para Abreu e Abreu (2015), nota-se uma presença cada vez maior da informática no contexto educacional nos últimos anos, o que facilita o acesso das pessoas à educação, a partir de ambientes de ensino virtuais que possibilita aos alunos um maior engajamento entre si, mesmo a longas distâncias, favorecendo a troca de informações e experiências, além de permitir aos professores condições de desenvolver trabalhos, discussões e processos de pesquisa que

---

<sup>1</sup> “Nós virtualmente ignoramos a espantosa gama de aplicações científicas e práticas que a mecânica quântica sustenta: hoje, estima-se que 30% do produto nacional bruto dos EUA é baseado em invenções tornadas possíveis pela mecânica quântica.” (Tradução livre do autor)

promovem um ambiente de ensino e aprendizagem mais significativo e assim envolvem de forma ativa os alunos nesse processo.

Nesta perspectiva, Pereira e Silva (2014) afirmam que utilização das TIC's no meio educacional é considerada como um importante tema de pesquisa e debate no âmbito da formação de professores, principalmente sobre a criação de outras tecnologias, elaboração de novas metodologias e currículos que visam adequar-se a uma realidade local mediante tais recursos.

Marcia da Costa (2017), em seu trabalho de revisão, apontou artigos que descrevem a utilização das TIC's como um recurso metodológico alternativo e promissor. Ela ressalta em seu trabalho que a utilização de tais TIC's promove um ensino mais abrangente e eficiente, resolvendo alguns problemas do ensino tradicional, sobretudo no ensino de física. Ainda de acordo com a autora, o emprego de tais tecnologias ainda é alvo de debate nos principais centros de formação de professores, com o objetivo principal de romper com a visão puramente tradicionalista que muitos ainda carregam e que é caracterizada por metodologias e recursos didáticos “fixos”, como quadro e pincel que por vezes dificultam a transmissão de conceitos acerca de um determinado conteúdo por vezes tido como abstrato.

Diversas TIC's fazem parte do cotidiano de muitos estudantes e professores (*smartphones*, redes sociais, *YouTube* e etc.). Mas é notável como tais recursos ainda não foram incorporados de forma efetiva no processo de ensino e aprendizagem de física que é realizado, predominantemente com base em metodologias que não levam em conta o uso das TIC's e são caracterizadas, em muitos casos, somente pelo uso de equações e conceitos, onde o professor é o agente ativo no processo de ensino e aprendizagem, sendo que as aulas se configuram de forma bastante abstrata, fugindo, em muitos casos, do interesse dos alunos e não contribuindo para uma aprendizagem significativa (ROSA e ROSA, 2005).

Neste sentido, a abordagem de temas para o ensino de física com a utilização de simuladores apresenta-se como uma ferramenta metodológica alternativa, baseada no uso das TIC's, para apresentação de conceitos físicos abstratos.

Por simulador o *Business Dictionary* (2019) define como sendo um aparelho/*software* capaz de reproduzir e simular o comportamento de algum sistema, reproduzindo fenômenos e sensações que na realidade não estão ocorrendo.

Medeiros e Medeiros definem simulações computacionais como:

Simulações são modelos computacionais que operam em representações matemáticas via linguagens de programação e que tem como finalidade fornecer animações que imitam situações e fenômenos reais ou imaginários. (Medeiros, 2002, pag. 79)

A utilização de simulações nas aulas de física é um tema relevante na pesquisa do ensino física e que apresentam diversas vantagens frente ao ensino tradicional (MEDEIROS e MEDEIROS, 2002), de maneira a facilitar a transmissão de conteúdos e aprendizagem, já que representa um determinado sistema em um caráter dinâmico.

Neste sentido, Barbosa e colaboradores (BARBOSA, GOMES, *et al.*, 2017) afirmam que o uso de simuladores no ensino de ciências permite que o saber científico seja potencializado, pois permite que professores de física possam trabalhar com seus conteúdos de forma mais lúdica e que as relações entre causa e efeito entre as variáveis envolvidas possam ser melhor entendidas, ampliando a capacidade de imaginação e intuição dos alunos.

Outro ponto a ser considerado é a inserção dos conteúdos de física moderna e contemporânea (FMC) no ensino médio. No último ano do ensino médio, os alunos devem ser introduzidos a uma nova visão da física acerca de fenômenos que serviram de base para a modernização de nossa sociedade e que as competências em física para a vida se constroem em um presente contextualizado, em articulação com competências de outras áreas, impregnadas de outros conhecimentos refletindo em aplicações tecnológicas do cotidiano (BRASIL, 2006).

Diante das poucas alternativas de simuladores para o ensino dos conteúdos de física moderna, especificamente o efeito fotoelétrico, da dificuldade de visualização de conceitos acerca do tema e da constante imersão dos alunos diante das chamadas TIC's é que Filho (2010) considera que a utilização e pesquisas sobre uso e produção desta ferramenta pedagógica apresenta considerável relevância na área do ensino envolvendo essa temática.

Tomando essas considerações e a importância que o efeito fotoelétrico tem em aplicações tecnológicas de uso cotidiano (sensores e produção de energia, por exemplo), para o próprio desenvolvimento da física enquanto ciência, das dificuldades relacionadas ao ensino e das poucas alternativas de simuladores sobre esse tema,

podemos afirmar que estes são elementos que se destacam como motivações do trabalho e para a produção da presente ferramenta pedagógica para o ensino de temas relacionados.

Neste trabalho, realizou-se o uso do simulador computacional *SimuPhoton*, um simulador gratuito e construído como produto educacional do programa de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) pelo Unifesspa, com objetivo de auxiliar o ensino da física moderna e contemporânea no nível médio, abordando o conteúdo do efeito fotoelétrico, sendo uma proposta alternativa de recurso pedagógico para professores de física.

O objetivo geral deste trabalho é investigar como a simulação computacional produzida pode ajudar no ensino dos temas de física moderna e contemporânea, especialmente o conteúdo do efeito fotoelétrico, em uma situação de ensino através de uma sequência didática, baseada na proposta dos três momentos pedagógicos (3MP) de Delizoicov (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1992), verificando de que modo o produto *SimuPhoton* propicia um ambiente que condicione a aprendizagem do conteúdo em questão.

Os objetivos específicos são: abordar o conteúdo de efeito fotoelétrico com um simulador computacional *SimuPhoton*, observando as potencialidades do produto desenvolvido, com base na experiência dos alunos; verificar o desempenho dos estudantes acerca dos questionamentos propostos com o uso da simulação computacional; apresentar uma proposta de intervenção didática para aplicação em sala de aula do conteúdo efeito fotoelétrico baseada na metodologia dos Três Momentos Pedagógicos, através de uma sequência didática que tenha como recurso didático pedagógico principal o uso deste simulador computacional.

Esta dissertação está dividida e organizada em cinco capítulos. No capítulo 1 é apresentada uma breve discussão a respeito do ensino de física contemporânea e moderna na educação básica, discutindo alguns pontos de porquê ensinar e como é trabalhado este conteúdo. Com objetivo de evidenciar os desafios e apresentar as perspectivas para o ensino de física, ainda é discutida a questão dos simuladores computacionais, enfatizando as suas vantagens e como sua utilização vem sendo tema central de pesquisas relacionadas ao ensino, além dos desafios de sua implementação. No fim deste capítulo, é apresentado o referencial teórico que sustenta a intervenção didática, baseada nos Três Momentos Pedagógicos de

Delizoicov. No capítulo 2 é desenvolvido formalmente o conteúdo efeito fotoelétrico, com uma apresentação histórica conceitual e aplicações do tema objeto de estudo. No capítulo 3 é apresentada a metodologia empregada na intervenção didático-pedagógica, bem como a descrição das etapas deste processo, coleta de dados e formas de análise. No capítulo 4, apresentamos os resultados obtidos e as discussões. E por último, no capítulo 5, é apresentada as considerações finais.

# 1 Pressupostos Teóricos

Neste capítulo serão tratados os pressupostos teóricos que delineiam esta dissertação, em que será apresentada uma discussão a respeito do ensino de Física Moderna e Contemporânea, uma introdução dos simuladores no ensino de Física e o referencial teórico que norteará a prática didático-pedagógica durante a metodologia.

## 1.1 A questão do ensino de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio do Brasil

A partir da segunda metade do século XX, a humanidade experimentou uma crescente evolução tecnológica, como consequência do desenvolvimento e aplicabilidade dos conhecimentos produzidos, através da mecânica quântica enquanto, que na mesma medida, os currículos referentes ao Ensino de FMC na educação básica não acompanharam essa evolução. Neste sentido Barcellos e Guerra (2015) sinalizam que os currículos ainda estão fundamentados, expressivamente, na Física Clássica do século XVII ao XIX, de modo a sofrer críticas por parte da comunidade que vem promovendo debates, no âmbito nacional e internacional a fim de romper com os paradigmas referentes ao ensino da física.

A discussão a respeito da inclusão dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na educação básica, especificamente no Ensino Médio, vem sendo considerada há mais de vinte anos. De acordo com Ostermann e Moreira (2000), a busca por materiais de apoio pedagógico, metodologias, sequências didáticas, propostas curriculares e questões ligadas a formação do físico educador revelam uma profunda preocupação por parte de pesquisadores para a efetiva inserção da FMC na educação básica.

Uma justificativa relevante para inserção deste importante tópico no ensino é dada por Carvalho e Vannuchi (1996) que afirmam:

Vivemos hoje num mundo altamente tecnológico - fibra ótica, códigos de barra, micro-computadores etc, etc, etc.- e o nosso ensino ainda está em Galileu, Newton, Ohm, não chegou ainda no século vinte. Estamos no último quinquênio do século XX, mas em termos de ensino estamos muito longe do seu início. (CARVALHO e VANNUCCHI, 1996, p. 7)

Neste sentido, Terrazzan (1992) chama atenção que aparelhos, artefatos e fenômenos do cotidiano são compreendidos mediante conceitos estabelecidos a partir do século XX. Seguindo esse raciocínio, ele defende que uma inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão no mundo, define, por si só, a necessidade de debate acerca de estabelecer formas de abordar conteúdos de FMC, para o entendimento do mundo criado pelo homem atual e que a abordagem dos conteúdos de física no ensino médio devem estar ligados a uma formação cidadã, de modo que o cidadão como agente transformador da realidade, deve, a priori, ter a capacidade de compreendê-la.

Para Valadares e Moreira (1998) é imprescindível para o estudante do Ensino Médio (EM) conhecer os fundamentos da tecnologia atual, já que esta atua diretamente na sua vida e certamente implicará na sua vida profissional, considerando a relação entre a física da sala de aula e a física do cotidiano (computador, mostradores de cristal líquido, leitores ópticos, máquinas de fotocópias, impressora laser, portas e torneiras automáticas, controle remoto, laser em Medicina, fibras ópticas, etc).

Ostermann e colaboradores (1997) consideram que existem muitos motivos para a abordagem dos conteúdos de FMC no ensino médio, são eles:

O de despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a física como um empreendimento humano e, portanto, mais próximos a ele; Os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não veem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente; É do maior interesse atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física. (OSTERMANN, FERREIRA e CAVALCANTI, 1997, p. 270)

Com respeito ao ensino de física e de FMC, os documentos oficiais como os Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) consideram que:

A Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na

compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. (BRASIL, 2006, p. 2)

Ao passo que no mesmo documento (PCN+) é apontado mais especificamente que:

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma a que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e lasers presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores. A compreensão dos modelos para a constituição da matéria deve, ainda, incluir as interações no núcleo dos átomos e os modelos que a ciência hoje propõe para um mundo povoado de partículas. Mas será também indispensável ir mais além, aprendendo a identificar, lidar e reconhecer as radiações e seus diferentes usos. (BRASIL, 2006, p. 2)

Já os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) consideram que ensino de física deve:

Reconhecer a Física enquanto construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico; reconhecer o papel da Física no sistema produtivo, compreendendo a evolução dos meios tecnológicos e sua relação dinâmica com a evolução do conhecimento científico; dimensionar a capacidade crescente do homem propiciada pela tecnologia; estabelecer relações entre o conhecimento físico e outras formas de expressão da cultura humana; ser capaz de emitir juízos de valor em relação a situações sociais que envolvam aspectos físicos e/ou tecnológicos relevantes. (BRASIL, 1999, p. 29)

No Brasil, historicamente, a iniciativa de implementar conteúdos de FMC iniciou-se de forma mais ampla a partir da década de 1960, com o “efeito sputinik” (OLIVEIRA, 1992) e ganha mais expressão a partir de quatro grandes projetos brasileiros, considerados precursores da introdução de conceitos modernos da física, são eles : Projeto de Ensino de Física (PEF), o Projeto Brasileiro de Ensino de

Física (PBEF), o Física Auto – Instrutiva (FAI), e o Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF) (TERRAZAN e MENEZES, 1994).

O GREF considerava que o ensino de física no ensino médio deveria partir de conteúdos referentes à vida cotidiana, e que há necessidade de se ter conceitos da FMC para a compressão do atual estágio de determinadas tecnologias presentes na vida dos alunos. Neste sentido, Cavalcante, Jardim e Barros (1999) consideram que não se deve aceitar a ideia restritiva de pré-requisitos, que tende a julgar jovens adolescentes como incapazes de perceber a complicada lógica quântica, antes de dominarem todo o instrumental clássico.

Dentro do cenário mais recente, no que diz respeito ao ensino de física no Brasil, muitos autores tecem duras críticas ao seu atual estágio. Para Schnetzler, o ensino de física concedido não proporciona uma visão entre o aprendido e o mundo real do seu cotidiano, de modo que:

Dentre as várias razões que podem explicar tal antagonismo, uma merece especial destaque, qual seja, a adoção, por grande parte dos professores, de uma concepção de ensino como transmissão e as correspondentes visões de aluno como tábula rasa e de Ciência como um corpo de conhecimentos prontos, verdadeiros, inquestionáveis e imutáveis. (SCHNETZLER, 1992, p. 17)

Para Peduzzi (1997), o desenvolvimento do conteúdo com ênfase na resolução de problemas e exercícios que privilegiam a abstração, proporciona, geralmente, bons resultados em avaliações quantitativas, que no contexto escolar reflete simplesmente em aprovação em exames, uso de algoritmos matemáticos momentâneos e no esquecimento imediato de conteúdos anteriores quando solicitados pelo professor para a abordagem de um novo assunto. Nessa dinâmica de modelo de ensino Darroz, Rosa e Ghiggi (2015) caracterizam que:

Esse ensino, ao tomar por base a transmissão e a recepção de informações, parte do pressuposto de que o aluno não tem experiências e concepções precedentes, sendo capaz apenas de devolver exatamente aquilo que recebeu na sala de aula nas avaliações realizadas. Trata-se, nesse caso, do chamado método tradicional de ensino. (DARROZ, ROSA e GHIGGI, 2015, p. 71)

Nesta perspectiva de ensino puramente tradicional, Rosa e Rosa (2012) afirmam que:

O sistema educacional brasileiro, em particular o ensino de Ciências (Física), encontra-se em vias de colapso, deixando clara a inviabilidade de continuar privilegiando a transmissão dos saberes e o acúmulo de informações que a escola privilegiou. (ROSA e ROSA, 2012, p. 1)

Corroborando com essa afirmação, Sanches e Neves (2011) consideram que dentro da realidade escolar esta não tem subsídios que dê ao estudante as condições para uma construção de mundo, de modo que o ensino de ciência está aquém da possibilidade de ser utilizado em sua vida cotidiana e considera que:

A situação, hoje, na educação pública brasileira demonstra que os professores possuem formação deficiente, conseqüentemente, os alunos não consolidam uma base suficiente para a construção não somente do conhecimento da física, mas do conhecimento como uma trama interdisciplinar e doadora de significados ao mundo que os rodeia. (SANCHES e NEVES, 2011, p. 9)

Quando se fala em aspectos metodológicos, a abordagem da FMC no ensino médio, geralmente ocorre no terceiro ano do ensino médio. Muitos currículos e livros didáticos, colocam os temas no quarto bimestre da terceira série do ensino médio, seguindo uma cronologia histórica temporal, de modo a ter pouco protagonismo diante da vasta carga de conteúdos de física clássica, abordados nas séries anteriores, como mostra o trabalho de Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007).

Além desse fator estrutural, de como é feita a inserção dos conteúdos propostos pelos livros e currículos, a abordagem metodológica destes conteúdos ainda se torna um desafio. Em uma investigação realizada em Passo Fundo-RS, intitulada “*Método tradicional versus aprendizagem significativa*” (DARROZ, ROSA e GHIGGI, 2015), os autores concluíram que a maioria das práticas pedagógicas estão relacionadas a concepções tradicionais de ensino e que barreiras para promover um aprendizado mais significativo estão relacionadas ao não aproveitamento de conhecimentos trazidos pelos estudantes, de sua vida cotidiana e dos conteúdos serem trabalhados

de forma não contextualizada. Estes autores sugerem que durante a prática pedagógica, os professores usem estratégias de ensino que permitam discussão, análise, reflexão, partilha e externalização dos conceitos estudados mediante a fala.

Diante dessas considerações a respeito da importância do ensino de FMC e das problemáticas que surgem com o tradicionalismo deste ensino, ainda temos um outro aspecto referente ao ensino de FMC que está diretamente ligado à sua transposição, configurando-se em dificuldades que professores tem em introduzir este tema no ensino médio.

Os problemas de se introduzir os conteúdos de FMC estão associados, a vários fatores, como um currículo obsoleto, desatualizado e descontextualizado, de modo a tornar a prática pedagógica que normalmente se resume ao quadro de giz, monótona e desinteressante para os alunos, permitindo que estes não compreendam qual a necessidade desse conhecimento, que na maioria dos casos, se resume em aulas baseadas no formalismo matemático, excluindo o papel histórico, cultural e social que a física desempenha no seu mundo e indo de encontro ao que os documentos como o PCNEM endossam (OLIVEIRA, VIANNA e GERBASSI, 2007).

Outro fator que impacta diretamente a introdução de conteúdos de FMC na educação básica está associado a formação de professores. Para Santos (2015) é comum encontrar em várias escolas públicas, docentes que são formados em outras áreas e, nos piores casos, não são nem ao menos formados em áreas afins, como outras ciências. Apesar disso, nada impede que tais professores possam desenvolver uma prática pedagógica coerente dos conteúdos de física. Este ainda é um problema recorrente no ensino de física, que, em uma visão geral, tende se agravar no ensino médio.

Ainda de acordo com Santos, a falta de apoio pedagógico e material nas escolas, para o desenvolvimento e uso de metodologias que prezem por atividades experimentais (SANTOS, 2015), prejudicam o ensino de conteúdos relacionados tanto a Física Clássica quanto a FMC.

Como mencionado anteriormente, o formalismo matemático associado a FMC, que muitas vezes é determinante em algumas discussões e se mostra carregado, também se torna um empecilho à inserção destes conteúdos no EM. Neste aspecto, Karam e Pietrocola (2008) consideram que:

Se, sob a ótica epistemológica, o tratamento matemático é indispensável, por outro lado, ao nos depararmos com a realidade escolar, é comum encontrar alunos que, além de não dominarem o ferramental básico da matemática, não são capazes de percebê-lo como fundamental para a estruturação do conhecimento físico. (KARAM e PIETROCOLA, 2008, p. 5)

Em suma, há várias dificuldades e problemas na inserção da FMC no EM por sua associação aos métodos tradicionais, que em muitos casos fogem das propostas documentadas pelos PCN+ e PCNEM; as dificuldades de se abordar este tema, descritas pela questão curricular; o tipo de abordagem metodológica dada pelo professor, e a dificuldade do tratamento matemático, além do grau de abstracionismo intrínseco ao tema.

Contudo, a física, de um modo geral, apresenta um certo dinamismo em muitos dos seus fenômenos e conceitos. Logo, métodos e abordagens que apresentam a FMC em uma perspectiva estática dificultam a assimilação de tais conceitos, de modo que:

[...] Se houve dificuldades de aprendizagem não foram muito diferentes das usualmente enfrentadas com conteúdos da física clássica [...] Os alunos podem aprendê-la se os professores estiverem adequadamente preparados e se bons materiais didáticos estiverem disponíveis. (OSTERMANN e MOREIRA, 2000b, p. 11)

Portanto, propostas e alternativas que visam diminuir algumas dessas dificuldades devem ser pesquisadas e divulgadas, como é o caso das simulações computacionais.

## **1.2 Simulações computacionais no ensino de Física**

A física, como ciência, é amplamente sustentada por leis que se confirmam com base em observação experimental e geralmente apresentam uma formulação matemática que nos permite testar modelos, propor hipóteses e outras extrapolações teóricas. No sentido de aproximar a visualização de conceitos, da matematização com a experimentação e buscar quebrar o paradigma do tradicionalismo que predomina nas práticas pedagógicas, além de obter uma aprendizagem mais significativa, é que

as simulações virtuais, enquanto ferramenta metodológica para o ensino de física, são uma possibilidade, pois no ensino de ciências, em geral, as simulações têm mostrado uma estratégia eficiente para a compreensão de fenômenos reais que permeiam o abstrato, permitindo sua posterior contextualização e a consequente motivação para a investigação de problemas correlacionados (MACÊDO, 2009)

Nas palavras de Chaves (1988), o conceito de simulação se resume como sendo: “Uma simulação é um modelo que pretende imitar um sistema, real ou imaginário, com base em uma teoria de operações desse sistema”.

As simulações computacionais têm um papel de destaque no âmbito da pesquisa que permeia a Física Experimental e a Física Teórica, permitindo avaliar fenômenos modelados, através de uma série de parâmetros e se destaca hoje como uma grande área conhecida como Física Computacional que apresenta diversas aplicações em várias áreas como: Meteorologia, Econofísica, Administração de Sistemas Financeiros, Neurociência, Linguística, Telecomunicações, Bioinformática, Inteligência Artificial, Automação industrial, Educação e etc.<sup>2</sup>

Na educação científica, as simulações computacionais têm sido propostas há mais de quatro décadas como ferramentas úteis para melhorar a compreensão conceitual dos alunos e o desenvolvimento de capacidades científicas (GRECA, SEOANE e ARRIASSECQ, 2014).

A discussão a respeito da utilização das Tecnologias da informação e comunicação (TIC's) na educação, sobretudo da informática, remontam desde a década de 70 do século passado, tendo como foco os estudos da inserção do computador na educação básica, como recurso pedagógico promissor. No cenário brasileiro, a utilização da informática no ensino deu os primeiros passos, em 1971, de acordo com livro *Projeto Educom* quando, pela primeira vez, se discutiu o uso de computadores no ensino de física, em um seminário promovido pela USP de São Carlos em colaboração com a Universidade de Dartmouth (EUA) (NASCIMENTO, 2009).

Desde então, as TIC's estão em constante evolução, incentivada, principalmente pela popularização da internet nos anos 2000. Porém, a realidade do contexto escolar e das práticas docentes no Brasil ainda carecem de adaptações em

---

<sup>2</sup> Adaptado de: <http://www.if.ufrgs.br/gra/computacional.html>.

suas práticas, de uma maneira condizente com a realidade vivida pelos alunos que estão cada vez mais “conectados na grande rede”. Neste cenário, os PCN’s consideram que:

A escola não pode ficar alheia ao universo informatizado se quiser, de fato, integrar o estudante ao mundo que o circunda, permitindo que ele seja um indivíduo autônomo, dotado de competências flexíveis e apto a enfrentar as rápidas mudanças que a tecnologia vem impondo à contemporaneidade. (BRASIL, 2002, p. 229-230)

A utilização das TIC’s na educação básica ainda apresenta uma série de dificuldades, desde escolas sem infraestrutura e com computadores ultrapassados ou danificados, até a falta de preparo dos professores. Mesmo assim, diversas pesquisas sobre a utilização das TIC’s sinalizam para uma contribuição significativa desta no processo de ensino e aprendizagem (Fiolhais e Trindade (2003); Medeiros e Medeiros (2002); Valente (1991); Rosa (1995); Papert (1994)).

O ensino de física no Brasil ainda é majoritariamente caracterizado pela forma tradicional de abordagem, em que somente o professor é a figura ativa no processo de ensino e aprendizagem, aliada a uma aula que se configura de forma bastante abstrata, fugindo, em muitos casos, do interesse dos alunos, contribuindo para uma aprendizagem não significativa (ROSA e ROSA, 2005).

Nessa perspectiva é importante ressaltar que o papel pedagógico dos simuladores computacionais não podem ser pensados como o fim, e sim, o meio para promover a aprendizagem de conteúdos, de modo a não substituir integralmente atividades concretas, como é o caso dos experimentos reais. Desse modo, a utilização dessas ferramentas propicia condições de gerar um conhecimento que antes não era proporcionado pelas limitações das tecnologias tradicionais como pincel e lousa, por exemplo. Nesse sentido, Miranda e Bechara ressaltam que:

As simulações podem contribuir no desenvolvimento dessa capacidade de chegar a conceitos abstratos mais gerais da Física, ao permitir que o estudante investigue a realidade do sistema observando-o diretamente, promovendo mudanças nas suas condições específicas, e observando suas consequências. (MIRANDA e BECHERA, 2004, p. 2)

Para que as atividades envolvendo simulações computacionais proporcionem uma aprendizagem significativa é interessante que as mesmas apresentem um enfoque investigativo, em que os estudantes tenham efetiva participação nos processos de experimentação virtual, não executando somente o que foi determinado pelo professor. Assim, espera-se que a aprendizagem adquirida não seja somente útil na vida escolar do aluno, mas também para sua vida fora deste contexto.

Na física, assim como em diversas outras áreas da ciência, a utilização de modelos e experiências de pensamentos são amplamente utilizadas, na tentativa de explicar, de modo mais simplório, um fenômeno ou efeito que em muitos casos não seria diretamente observável. Trata-se de uma abstração da realidade que quando devidamente utilizada, promove a visualização de ideias e conceitos, proporcionando um entendimento mais geral de um determinado fenômeno. Neste sentido, as simulações computacionais apresentam as seguintes vantagens que, segundo Gaddis (2000) elas são capazes de:

- Reduzir o “ruído” cognitivo de modo que os estudantes possam concentrar-se nos conceitos envolvidos nos experimentos;
- Fornecer um *feedback* para aperfeiçoar a compreensão dos conceitos;
- Permitir aos estudantes coletarem uma grande quantidade de dados rapidamente;
- Permitir aos estudantes gerarem e testarem hipóteses;
- Engajar os estudantes em tarefas com alto nível de interatividade;
- Envolver os estudantes em atividades que explicitem a natureza da pesquisa científica;
- Apresentar uma versão simplificada da realidade pela destilação de conceitos abstratos em seus mais importantes elementos;
- Tornar conceitos abstratos mais concretos;
- Reduzir a ambiguidade e ajudar a identificar relacionamentos de causas e efeitos em sistemas complexos;
- Servir como preparação inicial para ajudar na compreensão do papel de um laboratório;

- Desenvolver habilidades do raciocínio crítico;
- Formentar uma compreensão mais profunda dos fenômenos físicos;
- Auxiliar os estudantes a aprenderem sobre o mundo natural, vendo e interagindo com os modelos científicos subjacentes que não poderiam ser inferidos através da observação direta;
- Acentuar a formação dos conceitos e promover a mudança conceitual.

Apesar das inúmeras vantagens, a introdução dos simuladores não pode ser pensada como um fim para promover um ambiente de aprendizagem, ou substituir integralmente a figura do professor durante o processo e sua utilização não deve ser interpretada como um meio para tal finalidade, na mesma medida que requer alguns cuidados em sua inserção.

Miro e Julia (2001) apontam que a inserção das simulações marca uma mudança no paradigma do ensino de física e que o excesso de entusiasmo acerca das novas tecnologias pode obscurecer o fato de que, com o seu uso, alguns conhecimentos e habilidades importantes estejam sendo inadvertidamente perdidos.

Para Bergqvist (2000), uma modelagem de um sistema físico é crucial para que as simulações construídas possam constituir-se em boas aproximações da realidade. Logo uma simulação computacional não pode ser pensada como um experimento real. Nas considerações de Verbic (1996), as diferenças significativas entre o experimento real e sua simulação devem ser consideradas, para que as simulações não comuniquem concepções do fenômeno opostas àquelas que o educador pretendia veicular com seu uso.

Diante das considerações a respeito do uso de simuladores, de seus prós e contras, a sua inserção deve ser realizada de forma consistente e entendida como uma parte de um processo metodológico-pedagógico. Com base nisso, concepções didática-pedagógicas que proporcionam uma quebra de paradigma no ensino de física devem ser consideradas, como é o caso da metodologia dos Três Momentos Pedagógicos (3MP).

### 1.3 Os três momentos pedagógicos de Delizoicov

A metodologia-didático pedagógica dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1990) surgiu a partir das concepções teóricas de Paulo Freire (FREIRE, 1988) e tem como objetivo principal a elaboração de um currículo de física baseado em temas geradores. Ela foi desenvolvida originalmente ainda no início dos anos 80, durante um projeto de formação de professores realizado na Guiné-Bissau.

Trata-se de uma transposição para um contexto de educação formal baseada em uma educação dialógica que tem como fundamento a intermediação entre a realidade vivenciada pelos alunos e os conteúdos formais que são intermediadas pelo professor.

Por educação dialógica, Paulo Freire afirma que o educando é quem deve perguntar, questionar, mas que isso não significa que o educador seja um repositório de respostas, nem que existam respostas definitivas (FREIRE, 1988). Ainda com relação a esse conceito, Delizoicov e Pernambuco afirmam que na educação dialógica:

[...] certamente ocorrem interações verbais e orais; no entanto, ela não se confunde com o simples conversar ou dialogar entre professores e alunos. A dialogicidade do processo diz respeito à apreensão mútua dos distintos conhecimentos e práticas que os sujeitos do ato educativo alunos e professores têm sobre situações significativas envolvidas nos temas geradores, com base nos quais se efetiva a educação dialógica. (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2011, p. 193)

Neste sentido, a concepção metodológica de Delizoicov, baseada na educação por meio do diálogo, como propõe Paulo Freire, apresenta potencialidades de aproximar temas centrais e importantes da física para o contexto da realidade do aluno, de modo a requerer também que o educando se assuma como sujeito do ato de aprender e adote uma postura crítica e sistemática (MOREIRA, 2017).

A dinâmica metodológica dos 3MP apresentada por Delizoicov e Angotti (1990) resumem-se em: Problematização inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do conhecimento.

### **1.3.1 Problemática inicial**

Na Problemática Inicial são apresentadas situações do cotidiano dos alunos, acerca de um dado tema. Consiste em um diálogo com objetivo de despertar o senso crítico no aluno, visando relacionar o estudo de um conteúdo com situações reais que eles conhecem ou já presenciaram, mas que não conseguem interpretar de forma completa ou corretamente, porque, provavelmente, não dispõem de conhecimentos científicos suficientes (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2002).

Neste momento, os alunos, a partir de questionamentos de caráter problematizador feitos pelo professor, são induzidos a expor aquilo que já sabem. Este é o momento em que o professor poderá ter ciência do conhecimento já adquirido pelos alunos fora do contexto escolar e que pode ser aproveitado nas atividades posteriores. Ao professor cabe uma postura mais provocativa, problematizadora, de modo a fazer com que os alunos tragam suas respostas e não dando-as prontamente. Nas palavras de Delizoicov e Angoti:

A problematização poderá ocorrer pelo menos em dois sentidos. Por um lado, o aluno já poderá ter noções sobre as questões colocadas, fruto da aprendizagem anterior na escola ou fora dela. (...) Por outro lado, a problematização pode permitir que o aluno sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém. (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1992, p. 29)

### **1.3.2 Organização do Conhecimento**

Este momento é caracterizado pela busca e organização dos conhecimentos necessários para a compreensão dos conceitos científicos que estão diretamente ligados a situação apresentada na problematização inicial. Para Delizoicov e Angotti (1992), nesse momento os conhecimentos de Física importantes para o entendimento acerca da temática devem ser estudados de forma sistemática sob orientação do professor, em que definições, conceitos, relações e leis apresentadas de forma introdutória, agora devem ser aprofundados:

Os conhecimentos selecionados como necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial são sistematicamente estudados neste momento, sob a orientação do professor [...] de modo que o professor possa desenvolver a conceituação identificada como fundamental para a compreensão científica das situações problematizadas. (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2002, p. 13)

Neste momento, o professor passa a atuar de forma mais ativa, não sendo aquele que dá respostas prontas, mas aquele que guia na construção do conhecimento, através de certas atividades com o objetivo de romper com o conhecimento fundamentado no senso comum, superando visões ingênuas de mundo manifestadas pelos alunos, construindo olhares mais críticos, para enxergar e interpretar a ciência envolvida no fenômeno (ABREU, FERREIRA e FREITAS, 2017).

As atividades que o professor poderá realizar são das mais diversas. Delizoicov e Angotti (1990) sugerem que além da prática tradicional expositiva que consiste na apresentação de definições, propriedades, formulações e exercícios de fixação, o professor poderá acrescentar a utilização das TIC's que consistem também na utilização de simuladores virtuais e atividades com auxílio do computador.

### **1.3.3 Aplicação do Conhecimento**

Consiste no momento de reflexão entre o tema as questões abordadas na problematização inicial e os conceitos tomados na construção do conhecimento. De acordo com Delizoicov e Angotti essa etapa consiste em:

Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinam o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento. (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1992, p. 29)

Nesta etapa, o professor deve elaborar atividades que objetivem capacitar os alunos a articular os conhecimentos trabalhados na construção do conhecimento, com as situações apresentadas na problematização inicial ou também, com fenômenos que apresentam alguma ligação com os conceitos apresentados. Neste sentido, Albuquerque, Santos e Ferreira evidenciam que o professor também mantém a

postura problematizadora e, sempre que possível, deve formalizar alguns conceitos que não foram aprofundados pelos alunos (ALBURQUERQUE, SANTOS e FERREIRA, 2015).

Tendo em vista estas considerações, Abreu, Ferreira e Freitas (2017) chamam a atenção para as mais diversas estratégias, com objetivo de romper com as tradicionais atividades de exercícios de fixação e resolução de problemas fechados, reduzindo o conhecimento a mera memorização, não estimulando reflexões críticas e impossibilitando a aprendizagem de conteúdos procedimentais e atitudinais.

## **2 O conteúdo escolhido**

Neste capítulo, serão discutidos, brevemente, os aspectos históricos conceituais e aplicações a respeito do tema objeto de estudo que propiciou a produção do simulador, o efeito fotoelétrico.

### **2.1 Justificativa**

De acordo com os PCN+ (BRASIL, 2002), a natureza ondulatória e quântica da luz, sua interação com os meios materiais e modelos de absorção e emissão de energia pelos átomos, são alguns exemplos que abrem espaço para uma abordagem quântica da estrutura da matéria e que compreendem os processos de interação das radiações com meios materiais para explicar, por exemplo, os fenômenos envolvidos em fotocélulas, emissão e transmissão de luz, telas de monitores e radiografias, que propiciam um novo olhar sobre o impacto da tecnologia nas formas de vida contemporâneas, além de introduzir novos elementos para uma discussão consciente da relação entre ética e ciência.

Neste sentido, a opção pelo conteúdo efeito fotoelétrico justifica-se pelo fato de ter grande potencial para a inserção da FMC no EM e discussões de temas correlacionados. Além disso, o texto oficial dos PCN+ afirma que há pouco material didático que trate dessa temática (física moderna).

Com base nessas considerações, a escolha do conteúdo e construção do simulador computacional teve como tema estruturante, matéria e radiação (unidades temáticas: matéria e suas propriedades, radiações e suas interações, energia nuclear e radioatividade, eletrônica e informática), sob a abordagem do conteúdo de efeito fotoelétrico, por elencar conceitos importantes dentro do campo conceitual e epistemológico da física e pelo teor matemático que compete a série em questão, terceiro ano do ensino médio. O efeito fotoelétrico é um dos temas centrais de discussões a respeito do surgimento da mecânica quântica e possui aplicações tecnológicas importantes no cotidiano, como por exemplo, portas de shopping, relés de acionamento automático das luzes dos postes de iluminação pública e na geração de energia elétrica, através de células fotovoltaicas, entre outras.

## 2.2 O efeito fotoelétrico

Segundo Eisberg e Resnick (EISBERG e RESNICK, 1979), define-se o efeito fotoelétrico como sendo a emissão de elétrons de uma superfície, devida à incidência de luz sobre essa superfície, conforme ilustrado na figura 1.

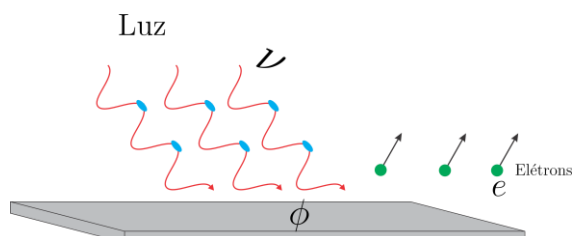


Figura 1: Representação esquemática do efeito fotoelétrico.  
Fonte: Dados do Autor.

Historicamente, a primeira observação do efeito fotoelétrico foi realizada entre 1886 e 1887 por Heinrich Hertz<sup>3</sup> (EISBERG e RESNICK, 1979) (TIPLER e LLEWELLYN, 2014). Naquela ocasião, Hertz investigava de forma experimental a natureza ondulatória da luz, descrita pela teoria eletromagnética de Maxwell. Ele confirmou pela primeira vez a existência de ondas eletromagnéticas, com auxílio do aparato experimental apresentado na figura 2, mas também observou, de forma casual, um outro efeito que mais tarde viria a contradizer alguns paradigmas da física clássica (YOUNG, 2009).

Ao incidir luz ultravioleta sobre os dois eletrodos, Hertz percebeu que a descarga elétrica entre eles ocorria mais facilmente, não sendo necessário estabelecer uma diferença de potencial (DDP) tão elevada, quando não estivesse incidindo luz, para observá-la (TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

---

<sup>3</sup> Existem controvérsias sobre a primeira observação do efeito fotoelétrico, alguns textos indicam que A. E. Becquerel observou primeiramente o efeito em 1839 (YOUNG e FREEDMAN, 2016).



Figura 2: Esquema experimental utilizado por Hertz para produzir ondas eletromagnéticas.

Fonte: [Sparkmuseum](http://Sparkmuseum.com).

Em 1888, motivado pela descoberta de Hertz, Wilhelm Hallwachs mostrou que ao incidir radiação ultravioleta sobre objetos metálicos, estes passavam a ficar carregado positivamente. Na ocasião ainda não existia o conceito do elétron, uma vez que este viria a ser descoberto por J.J. Thomson em 1897. Assim, a carga positiva era devida ao fato de os elétrons terem sido arrancados dos objetos metálicos, mediante a radiação (NUSSENZVEIG, 1998).

O fato é que do ponto de vista fenomenológico, o efeito fotoelétrico era inconsistente com as teorias até então estabelecidas, pois esperava-se que o efeito deveria ocorrer para qualquer frequência de luz (radiação); a energia dos elétrons arrancados deveria aumentar com a intensidade da radiação; um elétron deveria ser ejetado apenas se tivesse acumulado a energia suficiente para vencer a sua ligação com a eletrosfera, no entanto isso não era o observado.

Neste mesmo cenário, outra discussão a respeito de outro fato experimental observado, também sem uma teoria satisfatoriamente estabelecida, era centro de debates e indagações. Tratava-se da radiação emitida por um corpo negro. Corpo negro é definido como sendo um corpo capaz de absorver toda a radiação eletromagnética que nele incide, de modo que nenhuma luz o atravessa ou é refletida por esse mesmo corpo (OLIVEIRA e SARAIVA, 2004). Apesar dessa definição, nada impede que um corpo negro possa emitir radiação de acordo com sua temperatura.

O problema central na questão da radiação de corpo negro estava em estabelecer uma lei que descrevesse o comportamento dessa radiação emitida, até então conhecida através de medidas experimentais. A física clássica, através do eletromagnetismo de Maxwell e da termodinâmica de Boltzmann, se mostrou infeliz

nas tentativas de adequar teoricamente a chamada curva de radiação de corpo negro, com as curvas obtidas experimentalmente, conforme pode ser observado na figura 3.

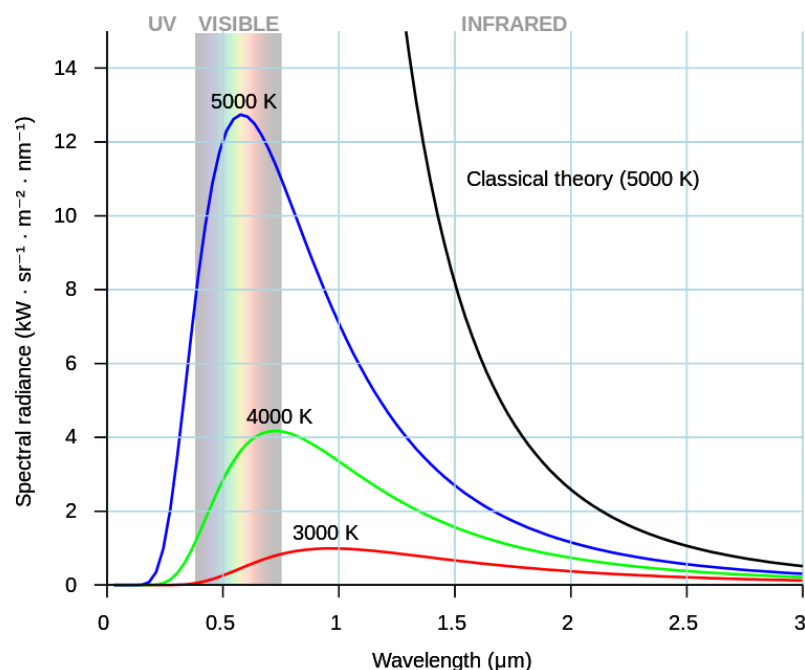


Figura 3: Radiação espectral de corpo negro (curvas de cor azul, verde e vermelha) e curva teórica de Rayleigh-Jeans (curva de cor preta).

*Fonte: Wikipédia.*

Uma tentativa de adequação entre as curvas teóricas e experimentais, para a radiação de corpo negro, consistia em considerar que a energia de radiação do corpo negro era transmitida para o meio de forma contínua. O resultado dessa tentativa ficou conhecido como lei de Rayleigh-Jeans. Do ponto de vista experimental, esta lei descrevia apenas o espectro de radiação do corpo negro para comprimentos de ondas longos. Pois, para pequenos valores de comprimentos de onda, a curva divergia da radiação emitida, conforme mostra a curva de cor preta na figura 2. Esse problema é conhecido na literatura como a catástrofe do ultravioleta (NUSSENZVEIG, 1998).

Max Planck, em 1900, propõe um artifício matemático, que do ponto de vista físico, em suas palavras, considerava um ato de desespero (NUSSENZVEIG, 1998). Planck considerou em seus cálculos que os níveis de energia dos osciladores que representavam os átomos do corpo negro absorviam e emitia de maneira discreta. Como consequência disso, a radiação emitida se tornava uma quantidade discretizada (quantizada), sendo emitida em quantidades múltiplas inteiras de uma outra mais fundamental, tratava-se do primeiro processo (indireto) de quantização da energia, algo que na época era inconcebível, diante de toda a teoria clássica estabelecida

(MILONNI, 1993)<sup>4</sup>. Dessa forma, a hipótese que Planck utilizou para resolver o problema da radiação emitida por um corpo negro é descrita matematicamente como:

$$E = nhf, \quad (1)$$

onde  $n$  é qualquer valor inteiro (fator de quantização),  $h$  é uma nova constante universal chamada de constante de Planck, cujo valor numérico é  $6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  e  $f$  é a frequência da radiação (TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Em 1902, Philipp Lenard obteve resultados experimentais sobre o efeito fotoelétrico, através de um tubo de raios catódicos, contendo duas placas metálicas em seu interior e submetido a vácuo, semelhante ao do esquema experimental da figura 4.

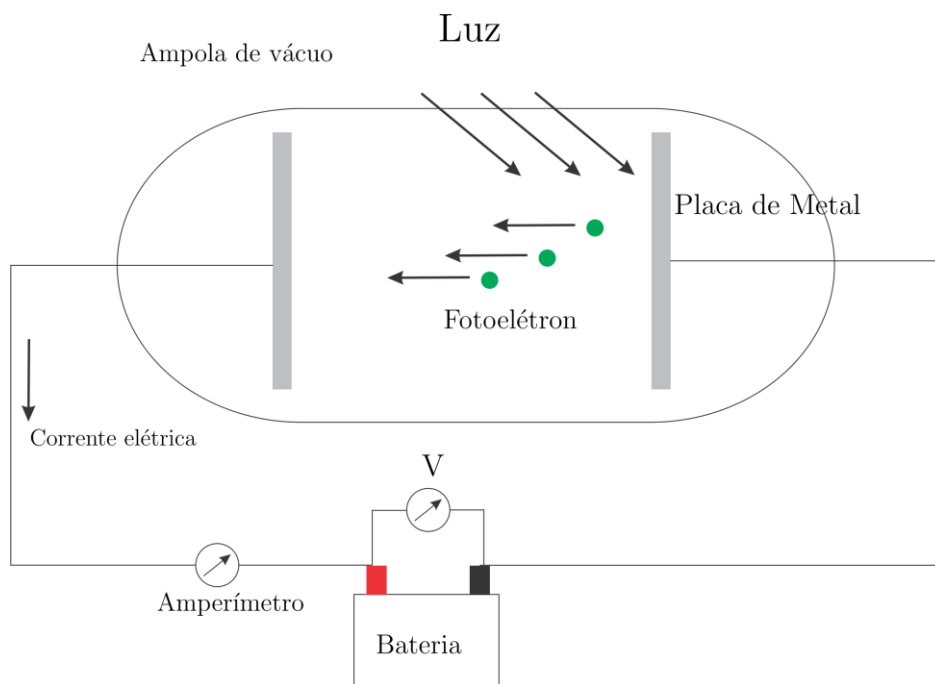


Figura 4: Representação esquemática experimental utilizada por P. Lenard.  
Fonte: Dados do Autor.

<sup>4</sup> Neste ponto, vale ressaltar que muitos livros de graduação (EISBERG e RESNICK, 1979; TIPLER e LLEWELLYN, 2014 e NUSSENZVEIG, 1998) e EM induzem seus leitores a cometerem alguns equívocos de interpretação e cronologia, apresentando uma sequência didática onde a lei de Rayleigh-Jeans é introduzida antes da teoria de Planck para a radiação do corpo negro, embora esta última tenha sido consolidada primeiro. Além disso, estes livros atribuem a hipótese de quantização da energia como sendo um ponto de partida (postulado) na teoria de Planck, quando na verdade ela é uma consequência do formalismo matemático empregado.

A partir dessas observações experimentais, Lenard propôs uma explicação para o efeito partindo do comportamento ondulatório das radiações, de maneira que a luz transporta energia e ao interagir com os elétrons do metal cede energia ao ponto que, tais elétrons arrancados, originam uma corrente elétrica que pode ser medida com auxílio de um amperímetro (TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Os resultados dessa experiência podem ser ilustrados conforme a figura 5, em que, para a intensidade  $I$  e determinada frequência  $f$  acima de um valor mínimo, chamado frequência de corte e denotada por  $f_c$ , e um dado material do catodo, todos os fotoelétrons arrancados pela luz são coletados pelo ânodo, quando a diferença de potencial  $V$  é positiva, correspondendo a uma corrente constante  $i_s$  (corrente de saturação). Se a polaridade da voltagem for invertida, de modo a frear os elétrons arrancados, a corrente continua a passar no mesmo sentido, mas vai diminuindo à medida que o  $|V|$  aumenta, até se anular para  $V = -V_f$ , onde  $V_f > 0$ , chama-se potencial de frenamento. (NUSSENZVEIG, 1998).

Além desses resultados, Lenard também constatou que: A máxima energia cinética dos elétrons emitidos (fotoelétrons) não depende da intensidade da luz, mas sim da frequência da luz; Somente após um certo valor da frequência da luz incidente, os elétrons são ejetados pelo material da placa emissora; A intensidade da luz, que esteja com uma frequência maior que a frequência de corte, afeta a intensidade da corrente observada, isto é, o número de elétrons por segundo; A incidência da luz, com frequência adequada, provoca uma liberação instantânea de fotoelétrons. Todas essas observações contrariavam fortemente a teoria clássica, sobre tudo a teoria eletromagnética de Maxwell (YOUNG e FREEDMAN, 2016).

Se a intensidade for duplicada de  $I$  para  $2I$ , o aspecto da curva na figura 5 não muda, apenas a intensidade  $i$  da corrente, aumentará diretamente proporcional à intensidade da luz e aumentando linearmente com a intensidade para valores suficientemente grandes de  $V$ , quando esta passa de  $I$  para  $2I$  (NUSSENZVEIG, 1998).

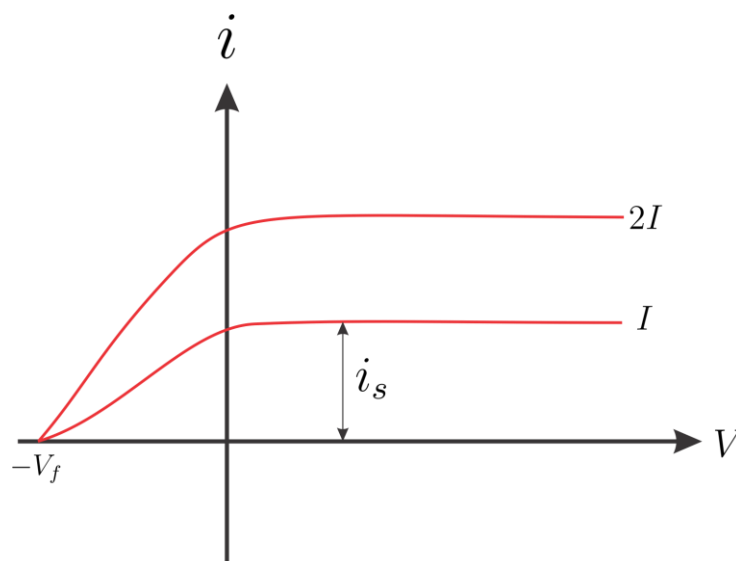


Figura 5: Corrente  $i$ , em função do potencial  $V$  do anodo, para uma luz de frequência  $f$  e duas intensidades  $I$  e  $2I$ .

Fonte: Dados do Autor

Em 1905, Einstein, no seu chamado *annus mirabilis* (ano miraculoso), momento marcado na história da ciência pela profunda revolução nas ideias da física, sintetizada basicamente em cinco artigos de Einstein (COELHO e FERREIRA, 2006) dos quais, o primeiro é intitulado como "*Über einen die Erzeugung und Umwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Standpunkt*"<sup>5</sup>. Neste artigo Einstein retoma a discussão a respeito da natureza da luz e nos concede uma interpretação corpuscular desta, a partir da concepção quântica da energia estabelecida por Planck.

Einstein propôs que a quantização da energia usada por Planck no problema do corpo negro fosse uma característica universal da luz (TIPLER e LLEWELLYN, 2014). Para ele a luz não apresentava um caráter puramente ondulatório, ao invés de estar distribuída no espaço (como sugere uma onda) a luz é constituída por pequenos "pacotes", chamados de *quantum*, dotados de uma energia bem definida cujo valor corresponde a  $hf$  (TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Quando um *quantum*, denominado *fóton*<sup>6</sup>, incide sobre a superfície do material, a sua energia é transferida para o elétron do respectivo material. Esta troca de energia pode desprender o elétron da superfície do material. A energia mínima,  $\phi$ , para que

<sup>5</sup> Traduzido do alemão como sendo: "Sobre um ponto de vista heurístico concernente à geração e transformação da luz".

<sup>6</sup> O nome "fóton" foi atribuído a Gilbert N. Lewis (1926).

isso ocorra é denominada de função trabalho, que depende do tipo de material que sofre a incidência de radiação, conforme ilustrado na figura 1.

Após a absorção da energia do fóton pelo elétron do material, a energia restante no processo é transformada em energia cinética e o elétron é ejetado, com uma determinada velocidade, de modo a respeitar o princípio de conservação da energia. Quantitativamente, o efeito fotoelétrico é descrito pela chamada equação do efeito fotoelétrico (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2012):

$$K = hf - \phi, \quad (2)$$

onde  $K$  é a energia cinética do fotoelétron ejetado, escrita como:

$$K = \frac{mv^2}{2} \quad (3)$$

onde  $m$  é a massa do elétron.

Quando uma diferença de potencial  $V$  negativa é estabelecida entre cátodo e ânodo, os elétrons sofrem uma ação repulsiva nas mediações do ânodo devido ao campo elétrico naquela região. Assim, apenas os elétrons dotados de uma energia cinética maior que  $e|V|$  ( $e$  é a carga elementar do elétron) conseguem chegar ao ânodo (TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Pode-se questionar qual o valor de potencial  $V_0$  limite para que a corrente elétrica se anule, quando uma dada frequência de radiação eletromagnética incide sobre o cátodo. Nesta situação, o potencial limite,  $V_0$ , é denominado como sendo o *potencial de corte* e está relacionado a energia cinética máxima dos elétrons emitidos, pela equação:

$$eV_0 = \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (4)$$

Experimentalmente, podemos obter um valor de  $eV_0$ , para cada elemento químico, como sugere a tabela 1:

Tabela 1: Energia mínima de alguns elementos

| Elemento | $eV_0$ |
|----------|--------|
| Alumínio | 4,3    |
| Carbono  | 5,0    |

|         |     |
|---------|-----|
| Cobre   | 4,7 |
| Ouro    | 5,1 |
| Níquel  | 5,1 |
| Silício | 4,8 |
| Prata   | 4,3 |
| Sódio   | 2,7 |

Fonte: (YOUNG e FREEDMAN, 2016).

O valor de  $V_0$  não depende da intensidade da luz incidente, o que contrariava as previsões do ponto de vista clássico.

A intensidade  $I$  de uma onda eletromagnética pode ser definida, classicamente, a partir do valor médio de  $\vec{S}$  (REITZ, MILFORD e CHRISTY, 1982), como:

$$I = \langle S \rangle: \quad \text{Intensidade (energia média por tempo por área), (5)}$$

onde  $\vec{S}$  é o vetor de *Poynting*, definido por

$$\vec{S} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu}, \quad (6)$$

onde  $\vec{E}$  representa o campo elétrico,  $\vec{B}$  representa o campo magnético e  $\mu$  é a permeabilidade magnética do meio.

A densidade de energia  $u$  associada a uma onda eletromagnética no vácuo é dada por:

$$u = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 + \frac{B^2}{2\mu_0}, \quad (7)$$

onde  $\varepsilon_0$  e  $\mu_0$  são, permissividade elétrica e permeabilidade magnética do vácuo respectivamente.

No caso em que os campos eletromagnéticos são harmônicos temporais e, por isso, podem ser descritos como soluções de ondas planas, a densidade de energia se distribui igualmente entre os campos elétrico e magnético,  $u_E = u_B$ , de modo que podemos reescrever a Eq. (7), como (REITZ, MILFORD e CHRISTY, 1982):

$$u = \varepsilon_0 E^2 = \frac{B^2}{\mu_0}. \quad (8)$$

Supondo que os campos  $\vec{E}$  e  $\vec{B}$  sejam proporcionais entre si, podemos considerá-los em uma dimensão (sem perda de generalidade), como:  $\vec{E} = E\hat{x}$ ,

$\vec{B} = (E/c)\hat{y}$ . Substituindo estes campos em 1-D na Eq. (6) e, posteriormente, substituindo o resultado desta operação na Eq. (5), a intensidade de uma onda eletromagnética será

$$I = \langle S \rangle = c\epsilon_0 \langle E^2 \rangle. \quad (9)$$

Para um campo elétrico senoidal,  $E = E_o \sin(kz - \omega t)$ , temos que a intensidade será

$$I = \frac{1}{2} c\epsilon_0 E_o^2. \quad (10)$$

De maneira geral, a intensidade dada pelas Eqs. (5) e (6) pode depender indiretamente da frequência, comprimento de onda, velocidade de propagação e, também, do meio no qual a onda eletromagnética se propaga. Para o caso específico de ondas planas em 1-D, a intensidade é diretamente proporcional ao quadrado da amplitude do campo elétrico da onda, conforme descreve a Eq.(10). Por isso, ao analisar o efeito fotoelétrico à luz da teoria clássica, Lenard esperava que a corrente elétrica gerada no circuito, pelos fotoelétrons, dependesse exclusivamente da intensidade da radiação incidente, quando esta era monocromática.

A equação do efeito fotoelétrico obtida por Einstein (Eq. 2) pode ser reescrita como:

$$eV_o = hf - \phi. \quad (11)$$

A Eq. (11) exhibe uma relação funcional entre o potencial de corte,  $V_o$ , e a frequência da luz incidente  $f$ . Esta relação funcional pode ser bem representada por uma reta, cuja inclinação não depende da natureza da substância que compõe a superfície emissora e é dada por  $h/e$ .

Na época em que Einstein fez esta previsão, não havia nenhum indício de que a constante de Planck tivesse alguma coisa a ver com o efeito fotoelétrico. Além disso não havia dados experimentais que comprovassem que o potencial de corte fosse função da frequência (TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Entre 1914 e 1916, Millikan realizou uma série de experimentos que mostraram a relação da constante de Planck com o efeito fotoelétrico. Ele já havia medido a carga elétrica dos elétrons cinco anos antes (TIPLER e LLEWELLYN, 2014). Na ocasião, Millikan obteve a curva do potencial de corte em função da frequência de maneira experimental, análoga a figura 6, além de medir o valor de  $h$ , já obtido teoricamente por Planck.

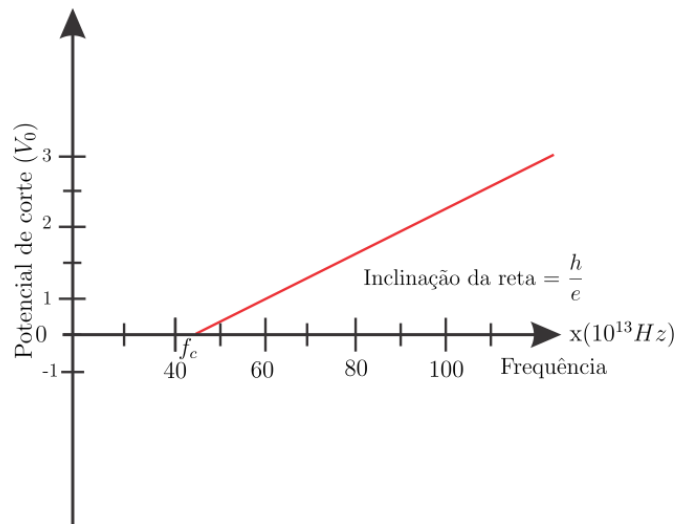


Figura 6 – Curva do efeito fotoelétrico.

Fonte: Dados do Autor.

A partir da figura 6, podemos observar que o efeito fotoelétrico admite um valor mínimo de frequência para que seja observado, cuja denominação é *frequência de corte*,  $f_c$ . Esta frequência pode ser obtida a partir da função trabalho, levando em conta  $V_0 = 0$  na equação do efeito fotoelétrico, Eq. (11), desse modo, encontramos o valor dessa frequência:

$$f_c = \frac{\phi}{h}. \quad (12)$$

Do ponto de vista das aplicações tecnológicas, o efeito fotoelétrico possibilitou uma série de novos equipamentos e dispositivos, como televisores, sistemas de alarmes, portas automáticas, sistemas de comando e controle, entre outros. Estes dispositivos transformaram nossa sociedade em diversos aspectos, como ocorreu com as células fotoelétricas que transformam a energia luminosa em energia elétrica, tendo como fonte energética primária o próprio sol (CARVALHO, 2010).

Essas fotocélulas fazem parte do dispositivo conhecido como relé fotoelétrico, cuja aplicação está relacionada ao acionamento de um circuito elétrico, quando há ausência de luz. Este tipo de aplicação é amplamente utilizada em postes de iluminação pública, conforme ilustrado na figura 7.



Figura 7 :Iluminação em vias acionadas por relé fotoelétrico.

Fonte: Decorlux.

As fotocélulas também são aplicadas em painéis solares, conforme ilustrado na figura 8, e integradas por um processo conhecido como efeito fotovoltaico, que, em princípio, está diretamente relacionado ao efeito fotoelétrico.

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez por Edmund Becquerel em 1839. O efeito consiste no surgimento de uma diferença de potencial entre dois semicondutores, como silício dopado com fósforo, com propriedades elétricas diferentes devido à incidência de luz na junção (BUHLER, 2011).

A explicação para o efeito fotovoltaico parte do princípio da teoria das bandas de energia, que consiste em caracterizar como se dá o transporte eletrônico de um determinado material. Basicamente, um determinado material admite três bandas de energia, denominadas de banda de valência, de condução e banda proibida (*gap*). De modo que se este material, semicondutor por exemplo, for exposto à luz solar, fótons com energia maior que a energia do *gap* permitirão aos elétrons passarem da banda de valência para a banda de condução, do material. (SOUZA, 2016).

Caso o fóton transfira mais energia que o *gap*, o excedente se transforma em calor aquecendo o material (efeito chamado de termalização) (SOUZA, 2016).

Enquanto o efeito fotovoltaico é caracterizado como fenômeno interno ao material e é descrito para semicondutores, o efeito fotoelétrico é um fenômeno de arrancamento de elétrons do material por radiação incidente e descrito para metais, além de ter uma frequência mínima para ser caracterizado, esse fato define o efeito fotoelétrico como um fenômeno externo e de arrancamento de elétrons do material (SOUZA, 2016).



Figura 8: Painéis de energia solar.

Fonte: Thinkstock.

A fotocélula também faz parte do dispositivo conhecido como relé fotoelétrico, cuja aplicação está relacionada ao acionamento de um circuito quando há ausência de luz. Este tipo de aplicação é amplamente utilizada em postes de iluminação pública.

Outra aplicação imediata do efeito fotoelétrico está relacionada aos sensores de presença, utilizado, por exemplo, em portas automáticas. Seu funcionamento está relacionado geralmente ao uso de ondas no espectro eletromagnético, no infravermelho, que são continuamente recebidas por um receptor, que determina o fechamento da porta. Quando uma pessoa ou um objeto se aproxima do sensor e interrompe a transmissão de tais ondas até o receptor, um circuito elétrico secundário é acionado e abre a porta, conforme ilustrado na figura 9.



Figura 9: Porta de abertura automática

Fonte: YouTube

Levando em consideração o efeito fotoelétrico, sua construção quanto empreendimento humano, por apresentar uma série de aplicações importantes no cotidiano e por ser um tema cuja explicação nos remete a vários conceitos abstratos que se apresentam em um cenário dinâmico, o processo de ensino e aprendizagem deste fenômeno pode ser melhor aproveitado mediante a utilização das simulações computacionais.

### 3 Pressupostos metodológicos

Neste capítulo será discutida a intervenção metodológica com o simulador *SimuPhoton*, a partir da aplicação de uma sequência didática (apêndice A) produzida na perspectiva dos 3MP. Será apresentada a descrição da população onde foi aplicada a intervenção, o método para análise dos resultados, descrição do simulador computacional e a descrição das etapas da intervenção em cada um dos momentos pedagógicos.

#### 3.1 A intervenção metodológica

Alinhado ao objetivo inicial, de investigar o condicionamento de um ambiente de aprendizagem, a partir da utilização do software *SimuPhoton* associado a intervenção didático-pedagógica na perspectiva dos 3MP, a metodologia para a análise da intervenção apresentará um caráter quali-quantitativo. Qualitativo pela natureza da abordagem e pelo interesse em investigar a experiência dos alunos durante o processo e quantitativo no tratamento dos dados gerados pelos questionários avaliativos.

De acordo com Lüdke e André (1986) a pesquisa qualitativa envolve a obtenção de dados descritivos, obtidos no contato direto do pesquisador com a situação estudada. Ela enfatiza mais o processo, do que o produto e se preocupa em retratar a perspectiva dos participantes.

Dentre as possibilidades da metodologia qualitativa, a pesquisa adotada nesta dissertação está inserida no contexto do estudo de caso, uma vez que, consiste na observação de uma determinada situação singular e particular que visa à descoberta pela variedade de fontes de informação e enfatiza a interpretação em contexto (BOGDAN e BIKLEN, 1994), uma vez que, se baseia nas impressões dos alunos durante o processo, considerando a experiência pessoal de cada um.

A pesquisa também apresenta um caráter quantitativo, uma vez que, envolve as impressões objetivas do objeto em questão (*SimuPhoton*), considera a avaliação objetiva quanto aos aspectos técnicos, pedagógicos e quanto ao conteúdo, como propõem alguns autores (VALENTE, 1991), (VIEIRA, 1999) e (CAMPOS, 2001). Levando em consideração os questionários contidos no apêndice B, foi realizada uma

análise estatística da influência do produto em si no processo de ensino e aprendizagem do conteúdo efeito fotoelétrico.

A investigação desta dissertação surgiu, primordialmente, dentro do contexto da disciplina de atividades computacionais para o ensino médio e fundamental na qual surgiu a motivação para a produção de um simulador que pudesse contribuir para a melhoria e abordagem do conteúdo de efeito fotoelétrico, tema que é geralmente abordado no terceiro ano do ensino médio.

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado basicamente em duas etapas. A primeira com a produção do simulador computacional em si e a segunda onde foi observado e analisado o efeito do uso deste simulador em ambientes reais de ensino, em conjunto com a metodologia didático-pedagógica dos 3MP.

O *locus* da intervenção foi o Instituto Federal do Pará (IFPA), campus industrial de Marabá, localizado na cidade de Marabá, no Sudeste Paraense. A escolha do local se deu em virtude da atuação profissional do mestrando naquela época, além de outros elementos que possibilitaram o desenvolvimento da investigação, como a série dos alunos envolvidos na investigação e, principalmente, das condições de infraestrutura oferecidas pela escola, como computadores, *Datashow*, conexão de internet e etc.

Os sujeitos desta pesquisa foram alunos do 3º ano do ensino médio, de uma turma que continha um total de vinte e dois alunos com idades entre 17 e 26 anos, todos os alunos assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) contido no apêndice C.

Na ocasião, todas as aulas de física ocorreram em apenas um único dia da semana e seus prazos e conteúdos seguiram um calendário específico fixado pela coordenação da escola, o que dentro da realidade da pesquisa educacional é um fator limitante devido aos impactos durante a implementação da proposta em um tempo hábil.

A implementação da intervenção didática-metodológica teve como projeto a execução das atividades planejadas através de uma sequência didática para serem desenvolvidas em cada momento, seguindo os 3MP de Delizoicov. Ao todo ocorreram quatro encontros. Cada encontro foi composto de duas aulas de 50 minutos.

Uma consideração importante foi o fato de ocorrerem imprevistos relevantes na execução da proposta que prejudicaram dois dos encontros, a saber: o primeiro deles

se tratava da greve dos rodoviários na cidade, o que impossibilitava o transporte escolar dos alunos, impossibilitando que ocorresse um dos encontros. O segundo estava relacionado ao conselho de classe da escola, obrigando que outro encontro fosse adiado. Dessa forma, as atividades planejadas para dois encontros tiveram que ser realizadas em somente um, sendo este fato, um fator determinante para o encadeamento da implementação da proposta que foi organizada conforme o quadro 1.

*Quadro 1 – Organização dos Três Momentos Pedagógicos com foco temático: Efeito Fotoelétrico*

| <b>Momento</b>                     | <b>Nº de encontros</b> | <b>Atividades</b>                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Problematização inicial</b>     | 1                      | I. Questionário Prévio.<br>II. Apresentação de vídeos com a temática: Portas de Shopping e Acendimento automático das luzes de poste.<br>III. Problematização do tema e questionamentos.<br>IV. Diálogo entre os alunos e professor sobre o tema. |
| <b>Organização do conhecimento</b> | 2                      | I. Aula expositiva: O efeito fotoelétrico<br>II. Atividade executada no laboratório de informática com auxílio do simulador <b>SimuPhoton</b> com auxílio do roteiro.                                                                             |
| <b>Aplicação do conhecimento</b>   | 1                      | I. Aplicação de questionário objetivo<br>II. Preenchimento do mapa conceitual<br>III. Avaliação das aulas com uso do simulador                                                                                                                    |

*Fonte: Dados do Autor.*

### **3.2 Produção e descrição do simulador computacional**

O simulador computacional, objeto deste trabalho e que compõe parte do produto educacional, foi desenvolvido em sua totalidade utilizando o software de modelagem 3D Blender®. Blender é um software de código aberto e gratuito que reúne uma diversidade de recursos computacionais avançados para a produção de imagens tridimensionais, edição de fotos, vídeos, animações, texturização, composição, renderização, criação de ambientes virtuais, modelagem e aplicações interativas em

3D, como jogos e apresentações (BLENDER), através do seu motor de jogo integrado denominado como *Game Engine*<sup>7</sup>, inclui suporte ao *Python* como linguagem de scripts que pode ser usada em seu motor de jogo, para aprimoramento e programação das aplicações. A versão utilizada para a criação deste simulador foi a Blender v.2.79b.

A simulação computacional produzida tem como objetivo abordar os principais pontos descritos no referencial teórico destacado no capítulo anterior, visando diminuir lacunas no que tange o efeito fotoelétrico, através de uma interface interativa que permite mudanças nos principais parâmetros que constituem o efeito. O simulador pode ser facilmente instalado e acessado em modo “*off line*”, em sistemas operacionais Windows®, e se encontra disponível para testes no sítio: [https://drive.google.com/open?id=1xhXBoQkH2AbPHAZFwPZEEe3CKaK9I\\_pK](https://drive.google.com/open?id=1xhXBoQkH2AbPHAZFwPZEEe3CKaK9I_pK) .

Ao abrir o programa *SimuPhoton*, temos a janela inicial apresentada na figura 10 que dispõe de um menu de navegação à direita e, no canto inferior a esquerda, o selo de licença *Creative Commons*, sendo esta, uma licença do tipo *Atribuição-SemDerivações-Sem Derivados* (CC BY-NC-ND), permitindo que outros façam download dos seus trabalhos e os compartilhem, desde que atribuam os devidos créditos, mas sem a possibilidade de alterá-los de nenhuma forma ou utilizá-los para fins comerciais<sup>8</sup>.

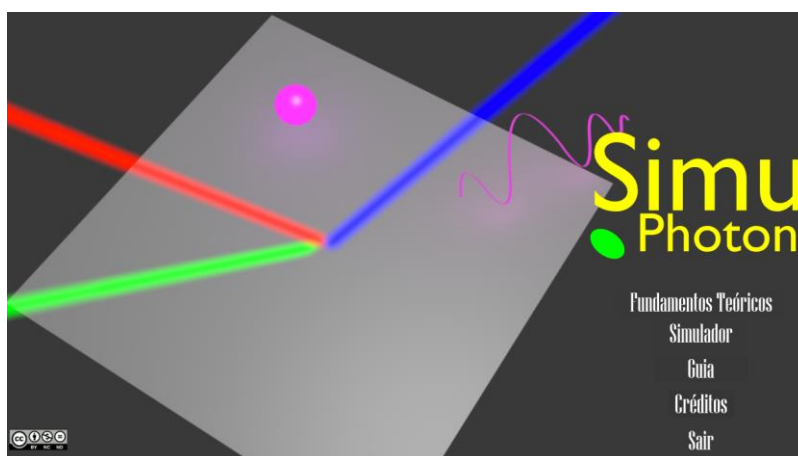


Figura 10: Janela inicial *SimuPhoton*.

Fonte: Dados do Autor.

<sup>7</sup> A partir da versão 2.8, o recurso game engine foi retirado pelos desenvolvedores.

<sup>8</sup> Para mais informações: [https://creativecommons.org/licenses/?lang=pt\\_BR](https://creativecommons.org/licenses/?lang=pt_BR)

Na tela inicial temos a opção de escolher o menu/item *Fundamentos Teóricos*, onde é apresentado, de maneira breve, o contexto histórico e conceitual do efeito fotoelétrico, podendo servir de suporte teórico tanto ao professor como ao aluno, em uma pesquisa inicial sobre o conteúdo a ser trabalhado. A figura 11 ilustra uma das janelas de navegação dessa opção.

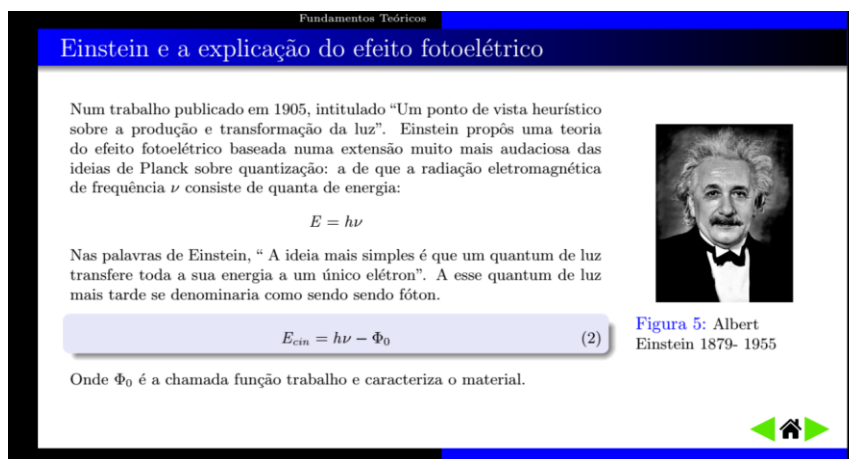


Figura 11: Tela de fundamentos teóricos.

Fonte: Dados do Autor.

Na opção *Simulador* é apresentado o ambiente de simulação do efeito fotoelétrico, conforme ilustrado na figura 12. Os parâmetros que podem ser variados são:

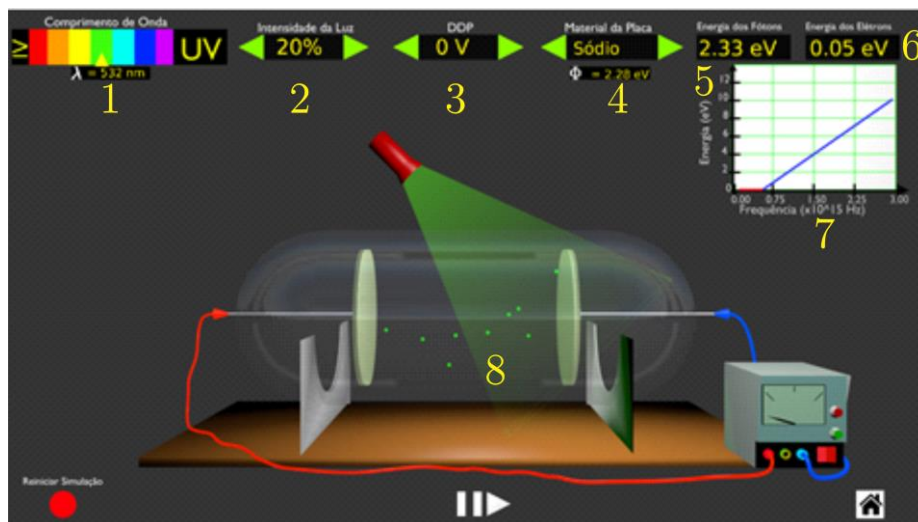


Figura 12: Tela da Simulação. Os números em amarelo indicam os parâmetros que podem ser variados.

Fonte: Dados do Autor.

- 1- **Comprimento de onda:** Doze valores discretos e definidos da radiação incidente, indo do infravermelho (IV) ao ultravioleta (UV).
- 2- **Intensidade da Luz:** Ajusta a intensidade da radiação sobre a placa, podendo ser variada de 0% a 100% com intervalos de 10%.
- 3- **DDP:** Seletor responsável por estabelecer uma diferença de potencial entre a placa emissora e a receptora do efeito fotoelétrico, pode ter seu valor configurado de -5 V à 5 V, controlando, assim, o sentido de deslocamento do fotoelétron ejetado. Este seletor também opera em valores discretos com incremento de 0,5 V. Pode ser utilizado para determinar, de maneira aproximada, o potencial de frenagem referente aos fotoelétrons emitidos.
- 4- **Material da Placa:** Apresenta a possibilidade de escolha do material da placa emissora no efeito fotoelétrico. Os materiais disponíveis para a simulação são: Sódio, Zinco, Cobre, Platina, Cálcio e Magnésio.
- 5- **Energia dos fótons:** Exibe o valor da energia de cada fóton incidente sobre a placa emissora em unidades de elétron-volt ( $eV$ ), de acordo com a hipótese de Einstein da Luz, dada em termos da constante de Planck, pela Eq. (11).
- 6- **Energia dos elétrons:** Exibe o valor da energia cinética dos elétrons emitidos, após a interação da radiação eletromagnética incidente com o material da placa emissora.
- 7- **Gráfico:** Exibe a curva característica do efeito fotoelétrico, de acordo com o elemento químico para a placa emissora escolhido.
- 8- **Elétrons ejetados:** Representação lúdica do elétron emitido, após a absorção de energia do fóton incidente. A velocidade desses elétrons depende do comprimento de onda escolhido e do valor de DDP. Esta velocidade é obtida a partir da Eq. (3).

### 3.3 Descrição dos momentos pedagógicos

Nessa seção será apresentada a descrição de cada momento pedagógico, além da aplicação e execução das atividades para análise posterior da implicação do simulador no ensino do conteúdo.

### 3.3.1 O primeiro momento

No primeiro momento, caracterizado pela problematização inicial, foi aplicado um questionário com cinco questões de caráter objetivo, contidas no Apêndice D, com a finalidade de conhecer o que os alunos já sabiam sobre ondas eletromagnéticas e ondas de um modo geral. Conceitos como frequência, velocidade de propagação, comprimento de onda e intensidade foram explorados nas questões. Dessa maneira, seria possível ter um diagnóstico inicial da turma e saber se haveria condições de abordar conceitos relevantes de ondulatória, para a utilização do simulador na construção do conhecimento do efeito fotoelétrico, durante o segundo momento.

Ainda neste momento, a turma foi dividida em grupos de quatro alunos e em seguida foram apresentados dois vídeos, com menos de dois minutos cada um, que exemplificavam duas aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano, a saber: o primeiro a respeito da abertura automática das portas de shopping e o segundo era relacionado ao acionamento de lâmpadas de postes de iluminação pública. Ambos os vídeos foram retirados da plataforma *Youtube* ilustrados nas figuras 13 e 14.



*Figura 13: Primeiro vídeo usado na problematização inicial.*

*Fonte: YouTube.*



Figura 14: Segundo vídeo usado na problematização inicial.

Fonte: YouTube.

Após a apresentação dos vídeos, foram entregues algumas questões aos grupos para início das discussões e registros sobre o que ocasionava cada uma das situações apresentadas nos vídeos. A ideia era iniciar um momento dialógico e as questões apresentadas como forma de problematização foram:

- Como você explicaria o funcionamento da abertura automática da porta do shopping?
- Como você explicaria o fato de as luzes dos postes acenderem automaticamente e ao mesmo tempo quando anoitece?
- Existe alguma coisa que relacione as duas situações? Na sua opinião o que seria?
- Em uma situação onde o céu fique nublado, mesmo durante o dia, você acha que as luzes do poste permaneceriam apagadas?
- Na sua opinião, qualquer outro corpo, que não fosse o humano ou outro animal, também teria capacidade para abrir a porta do shopping ao se aproximar? Como você justificaria este comportamento?

Ainda neste momento foi feito uma espécie de debate com o professor (pesquisador), em que os alunos apresentaram hipóteses e argumentos que tinham como princípio outras áreas da física, para justificar as situações observadas nos vídeos, desse modo, o primeiro momento também serviu como momento motivador para o estudo do tema, já que alguns alunos ficaram curiosos em saber como, de fato, ocorria tais aplicações, pois eram situações corriqueiramente vividas por eles mas

nunca haviam se perguntado como aquelas situações ocorriam ou não sabiam explicá-las.

Para responder tais indagações o conhecimento formal deveria ser apresentado/ construído no segundo momento.

### **3.3.2 O segundo momento**

O segundo momento, caracterizado como construção do conhecimento, ocorreu no laboratório de informática em duas partes. Primeiramente foi pedido para que os alunos formassem duplas e se dispusessem em cada computador, foi orientado que abrissem o programa *Simuphoton*.

Com a tela inicial do programa aberta, foi orientado que os alunos acessassem a opção *fundamentos teóricos*, com o objetivo de introduzir os alunos ao tema.

A aula de caráter expositiva teve como objetivo apresentar o efeito fotoelétrico nos seus aspectos históricos, começando com as observações de Heinrich Hertz acerca do efeito fotoelétrico, a inconsistência experimental do efeito fotoelétrico com a teoria clássica, a hipótese de Planck e a descrição feita por Einstein que culminou em seu Nobel em 1915.

Quanto aos conceitos físicos envolvidos, foram abordados o conceito de corpo negro, a quantização de energia concebida por Planck, o próprio conceito do efeito fotoelétrico e a influência de suas principais variáveis envolvidas como frequência, frequência de corte, intensidade da radiação e função trabalho. Com relação as aplicações, foram ilustradas as já apresentadas na problematização inicial e outras aplicações, como controles remotos, câmeras fotográficas e geração de energia elétrica.

Os recursos dessa aula foram data Show, em que era utilizado o próprio programa como meio de apresentar as aulas (*slides*), dessa forma os alunos acompanhavam a apresentação a partir do seu computador. Durante a parte expositiva da aula, o programa *SimuPhoton* foi utilizado como recurso didático e, sempre que possível, conceitos relacionados a ondulatória e a ondas eletromagnéticas eram retomados para uma melhor compreensão acerca do tema.

Em seguida, iniciou-se a atividade com a utilização do simulador virtual *SimuPhoton*. A ferramenta recém desenvolvida não havia sido testada em nenhuma turma até o momento, o que, por sua vez, nos remeteria às suas reais potencialidades

quanto material de apoio pedagógico. A atividade escolhida em forma de roteiro (Apêndice E) para ser utilizada junto ao programa consistia em um conjunto de onze questões para serem respondidas durante a execução da simulação com a respectiva intervenção com o professor sempre que possível, pois neste momento os alunos deviam realizar a observação e tirarem suas próprias conclusões.



Figura 15: Parte do roteiro de atividades utilizado com simulador.

Fonte: Dados do Autor.

Abaixo estão apresentadas algumas das questões contidas no roteiro de atividades.

- Ao incidir a radiação sobre a placa de sódio nas condições impostas o que pôde ser observado?
- O que ocorre ao aumentarmos a intensidade da radiação sobre a placa?
- A escolha do material foi importante para a ocorrência do efeito fotoelétrico? Como você explicaria sua afirmação?
- Segundo a teoria ondulatória da luz, aumentando a intensidade da luz (e consequentemente sua energia) os elétrons ejetados deveriam ser mais velozes. O que você observou aumentando a intensidade da luz na simulação?

Após a execução das atividades com o simulador houve a aplicação de um questionário. Nesse questionário havia cinco questões objetivas, a fim de avaliar de

forma rápida a execução da atividade com o simulador (confira o Apêndice F). Vale ressaltar que o caráter das atividades e questões propostas focavam principalmente em questões conceituais envolvendo o tema, o que de certa forma acrescentava uma dificuldade, uma vez, que os conceitos requerem um tempo e situações problemas para se consolidarem efetivamente. Outro ponto a ser considerado é que os alunos não estavam habituados a este tipo de metodologia, de maneira a mudar a forma como perceberam a física além dos cálculos e de problemas focados apenas do ponto de vista matemático.

Este momento pedagógico, como destacado no quadro 1, foi realizado em dois encontros, sendo que o segundo encontro desta atividade foi realizado no mesmo dia em que se iniciou o terceiro momento devido aos fatores supracitados.

### **3.3.3 O terceiro momento**

No último momento, iniciado logo ao término da construção do conhecimento, a atividade proposta de avaliação do conhecimento, se deu com um mapa conceitual. O objetivo desta atividade era permitir que os alunos associassem os principais conceitos com sua respectiva ação dentro do fenômeno efeito fotoelétrico, confira o Apêndice G.

Mapa conceitual é um conceito que surgiu na década de 1970, através do educador Joseph Novak e está diretamente ligado a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (MOREIRA e MASSONI, 2006) e podem ser utilizados em inúmeras situações, podendo se tornar um instrumento interessante de avaliação.

Na atividade em questão, os alunos não construíram o mapa conceitual em sua totalidade. Mas, através de seu preenchimento, foi possível observar como eles relacionavam os conceitos abordados no segundo momento.

## 4 Resultados e discussões

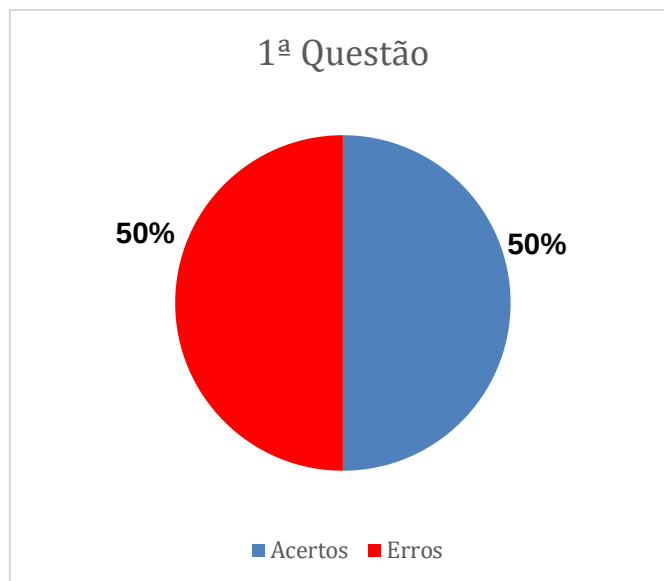
Neste capítulo serão apresentados os dados coletados através dos instrumentos descritos de acordo com a metodologia e sua posterior discussão, os dados e as discussões são apresentados de acordo com cada momento pedagógico definido na metodologia e apresentados através dos registros das atividades realizadas pelos alunos.

### 4.1 O primeiro momento

O primeiro momento da intervenção consistiu na aplicação de um questionário prévio (Apêndice H) a respeito de ondas, focando principalmente em ondas eletromagnéticas. O questionário realizado de forma objetiva continha questões conceituais a respeito do tema e seu objetivo consistia em atualizar e/ou relembrar os alunos acerca deste tema, já trabalhado anteriormente, e verificar quais estratégias metodológicas poderiam ser utilizadas para abordagem do tema central, efeito fotoelétrico.

As duas primeiras questões tinham como objetivo saber se os alunos conseguiam relacionar conceitos, como: velocidade; período; frequência; comprimento de onda e energia, com suas respectivas unidades no SI e associassem o conceito de elétron-volt, visto nas aulas de eletricidade, como uma forma de escrever a energia associada a uma carga elétrica.

Para a primeira questão, os resultados quantitativos estão dispostos na figura 16, de onde conclui-se que dos vinte e dois alunos avaliados 50% souberam relacionar corretamente cada um dos conceitos envolvidos, com a sua respectiva unidade no SI, tornando evidente que metade da turma tinha algum conhecimento prévio sobre ondulatória. Já a outra metade cometeu erros conceituais com relação ao significado das grandezas envolvidas, de modo que, dos 50% dos alunos que erraram, 64% destes (ou 32% do total de alunos), trocaram a unidade de período, dada em segundos  $[s]$ , por frequência em  $[Hz]$ , demonstrando que ainda há uma confusão entre estes dois conceitos relativamente próximos ao tema. Ainda nesta questão, outros erros de troca de unidades foram notados, como a troca da unidade de frequência no SI por comprimento de onda.



*Figura 16: Percentual de acertos e erros referentes a primeira questão*

*Fonte: Dados do Autor*

Para a segunda questão, nenhum dos alunos relacionou diretamente a unidade elétron-volt [ $eV$ ], como sendo equivalente a unidade de energia *Joule* [ $J$ ] no SI. Do total de respostas concedidas, cerca de 41% consideraram a unidade *Volt* como sendo equivalente a unidade de energia [ $J$ ], o que dentro da prática referente ao ensino deste tema é uma situação comum, pois a abordagem de grandezas elétricas, como campo elétrico e potencial elétrico, por vezes acarreta alguma confusão ao se analisar dimensionalmente, por exemplo, o potencial elétrico, dado em termos da energia por unidade de carga elétrica. Para o restante desta mesma questão, 59% consideraram que a unidade de carga elétrica [ $C$ ], é equivalente a unidade de energia no SI. Os resultados da segunda questão estão dispostos na figura 17.

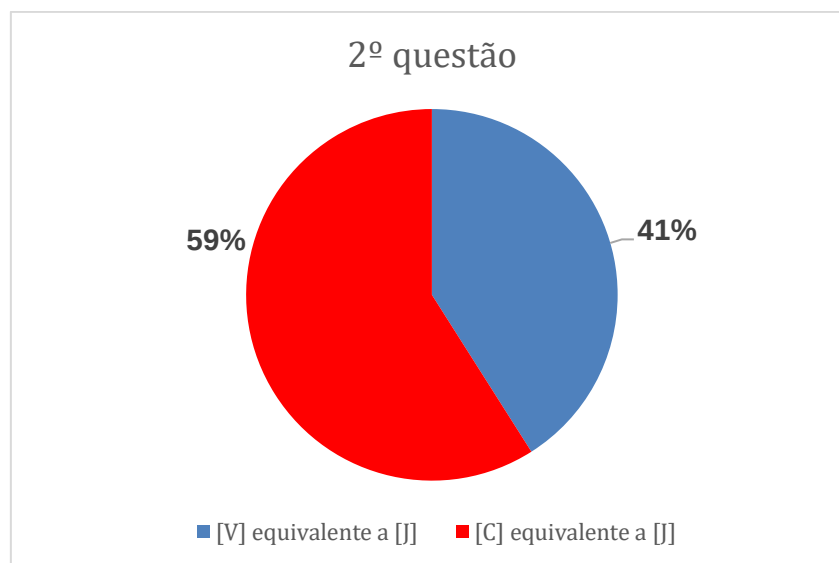


Figura 17: Percentual de erros referentes a segunda questão.

Fonte: Dados do Autor.

A terceira questão, de caráter subjetivo, pedia para que os alunos escrevessem quais conceitos dentro do tema ondulatória estariam diretamente relacionados com a intensidade de uma onda. As respostas a essa questão seguiram os padrões apresentados no quadro 2, cujas percentagens estão dispostas na figura 18.

Quadro 2: Padrões das respostas à terceira questão.

| Padrão    | Resposta associada                                                                                                                        |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>R1</b> | Atribuíram a intensidade de uma onda diretamente a sua frequência ou ao comprimento de onda.                                              |
| <b>R2</b> | Atribuíram a intensidade de uma onda indiretamente a velocidade de propagação, através da relação entre frequência e comprimento de onda. |
| <b>R3</b> | Atribuíram a intensidade de uma onda ao meio de propagação.                                                                               |
| <b>R4</b> | Não responderam nada.                                                                                                                     |

Fonte: Dados do Autor.

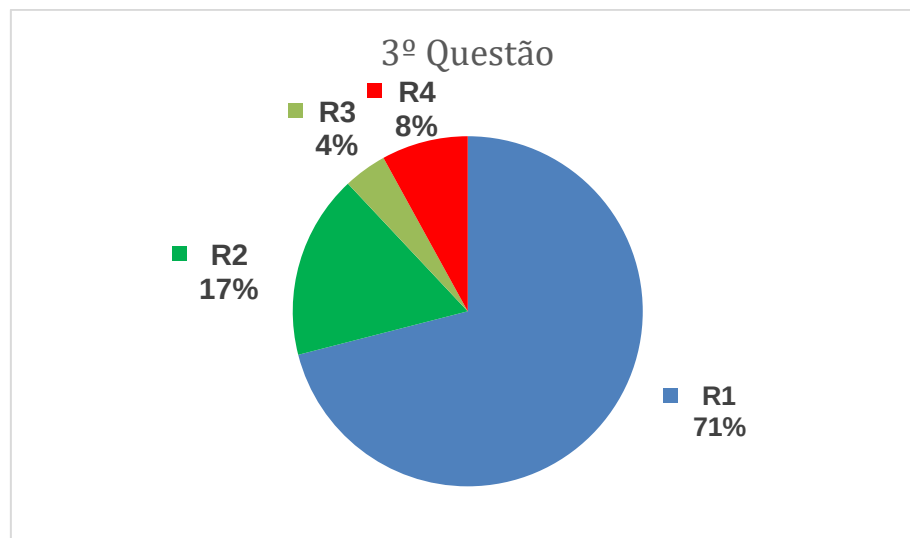


Figura 18: Percentual associado aos padrões de resposta da terceira questão.

Fonte: Dados do Autor.

A quarta questão apresentava como resposta, quatro alternativas a respeito das características de ondas eletromagnéticas, de modo que os alunos deveriam marcar apenas uma alternativa correta. Como resultado, 48% dos alunos marcaram corretamente a alternativa que melhor caracterizava uma onda eletromagnética, como pode ser observado na figura 19. Vale ressaltar que dos 52% que erraram, 57% destes, ou 30% do total de alunos, ainda confundem ondas eletromagnéticas com ondas mecânicas, demonstrando que tal conceito ainda não estava bem estabelecido para eles.

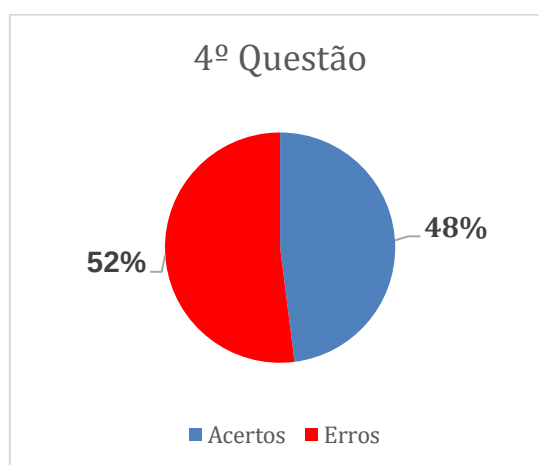


Figura 19: Porcentagem de erros e acertos referentes a quarta questão.

Fonte: Dados do Autor.

A quinta e última questão consistia em relacionar uma aplicação de ondas eletromagnéticas, tendo como tema raios X. Nesta questão, cerca de 41% dos alunos da turma sinalizaram a resposta correta, entendendo que os raios X são ondas eletromagnéticas de altas frequências, como pode ser observado na figura 20.

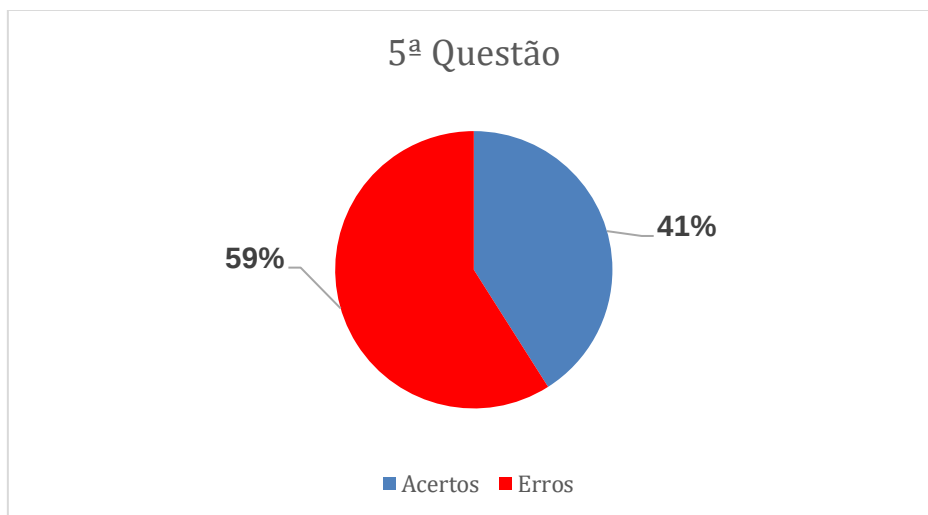


Figura 20: Porcentagem de erros e acertos referentes a quinta questão.

Fonte: Dados do Autor.

Após a aplicação do questionário prévio foi realizada a apresentação de um novo tema, a partir da apresentação de dois vídeos que evidenciavam duas situações em que ocorrem aplicações diretas do efeito fotoelétrico. No primeiro vídeo era apresentado o acendimento automático das luzes dos postes ao anoitecer. Já no segundo vídeo era apresentada a abertura automática de portas, durante aproximação de pessoas.

De acordo com Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), nesta etapa da abordagem, a discussão inicial ocorre no “pequeno grupo” (até quatro pessoas), cada grupo deve anotar a síntese das conclusões, para posterior apresentação e discussão no “grande grupo” (turma toda). Desse modo, a turma foi organizada em pequenos grupos e em seguida foram entregues algumas questões a estes grupos, com respeito as situações apresentadas nos vídeos. Nestas questões de caráter subjetivo era solicitado que os alunos explicassem, com base em seu senso comum ou experiências do cotidiano, as situações apresentadas nos vídeos. Os objetivos destas

questões eram de instigar, provocar, motivar os alunos acerca do tema para o segundo momento, a construção do conhecimento.

A primeira pergunta da problematização foi: **Analisando a situação apresentada no vídeo, como você explicaria o funcionamento da abertura automática da porta do shopping?**

Obteve-se como resultado as seguintes respostas, de acordo com cada grupo:<sup>9</sup>

**[G1]:** *“Isso ocorre devido ter sensores que captam as ondas das pessoas quando se aproximam da porta que acionam outro sensor para abrir a porta.”*

**[G2]:** *“Existe um sensor de calor que capta as ondas de calor presentes, por isso ao se aproximar da porta esse dispositivo é acionado e a porta é aberta.”*

**[G3]:** *“Há dois fatores prováveis, o que talvez seja um sensor de movimento que detecta a aproximação, o segundo caso seria a pressão de alguma determinada placa no piso que atue um mecanismo para a abertura da porta.”*

**[G4]:** *“Sensor infravermelho. Quando um corpo possui calor corporal entra em movimento em direção as portas, as mesmas se abrem por conta do sensor que detecta o calor do indivíduo.”*

**[G5]:** *“A porta do shopping se abre de acordo com que a pessoa se aproxima da mesma, tal acontecimento ocorre devido ao sensor que fica um pouco antes da porta, sensor de movimento”.*

**[G6]:** *“Sensor de movimento e infravermelho. O que fará a porta abrir será a captação da energia emitida por um corpo em forma de calor.”*

Nesta primeira questão pode-se notar que os alunos elaboraram teorias parecidas, para justificar o funcionamento da abertura automática das portas apresentada em um dos vídeos, utilizando conhecimentos prévios e até mesmo dando

---

<sup>9</sup> As respostas dos alunos a todas as perguntas foram transcritas, mantendo-se os eventuais erros cometidos por eles.

indícios de seu funcionamento dentro de um contexto físico a partir do uso de palavras chaves como: infravermelho, ondas, energia, calor, movimento e etc.

A segunda pergunta era: **Como você explicaria o fato das luzes dos postes acenderem automaticamente e ao mesmo tempo quando anoitece?**

As repostas obtidas foram:

**[G1]:** *“Isso também pode ser explicado pela presença de sensores luminosas, que captam uma certa quantidade de luz e quando essa intensidade for baixa, as luzes acendem. Um exemplo disso é o ligamento dos postes em dias nublados.”*

**[G2]:** *“De dia as ondas do sol aquecem um metal que dilata e faz o circuito abrir e impedir que a luz ligue, já a noite como não tem sol, o metal comprime fechando o circuito, ligando a iluminação.”*

**[G3]:** *“Elas podem ter um sensor que detecta que não há luz mais luz do sol sendo emitido com tanta intensidade, ou algum mecanismo programado para ativar com determinados horário.”*

**[G4]:** *“As lâmpadas são programadas para acenderem de acordo com determinada temperatura, ou seja, em um dia nublado onde a temperatura está mais fria as luzes permanecem acesas.”*

**[G5]:** *“O fato das luzes do poste se acenderem automaticamente e ao mesmo tempo quando anoitece é que tal ação já foi programada por algum aparelho por alguém que trabalha em um setor de energia como a CELPA.”*

**[G6]:** *“Sensor de luminosidade. Quando há a baixa presença de luz, o poste ligará.”*

Novamente, assim como nas respostas à primeira pergunta da problematização, os alunos elaboraram algumas explicações que julgavam plausíveis, relacionadas, sempre que possível à termodinâmica, como por exemplo a questão da dilatação dos metais dada pelo grupo **G2** e a influencia da temperatura do meio, apresentada pelo grupo **G4**. Outra observação interessante é que os grupos **G3**, **G4**

e **G5** atribuíram o acendimento das luzes ao funcionamento de um mecanismo programável, fazendo alusão a um temporizador.

A terceira pergunta da problematização inicial foi: **Existe alguma coisa que relacione as duas situações? Na sua opinião o que seria?**

Para essa pergunta da problematização as respostas foram:

**[G1]:** *“A relação se dá por calor.”*

**[G2]:** *“Necessita a presença de ondas eletromagnéticas.”*

**[G3]:** *“Não, pois na porta é um movimento mecânico e no poste é absorção e liberação de energia luminosa”.*

**[G4]:** *“Sim. Ambas ativam a partir de determinado padrão de calor, porém as portas do shopping ativam a partir do calor corporal e as luzes do calor ambiente.”*

**[G5]:** *“Algo programado por algum aparelho. Ex: Computador com algum sistema e por certo modo as duas situações acontecem através de um sensor.”*

**[G6]:** *“Ambos dependem da luz e movimento”.*

Nesta questão alguns alunos não conseguiram relacionar diretamente que tipo de ente físico estaria relacionando nas duas situações apresentadas em vídeo. A explicação apresentada pelo grupo **G2** foi a que mais se aproximou de uma resposta correta, mas careceu de uma elaboração maior.

A quarta questão foi: **Em uma situação onde o céu fique nublado, mesmo durante o dia, você acha que as luzes do poste permaneceriam apagadas?**

As repostas foram:

**[G1]:** *“Não, porque devido está nublado a sensação térmica é semelhante a temperatura da noite, com isso os sensores recebem essas informações do seu meio e ficam acesas.”*

**[G2]:** *“Apenas se houver energia luminosa acumulada”.*

[G3]: *“Não, pois elas funcionam de acordo com um programa automático e com o clima”.*

[G4]: *“Não, em casos onde o céu se encontra escuro as luzes permanecem acesas, não por conta da claridade, mas pela falta de elevação na temperatura, no caso, pela falta do aquecimento dos raios solares, assim por estar nublado a temperatura se encontra baixa e as luzes permanecem acesas.”*

[G5]: *“As luzes do poste não permaneceriam apagadas porque elas não acendem ou apagam de acordo com o tempo “o clima”.*

[G6]: *“Ele tem um relé que é conectado no poste e faz ele apagar.”*

Nesta questão, a maioria dos grupos concederam explicações parecidas com as questões anteriores, colocando conceitos de termodinâmica como a principal causa para a situação apresentada, a exceção está apresentada pelo grupo **G6** que atribuiu corretamente a aplicação de um dispositivo que utiliza o efeito fotoelétrico como princípio físico de funcionamento. Perguntado ao grupo como se daria o funcionamento sobre este dispositivo, eles não souberam construir uma resposta para o funcionamento do mesmo, pois a resposta que foi dada por um dos componentes se baseou em um contato com outra pessoa dentro de seu círculo social que lhe transmitiu aquele conhecimento. Ficou claro que as experiências do cotidiano podem ser consideradas como elemento gerador de debates para o referido tema.

A quinta e última questão da problematização inicial foi: **Na sua opinião, qualquer outro corpo, que não fosse o humano ou outro animal, também teria capacidade para abrir a porta do shopping ao se aproximar? Como você justificaria este comportamento?**

As respostas registradas foram:

[G1]: *“Não, porque essas portas tem um sistema para reconhecer a presença com aproximação de ondas de calor que são emitidas pelas pessoas ou animais. Com a caixa é uma matéria que não apresenta as características do ser humano ou de um animal como ondas de calor ao se aproximar da porta, ela então não abriria.”*

[G2]: *“Sim, pois se esse outro corpo obtiver a capacidade de movimentar a porta iria abrir.”*

[G3]: *“Sim, pois a porta do shopping funciona através de possível sensor de movimento, então se algum outro corpo se aproximasse e realizasse movimento, a porta abriria.”*

[G4]: *“Não, pois o sensor infravermelho detecta calor que no caso não estaria presente em uma determinada matéria sem vida.”*

[G5]: *“Não, pois o sensor funciona a partir de um movimento de um corpo.”*

[G6]: *“Sim, pois há movimento mecânico nos corpos dos animais para a porta identificar”.*

As hipóteses desenvolvidas para a explicação das questões foram das mais diversas, mas notoriamente tinham em seu teor a associação a sensor de movimentos ou de calor, para o caso da abertura de portas automáticas, e sensor de luz, programação por parte da companhia elétrica e até mesmo a existência de um dispositivo chamado relé para a explicação do acendimento automático das luzes do poste.

Neste momento, podemos considerar que os alunos começaram a adotar um pensamento mais crítico acerca das aplicações da física, através do efeito fotoelétrico, no seu cotidiano

Mesmo com muitas explicações carregadas de senso comum, este momento pedagógico foi importante, pois provocou um sentimento de motivação para a busca de respostas mais cientificamente aceitas. Em vários momentos desse encontro houve indagações feitas pelos alunos ao professor, para que lhes fossem dadas respostas prontas aos questionamentos iniciais. Nesta situação, a postura de problematizador foi mantida pelo professor, incentivando os alunos a buscarem suas teorias, com o objetivo de confrontá-las à medida que as contradições fossem mostradas. Os resultados dos questionários objetivos e subjetivo, realizados durante

a problematização inicial, foram considerados na construção do conhecimento sobre o efeito fotoelétrico, junto aos alunos.

## 4.2 O segundo momento

O segundo momento pedagógico, caracterizado pela construção do conhecimento, permite ao professor realizar diversas atividades buscando a elucidação do tema. Dentro desta possibilidade a utilização do simulador *SimuPhoton* como material pedagógico foi a atividade.

Neste segundo momento, realizado no laboratório de informática, a aula, seguiu a sequência didática planejada no quadro 1, sendo executada em duas etapas. Na primeira etapa de caráter mais expositivo, foi retomado tema ondas eletromagnéticas e conceitos relacionados, como: período, frequência, velocidade e características de uma onda eletromagnética. Foram apresentados os principais nomes envolvidos historicamente com a concepção clássica da luz, como James Clerk Maxwell que previu a existência de ondas eletromagnéticas e sua velocidade de propagação e Heinrich Hertz que provou a existência dessas ondas experimentalmente (NUSSENZVEIG, 1998). Desse modo, o conceito de frequência de uma radiação eletromagnética para a descrição do efeito fotoelétrico estaria previamente disponível.

Em seguida foi pedido aos alunos que formassem duplas, totalizando onze duplas, orientadas a abrir o programa *SimuPhoton*. Na sequência foi apresentado, de fato, o tema central da aula, o efeito fotoelétrico. Os alunos foram orientados a acessar a opção de *fundamentos teóricos* no próprio simulador, para o início da exposição acerca do tema.

A exploração do simulador iniciou-se dentro de uma perspectiva histórica, retomando as descobertas realizadas por Hertz, com a sua observação do efeito fotoelétrico, a partir dos experimentos realizados para a comprovação da existência das ondas eletromagnéticas prevista por Maxwell em 1887.

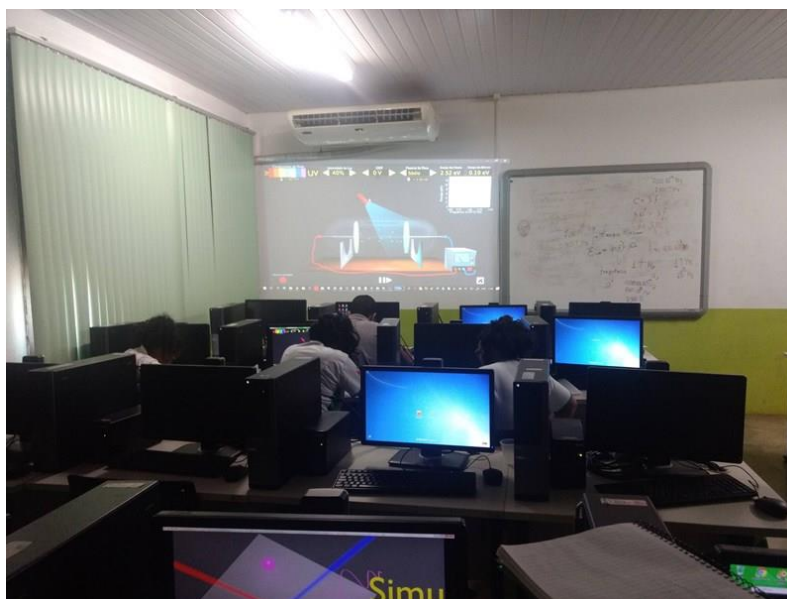
Foram apresentadas as contradições que o efeito fotoelétrico tinha pelo conhecimento até então estabelecido através da física clássica e em seguida introduzido o problema do corpo negro, sua definição e a solução proposta por Planck através da quantização da energia em 1900. Neste momento foi destacada a revolução das ideias da física, a questão de a energia ser, anteriormente, algo

contínuo e imutável neste sentido e passa a ser considerada como algo discreto e descrita com valores múltiplos de uma quantidade fundamental.

Em seguida foi apresentado o efeito fotoelétrico, sua definição e as principais variáveis envolvidas em sua caracterização, como: frequência, intensidade da radiação incidida sobre a placa e função trabalho. Além disso, foi destacado como este efeito, quando observado em laboratório, não se adequava às concepções da física clássica e a sua explicação inovadora, concebida por Einstein em 1905 que acabou dando a este, o prêmio Nobel em 1915 (NUSSENZVEIG, 1998).

Como parte final da aula expositiva foram apresentadas as aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano, de modo que algumas questões referentes ao primeiro momento foram retomadas, enfatizando o papel do efeito fotoelétrico para o acendimento automático de luzes em vias públicas e o funcionamento das portas de abertura automática.

Finalizada a exposição dos aspectos históricos e a retomada das aplicações da problematização inicial, passamos a utilização da simulação computacional como recurso didático para a exploração do efeito fotoelétrico. Inicialmente foi apresentado um breve tutorial da utilização, sua interface e comandos. Este momento foi capturado na figura 21. Em seguida foi distribuído entre as duplas o roteiro para a utilização em aula.



*Figura 21: Segundo momento pedagógico: Uso do simulador.*

*Fonte: Dados do Autor.*

O roteiro contendo duas atividades com simulador está contido no Apêndice E, tendo sido possível realizar somente a atividade 1 do roteiro, por questões de tempo hábil apresentadas na seção 3.1.

A atividade 1 do roteiro tinha como objetivos a caracterização do efeito fotoelétrico e a percepção pelos alunos da relação que há entre a intensidade da luz e sua frequência, quando esta incide sobre determinado material, para a observação do efeito fotoelétrico. Na atividade em questão, foram consideradas um total de 6 questões de caráter subjetivo, de modo que as duplas realizassem a mudança das variáveis e parâmetros em cada simulação, de acordo com o roteiro, e em seguida registrassem suas observações logo abaixo das perguntas.

A primeira questão era: **Ao incidir a radiação sobre a placa de sódio nas condições impostas o que pôde ser observado?**

Obteve-se como resultado as seguintes respostas, de acordo com cada dupla:<sup>10</sup>

[D1]: *“Os elétrons são arrancados do material sódio. Devido a orientação dos pontos positivo e negativo há um campo elétrico gerando uma corrente elétrica.”*

[D2]: *“Podemos observar os elétrons de movimentando através de um campo elétrico.”*

[D3]: *“Os elétrons passam de uma placa para outra rapidamente, é o efeito fotoelétrico ocorrendo.”*

[D4]: *“Se observa um pequeno fluxo de elétrons indo em direção a placa receptora.”*

[D5]: *“Ao emitir 10% da luz ocorre o efeito fotoelétrico, ou seja, ocorre a emissão de elétrons.”*

[D6]: *“Os elétrons se direcionam da placa emissora, que está com incidência de luz, para a receptora”.*

---

<sup>10</sup> As respostas dos alunos a todas as perguntas foram transcritas, mantendo-se os eventuais erros cometidos por eles.

[D7]: *“Pode ser observado a emissão de elétrons.”*

[D8]: *“Que começa a ser emitido alguns elétrons,”*

[D9]: *“Foi observado que os elétrons estão saindo.”*

[D10]: *“Ao incidir a luz começa a emitir elétrons”.*

[D11]: *“O que observamos foi que devido o comprimento de onda e a intensidade da luz ocorre o movimento de elétrons, está ocorrendo o fenômeno fotoelétrico.”*

As respostas das duplas apontam para uma observação correta do efeito fotoelétrico e de outros conceitos físicos envolvidos indiretamente como a orientação do movimento dos elétrons ejetados devido a existência de um campo elétrico e o surgimento de uma corrente elétrica como foi exposto pelas duplas **D1** e **D2**. Outra observação um pouco mais precisa foi realizada pela dupla **D11** que relacionou diretamente a variável comprimento de onda, com a causa do efeito observado. De posse dessas informações podemos considerar que esta questão obteve seu objetivo alcançado.

A segunda questão da atividade era: **O que ocorre ao aumentarmos a intensidade da radiação (luz) sobre a placa?**

[D1]: *“Quanto mais intensa a radiação, mais elétrons serão arrancados da placa.”*

[D2]: *“Pude observar mais e elétrons e mais velocidade.”*

[D3]: *“Os elétrons se movimentaram de forma mais rápida e em maior quantidade de uma placa para a outra.”*

[D4]: *“O fluxo de elétrons de intensifica, aumentando não só a quantidade, mas também a velocidade.”*

[D5]: *“Quando aumentamos a intensidade da radiação (luz) sobre a placa aumentando a quantidade de partículas de elétrons.”*

[D6]: *“Conforme aumento a intensidade da luz sobre a placa, mais elétrons são emitidos e se transportam em maior velocidade para a placa receptora.”*

[D7]: *“Com o aumento da intensidade da luz ocorre o aumento de elétrons emitidos sobre a placa.”*

[D8]: *“Quanto mais aumenta a intensidade da luz, mais partículas de elétrons.”*

[D9]: *“Aumenta a quantidade de elétrons.”*

[D10]: *“Ao aumentar a intensidade da radiação, aumenta a quantidade de partículas de elétrons.”*

[D11]: *“Aumenta a incidência de fótons sobre a placa e consequentemente a emissão de elétrons.”*

Nesta questão podemos observar que houve algumas observações equivocadas na mudança de parâmetros observados pelas duplas **D2**, **D3**, **D4** e **D6**. A causa dessa errônea observação pode estar atrelada a um erro na execução do roteiro, ou no desempenho do computador com o simulador computacional, já que para cada partícula que simula o elétron, a velocidade é calculada individualmente pela *engine*<sup>11</sup>. Isso pode sobre carregar o processador, resultando em “frames” atrasados que dão a impressão que os elétrons ejetados possuem velocidades distintas.

Na terceira questão a dupla deveria definir no simulador o material da placa como sendo o sódio, o valor do comprimento de onda em 685 nm e aumentar a intensidade da radiação de 0% até 100% e, com isso, verificar se foi observado o efeito fotoelétrico e em caso negativo propor alguma hipótese de porquê o efeito não

---

<sup>11</sup> Pode ser entendido como motor de jogo ou núcleo central de processamento do Blender.

foi observado, mediante tais modificações. Para esta questão da atividade, os registros de cada dupla foram:

[D1]: *“Não, a intensidade da luz foi insuficiente para arrancar os elétrons, isso acontece pois não tem energia suficiente.”*

[D2]: *“Não, acho que o comprimento de onda teria que ser menor.”*

[D3]: *“Não, pois o comprimento de onda é maior”*

[D4]: *“Nesta os elétrons não podem ser observados por questão do comprimento de onda.”*

[D5]: *“Não houve a ejeção de elétrons do material porque o comprimento de onda é maior que o primeiro”*

[D6]: *“Não houve emissão de elétrons, pois mesmo a intensidade da luz aumentando o comprimento de onda aumentou, por isso não se observa.”*

[D7]: *“Não houve ejeção de elétrons. O efeito fotoelétrico não ocorreu porque o comprimento de onda aumentou e a frequência foi diminuindo.”*

[D8]: *“Não houve ejeção de elétrons, porque se o comprimento da onda aumenta a frequência diminui, pois elas são inversamente proporcionais.”*

[D9]: *“Não houve a ejeção de elétrons, porque o comprimento da onda é maior.”*

[D10]: *“Não está por conta do comprimento de onda ter sido aumentado a 685 nm e a frequência diminuído.”*

[D11]: *“Não houve. Porque para ocorrer o efeito fotoelétrico precisa-se de um comprimento de onda menor, pois o maior comprimento de onda não remete no movimento dos elétrons, ou seja, do efeito fotoelétrico.”*

A quarta questão da atividade teve o intuito de evidenciar a frequência como sendo um parâmetro indiretamente manipulável na simulação, através da mudança do comprimento de onda na janela do simulador. Assim os alunos deveriam buscar uma relação direta entre a velocidade de emissão dos elétrons e sua energia cinética e a frequência da radiação incidente.

A pergunta para a quarta questão foi: **Com base nas duas atividades anteriores, qual dos dois comprimentos de onda selecionados apresenta valor de frequência maior? Como você justificaria isso?**

As repostas foram:

[D1]: *“O de 300 nm, porque quanto menor o comprimento de onda menor é a frequência.”*

[D2]: *“Acredito que o de 300 nm, pois quanto menor o comprimento de onda maior a frequência.”*

[D3]: *“300 nm. Pois o comprimento de onda é inversamente proporcional a intensidade.”*

[D4]: *“O maior foi o de trezentos, por causa do movimento dos elétrons. Quanto maior o comprimento de onda, menor a frequência de elétrons.”*

[D5]: *“O primeiro (300 nm). Porque quanto maior o comprimento de onda menor é a frequência.”*

[D6]: *“O primeiro, pois quanto menor o comprimento de onda, maior a frequência e vice-versa, elas são inversamente proporcionais.”*

[D7]: *“A primeira situação apresenta maior frequência, isso acontece porque quanto maior a frequência menor o comprimento de onda, isso é o que ocorre no primeiro exemplo. Na segunda o comprimento de onda é maior, logo, a frequência é menor.”*

[D8]: *“A que tem comprimento de onda menor, pois são inversamente proporcionais”.*

[D9]: *“300nm tem a frequência maior, porque quanto maior o comprimento de onda menor a frequência.”*

[D10]: *“O comprimento de onda menor, eles são inversamente proporcionais”.*

[D11]: *“300nm. Quanto menor o comprimento de onda, maior a frequência.”*

Nesta questão, as repostas das duplas, em sua maioria, apontam para um correto entendimento da relação entre frequência e comprimento de onda de modo que ao se manipular esta variável, o efeito fotoelétrico pode ser entendido como sendo dependente diretamente da frequência de radiação.

A quinta questão considerada nesta parte foi: **O que você observou ao aumentar a frequência da radiação incidente?**

O objetivo por traz dessa pergunta é fazer os alunos relacionarem o aumento da energia cinética dos elétrons ejetados como sendo dependente diretamente da frequência, algo que foi abordado indiretamente com a questão anterior.

Para esta questão as respostas foram:

[D1]: *“A velocidade dos elétrons aumenta.”*

[D2]: *“Os elétrons ficaram significativamente mais rápidos.”*

[D3]: *“A emissão de elétrons em maior velocidade.”*

[D4]: *“O fluxo de elétrons se intensifica.”*

[D5]: *“Ao aumentar a frequência, aumentou a energia cinética.”*

[D6]: *“Que o movimento dos elétrons aumentou a velocidade, porque a energia cinética aumentou.”*

[D7]: *“Observou o aumento da velocidade dos elétrons emitidos sobre a placa.”*

[D8]: *“Podemos observar que cada vez que aumenta a frequência, os elétrons ficaram mais rápida também.”*

[D9]: *“A velocidade aumenta.”*

[D10]: *“Podemos observar que cada vez que aumentar a frequência, os elétrons ficaram mais rápidos também.”*

[D11]: *“Aumenta na velocidade das emissões de elétrons”*

Através das respostas da quinta questão, podemos considerar que o objetivo dessa atividade foi alcançado, pois os alunos conseguiram identificar uma relação direta entre o aumento da frequência e a sua velocidade. As duplas **D5** e **D6** ainda consideraram que o aumento da velocidade de emissão dos elétrons está diretamente relacionado ao aumento de sua energia cinética, o que dentro do contexto do efeito fotoelétrico é uma observação pertinente.

A sexta questão do roteiro de atividades tinha como objetivo a expor a importância da escolha do material para a ocorrência do efeito fotoelétrico e a discussão a respeito da função trabalho. A pergunta foi: **A escolha do material foi importante para a ocorrência do efeito fotoelétrico? Justifique sua resposta.**

Como respostas obtivemos:

[D1]: *“Sim, o efeito fotoelétrico só ocorreu devido a função trabalho do material ser menor que a energia dos fótons.”*

[D2]: *“Sim, pois a escolha do material influencia na função trabalho.”*

[D3]: *“Sim, pois o material influencia na função trabalho do efeito fotoelétrico.”*

[D4]: *“Sim, depende do quão eletronegativo é o material que de preferencia seja metálico para que ocorra o efeito fotoelétrico.”*

[D5]: *“Sim, pois a função trabalho varia em função do material, e quanto maior a função trabalho maior será exigido da frequência.”*

[D6]: *“Sim, pois cada material possui uma função trabalho diferente, tornando mais fácil ou mais difícil “arrancar” elétrons.”*

[D7]: *“Sim, pois quando acontece a mudança do material muda consequentemente a função trabalho, que por sua vez, alguns precisam de mais e outras menos para a realização do efeito fotoelétrico.”*

[D8]: *“Sim, porque quando muda o material varia a função trabalho.”*

[D9]: *“Sim, o material influencia o trabalho e o no efeito fotoelétrico.”*

[D10]: *“Sim, porque quando muda o material varia a função de trabalho.”*

[D11]: *“Sim, por influência da função trabalho.”*

As respostas dos alunos para esta questão nos mostram que houve alguma compreensão quanto a influência da função trabalho para o efeito fotoelétrico a partir das simulações realizadas, neste sentido podemos afirmar que obtivemos um bom resultado a partir dessa intervenção didática.

#### **4.3 O terceiro momento**

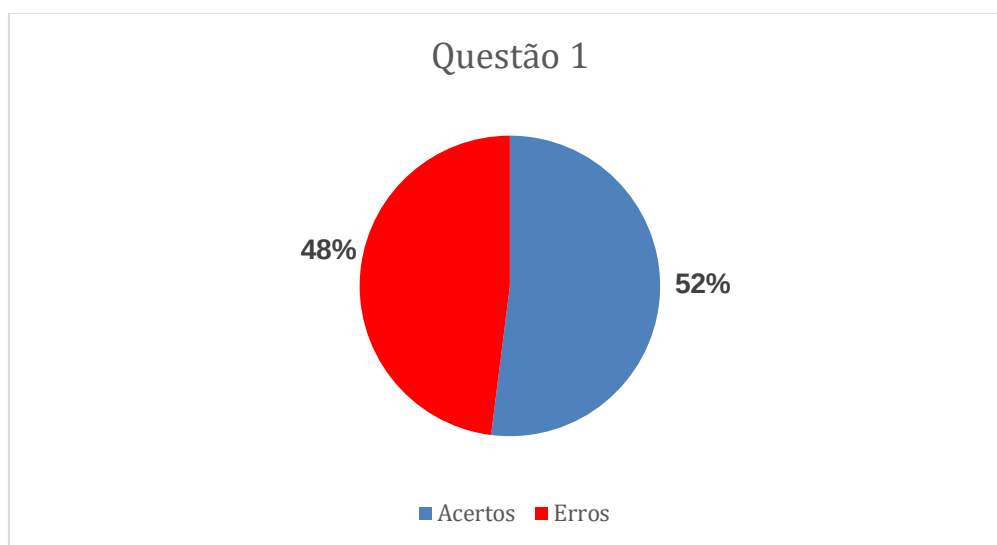
Nesta seção será apresentado os resultados do terceiro momento da intervenção didática metodológica, caracterizada pela aplicação do conhecimento. Para esta etapa foram consideradas duas atividades para a avaliação da construção do conhecimento, realizada na seção anterior.

A primeira atividade consistia na aplicação de um questionário, contendo questões objetivas de caráter conceitual, com quatro questões para serem respondidas de forma individual. Nesta atividade, apenas um dos alunos da turma não participou, totalizando no espaço amostral um total de vinte e um alunos.

A primeira questão tinha como objetivo a interpretação do efeito fotoelétrico, em termos do número de fótons incidentes sobre a superfície metálica e o número de elétrons ejetados, com o seguinte comando: **Supondo que a energia do fóton**

**incidente seja suficiente para que ocorra o efeito fotoelétrico, o que acontece quando os fótons incidem sobre a superfície do metal?**

Nesta questão, do total de alunos participantes, cerca de 52% responderam corretamente, associando a relação entre o fóton absorvido e elétron emitido de um para um. Apesar de ter sido realizada a devida discussão sobre este tema no segundo momento pedagógico, supomos que o percentual de erros apresentado na figura 22 poderia ter sido menor se a simulação produzida incorporasse de forma explícita tal relação.



*Figura 22: Percentual de erros e acertos primeira questão avaliativa.*

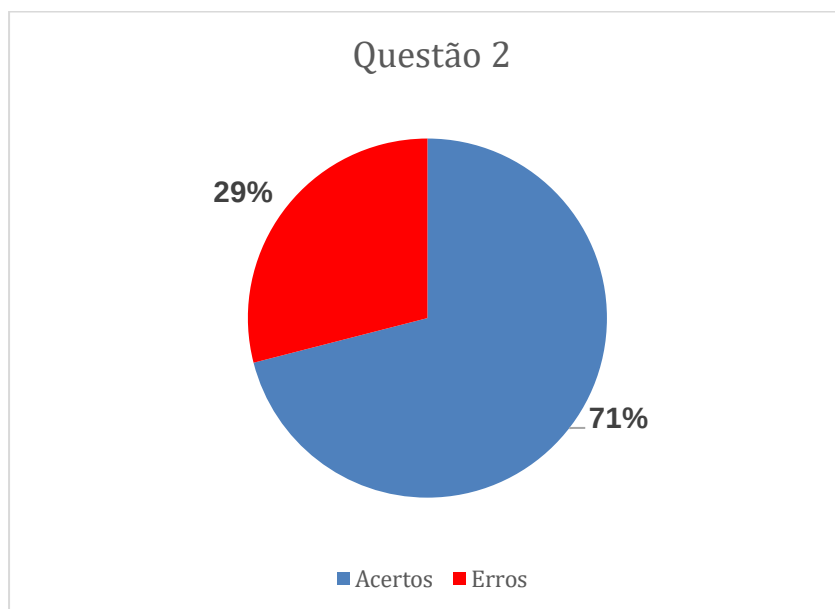
*Fonte: Dados do Autor.*

A segunda questão tinha como objetivo verificar, do ponto de vista conceitual, o significado da função trabalho na descrição do efeito fotoelétrico e pedia para os alunos marcarem a alternativa que explicasse corretamente de que maneira a sua influência agia sobre a emissão dos elétrons.

A questão tinha o seguinte comando: **Na descrição do efeito fotoelétrico feita por Einstein a função trabalho influencia a velocidade dos elétrons ejetados de que forma?**

O percentual assertivo para essa questão foi de 71%, conforme disposto na figura 23. Estes alunos afirmaram que a função trabalho determina a energia mínima necessária para que ocorra o efeito fotoelétrico. Este percentual de acertos indica que

a interpretação do conceito de função trabalho foi auxiliada pela utilização do simulador.



*Figura 23: Percentual de erros e acertos da segunda questão avaliativa.*

*Fonte: Dados do Autor.*

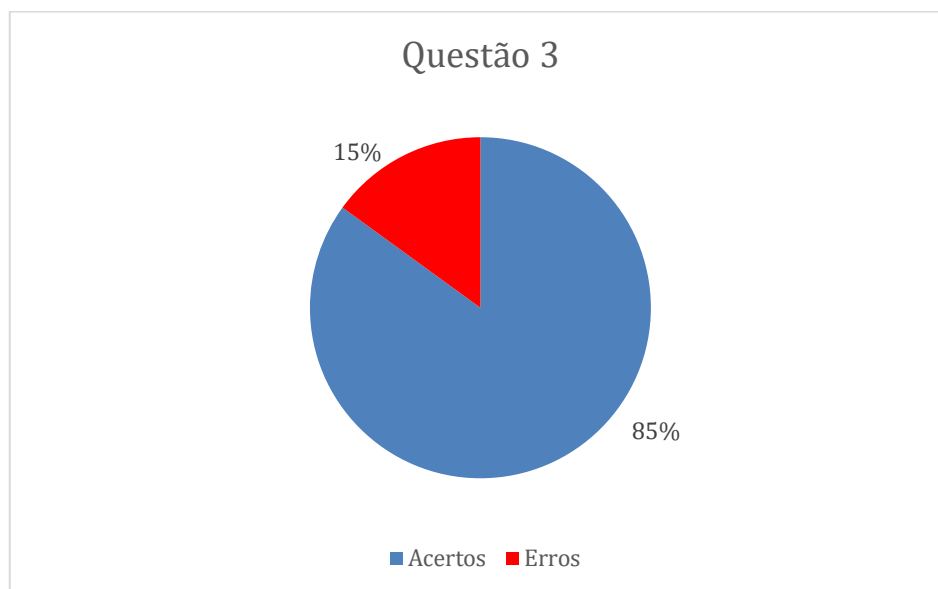
A terceira questão foi retirada do exame nacional do ensino médio (ENEM), do ano de 2013, e tinha como objetivo verificar o que os alunos sabiam sobre transformação da energia no contexto do efeito fotoelétrico.

A questão tinha o seguinte comando: **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.

Os alunos obtiveram um percentual assertivo de 85% para essa questão, conforme disposto na figura 24. No contexto do efeito fotoelétrico, os alunos

responderam que o efeito pode ser usado para fazer a transformação de energia radiante para cinética, o que está de acordo com o que foi discutido na fase da construção do conhecimento, durante a parte expositiva daquele momento.



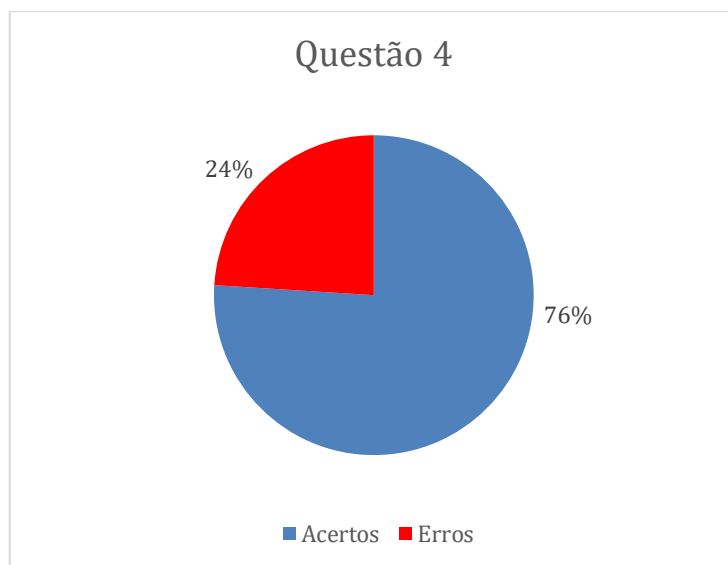
*Figura 24: Percentual de erros e acertos da terceira questão avaliativa.*

*Fonte: Dados do Autor*

A quarta questão, tinha como objetivo a caracterização do efeito fotoelétrico, e consistia em tomar como verdadeiro ou falso as seguintes afirmações:

- I- Consiste na emissão de elétrons de uma superfície metálica quando esta é iluminada com luz de determinada frequência.**
- II- Ocorre independentemente da frequência da luz incidente na superfície do metal, mas é dependente de sua intensidade.**
- III- Os elétrons ejetados de uma superfície metálica, devido ao efeito fotoelétrico, possuem energia cinética igual à energia do fóton incidente.**
- IV- Por mais intensa que seja a luz incidente, não haverá ejeção de elétrons enquanto sua frequência for menor que a frequência limite (ou de corte) do metal.**

Os alunos obtiveram um percentual assertivo de 76%. Nesta questão os alunos puderam apontar a definição do efeito fotoelétrico, caracterizado pela primeira afirmação, e o fato de que a função trabalho e a frequência da radiação incidente são determinantes para o surgimento do efeito (quarta afirmação).



*Figura 25: Percentual de erros e acertos da quarta questão avaliativa.*

*Fonte: Dados do Autor.*

A última atividade deste último momento pedagógico foi realizada através da aplicação de um mapa conceitual “pré-construído”. Apesar da teoria de mapas não ter sido tema central no referencial teórico do capítulo 1, sua utilização dentro do contexto da metodologia didático pedagógica dos 3MP poder ser realizada como um construtor de conhecimentos, com o objetivo de encadear conceitos ou como aplicação do conhecimento, sendo um instrumento de avaliação.

Vinte e um alunos participaram desta atividade formando duplas, em que somente um dos alunos teve que responder sozinho. A atividade em questão tinha como objetivo preencher os espaços reservados para cada conceito prontamente disponível ao lado ou indicar o número correspondente, conforme apresentado na figura 26.

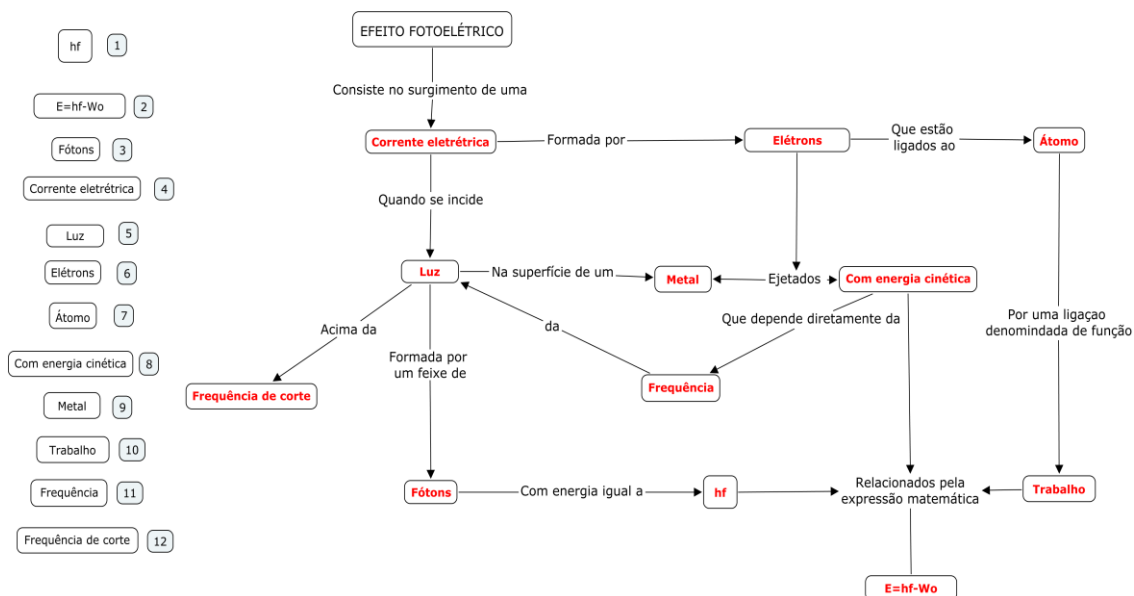


Figura 26: Atividade utilizada na aplicação do conhecimento.

Fonte: Dados do Autor

Todas as duplas foram bem-sucedidas em suas respostas em que não houve nenhum erro ao se completar o mapa conceitual. Apesar da ideia de construção de mapas conceituais para a aplicação do conhecimento ter sido cogitada, esta não foi implementada com os alunos montando os próprios mapas, em virtude dos imprevistos descritos na seção 3.1.

#### 4.3.1 Avaliação da intervenção didática e do Simulador

Nesta subseção será apresentado os resultados da avaliação da intervenção didática e do simulador *SimuPhoton*. Como a instrumento de coleta de dados utilizou-se um questionário, contendo uma questão subjetiva em que vinte e um alunos expressaram suas opiniões acerca da metodologia utilizada e do próprio simulador, além de outro questionário objetivo, contendo sete perguntas a respeito da experiência de cada aluno com o simulador.

A questão realizada foi: **Quais são suas impressões a respeito das aulas com uso de simuladores? Destaque, se possível, pontos positivos e negativos com esse tipo de recurso e se você tem preferência ou não pra esse tipo de metodologia.**

Para análise das respostas subjetivas dessa pergunta, agrupou-se as respostas em três categorias com os respectivos padrões avaliativos sintetizados no quadro 3:

Quadro 3: Padrão das respostas subjetivas.

| <b>Padrão Avaliativo</b>                                                                                                                                                                                  | <b>Exemplo – Avaliação qualitativa.</b>                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1-</b> Consideram as aulas com a metodologia (3MP) associada ao simulador boas, levando em conta atratividade, facilidade e praticidade.                                                               | <i>“As aulas com uso de simuladores são mais ricas e permitem um maior entendimento do conteúdo. Os pontos positivos são a visualização prática do conteúdo e a interação do aluno e aparentemente não vejo pontos negativos. E sim, tenho preferência para o uso desta ferramenta.”</i> |
| <b>2-</b> Consideram as aulas com o simulador prática e objetiva. Porém, não consideram a metodologia (3MP) muito proveitosa, ou que requer outras adaptações (Ex: Mais tempo p/ execução das atividades) | <i>“Gosto de aulas com simuladores, porém ainda encontro dificuldade para aprender por conta da abordagem usada pelo professor.”</i>                                                                                                                                                     |
| <b>3-</b> Consideram as aulas com a metodologia (3MP) boas, mas apresentam dificuldades no uso do simulador.                                                                                              | <i>“Apenas para ensinar cada detalhe do simulador.”</i><br><br><i>“O uso do simulador foi uma forma de aprendizagem produtiva, ponto negativo é porque apresentei dificuldade em manusear o simulador.”</i>                                                                              |

Analisando estatisticamente as respostas à questão, construímos o gráfico da figura 27, onde é apresentado o percentual de alunos que se enquadram em cada padrão de respostas do quadro 3.

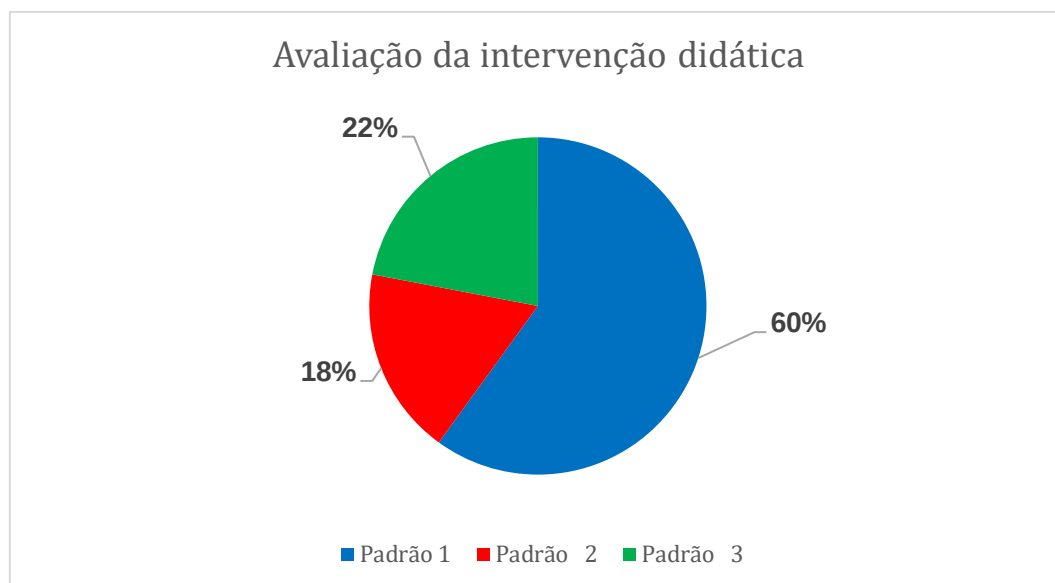


Figura 27: Avaliação da intervenção didática, de acordo com os três padrões identificados.

Fonte: Dados do Autor.

Para a avaliação das respostas objetivas acerca do simulador foi utilizado um questionário objetivo contendo sete perguntas (Quadro 5), em que os alunos escolhiam as opções apresentadas no quadro 4:

Quadro 4: Espectro com as possíveis repostas para avaliação do simulador.

| <b>S</b> | <b>PP</b>                             | <b>P</b>     | <b>PM</b>                                | <b>N</b> | <b>NA</b>        |
|----------|---------------------------------------|--------------|------------------------------------------|----------|------------------|
| Sim      | Parcialmente com<br>POUCAS Restrições | Parcialmente | Parcialmente<br>com MUITAS<br>restrições | Não      | Não se<br>aplica |

Os percentuais da avaliação do simulador *SimuPhoton* estão dispostos no quadro 5 e sintetizados no gráfico apresentado na figura 28.

Quadro 5: Percentual da experiência e uso do *SimuPhoton*.

|           | <b>Quesitos para avaliação do software</b>                                                             | <b>S</b> | <b>PP</b> | <b>P</b> | <b>PM</b> | <b>N</b> |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| <b>Q1</b> | O uso da simulação ajudou você a compreender melhor o conteúdo?                                        | 72%      | 18%       | 10%      | —         | —        |
| <b>Q2</b> | Você apresentou dificuldades em manipular o software?                                                  | 13%      | 23%       | —        | 4%        | 60%      |
| <b>Q3</b> | Para você a interface gráfica (Janela, botões e animações) é considerada atraente para sua utilização? | 54%      | 18%       | 28%      | —         | —        |
| <b>Q4</b> | Em aulas de física você já utilizou outro software para aprender algum conteúdo?                       | 54%      | 10%       | —        | 22%       | 14%      |
| <b>Q5</b> | Você aprova a utilização de simulações durante as aulas de física?                                     | 50%      | 46%       | —        | 4%        | —        |
| <b>Q6</b> | O uso do software foi importante para a solução das atividades proposta?                               | 90%      | 5%        | 5%       | —         | —        |
| <b>Q7</b> | Durante a utilização do software foi notado travamentos, lentidão, comandos “defeituosos”?             | 23%      | 15%       | 15%      | 1%        | 46%      |

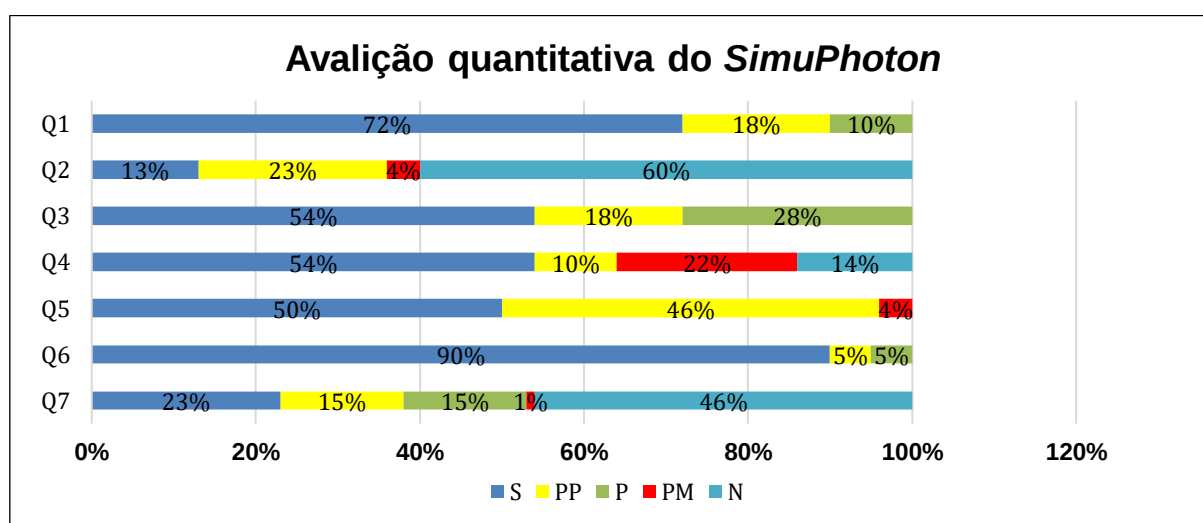


Figura 28: Avaliação quantitativa do *SimuPhoton*.

Fonte: Dados do Autor.

Com esses resultados, tanto das atividades executadas com o simulador, quanto a avaliação qualitativa e quantitativa dada pelos alunos, consideramos que o simulador propiciou um ambiente de aprendizagem relevante, dentro do contexto da metodologia didático-pedagógica dos 3MP.

## 5 Considerações Finais

Tomando como ponto de partida as problemáticas referentes a abordagem de FMC no EM, a importância da sua inserção e as dificuldades referentes a adoção das TIC's que podem facilitar a prática pedagógica de professores de física, nesta dissertação é apresentado os passos que culminaram na elaboração do produto educacional e os resultados de sua aplicação que proporcionaram um ambiente de aprendizagem, tendo como tema central a utilização de tecnologias de informação no ensino de física.

Nesta dissertação também é apresentada uma alternativa para que as aulas de física se tornem mais interessantes para os alunos e deem aos professores subsídios para tornar o ensino de física mais atraente.

O tema do efeito fotoelétrico consiste em um dos temas mais importantes dentro da história da física, por exemplificar que muitos paradigmas e ideias adotadas como definitivas são passivas de mudanças, além das mais diversas aplicações tecnológicas oriundas deste efeito que usufruímos direta ou indiretamente. Neste sentido, o efeito fotoelétrico é um tema relevante para a formação cidadã e que tradicionalmente é pouco abordado por se tratar de um conteúdo pouco em voga em vestibulares, ou porque se trata de um dos últimos conteúdos que os alunos do ensino médio deveriam ter contato e que devido a pouca carga horária, ou mesmo planejamento, não é contemplado.

Por meio do desenvolvimento das TIC's e de como seus elementos estão cada vez mais presentes em nossas vidas, no cenário educacional surgiu uma discussão sobre como tais tecnologias podem contribuir para a dinâmica ensino-aprendizagem. No contexto do ensino de física a utilização das chamadas simulações computacionais vêm apresentando resultados interessantes para um ensino mais consistente, com o intuito de deixar o ensino mais lúdico e proporcionar uma visualização mais eficaz de conceitos considerados por vezes abstratos.

Nessa perspectiva, o objetivo desta dissertação foi investigar de que maneira a simulação computacional produzida no MNPEF (*SimuPhoton*) pôde ajudar no processo de ensino-aprendizagem do tema de física moderna e contemporânea, mais especificamente, o conteúdo efeito fotoelétrico. Através de uma sequência didática,

sob a perspectiva dos três momentos pedagógicos (3MP) de Delizoicov e Angotti (1992), e utilizando como recurso pedagógico o simulador computacional *SimuPhoton* um ambiente que condicionasse a aprendizagem do conteúdo em questão.

A metodologia dos 3MP tem como base teórica as concepções de Paulo Freire, que utilizando de uma educação dialógica transposta para o espaço da educação formal (MUENCHEN e DELIZOICOV, 2014) e é caracterizada como: Problematização Inicial; Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento.

De posse desta proposta metodológica, a intervenção didática foi realizada a partir de uma sequência didática, construída e implementada seguindo cada um dos momentos.

No primeiro momento, problematização inicial, foram apresentadas aos alunos situações cotidianas da utilização do efeito fotoelétrico, como por exemplo, o acendimento das luzes de maneira automática nos postes em vias públicas e a abertura de portas automáticas, como meio de motivar os alunos a se inserirem ativamente no processo de ensino-aprendizagem. Foram realizadas com os alunos discussões acerca do tema e de que maneira eles achavam sobre essas aplicações, princípios físicos por traz de seu funcionamento, tendo sido, de maneira geral, uma etapa proveitosa, mas que, no âmbito do contexto escolar cotidiano, pode ser interpretada como “perca de tempo”.

O segundo momento, conhecido como construção do conhecimento, foi apresentado aos alunos, formalmente, o tema efeito fotoelétrico e o simulador computacional *SimuPhoton*. Na primeira etapa deste momento a execução se deu de forma expositiva, em que foi apresentado a discussão histórica do efeito fotoelétrico, principais cientistas envolvidos e, principalmente, os conceitos físicos envolvidos, como: definição de efeito fotoelétrico, frequência de corte, potencial de corte, função trabalho e etc.

Ainda nesta etapa, foi realizada a execução de uma atividade a partir da utilização de um roteiro junto ao simulador, com o objetivo de tornar o processo de aprendizagem mais ativo para os alunos e favorecer o entendimento dos principais conceitos anteriormente expostos.

No terceiro momento ocorreu a chamada aplicação do conhecimento, cujo o objetivo foi avaliar o processo de ensino e aprendizagem propiciado, principalmente pelo segundo momento, e a avaliação do simulador *SimuPhoton*. Neste terceiro

momento foram aplicados um questionário objetivo e um mapa conceitual aos alunos, onde estes deveriam relacionar os conceitos envolvidos no efeito fotoelétrico. Em seguida, foi entregue aos alunos uma ficha para a avaliação da metodologia adotada e da experiência de utilização do simulador computacional.

A partir da análise estatística realizada ficou evidente que o uso do simulador *Simuphoton*, aliado aos Três Momentos Pedagógicos pode contribuir de maneira significativa para a construção do conhecimento relativo ao efeito fotoelétrico.

Como a questão do ensino se trata de uma interação puramente humana, onde vários fatores devem ser considerados para um processo de ensino-aprendizagem eficaz, nem sempre o professor tem total controle deste processo, mesmo seguindo um planejamento, nesta experiência não ocorreu de forma diferente. Ocorreram alguns imprevistos que culminaram em uma menor disponibilidade de tempo, como anteriormente citado na seção 3.1. Todos esses pequenos obstáculos tiveram consequências nas etapas de execução da proposta, sobretudo no terceiro momento, que requeria uma devida atenção e uma discussão quanto as questões abordadas no primeiro momento.

Percebeu-se que os alunos tiveram uma nova visão a respeito das aulas de física, indo além de problemas tradicionais que em sua maioria correspondem a memorização de equações e utilização em exercícios mecânicos, sem uma significação dos conceitos ou relação com aplicações cotidianas. Esta prática pedagógica permitiu mostrar que o conteúdo apresentado se faz importante quanto sua aplicabilidade, além de tornar as aulas mais dinâmicas, dialogadas e centradas na figura do aluno como construtor do seu conhecimento.

A utilização das simulações computacionais no ensino de física pode contribuir de maneira significativa para o processo de ensino-aprendizagem, podendo, se bem direcionado e tomando os devidos cuidados, trazer muitos benefícios, além de se tornar um recurso pedagógico motivador, dando aos alunos a possibilidade de explorar conceitos de forma dinâmica, em relação aos meios tradicionais.

A partir dos resultados da avaliação do *SimuPhoton*, os alunos consideraram, em 72%, que a utilização do simulador ajudou a contribuir no entendimento do conteúdo. Sobre a interface do simulador, perguntados se esta era considerada intuitiva e atraente para sua utilização, cerca de 54% afirmaram que sim. Com relação a utilização do *SimuPhoton* para a solução das atividades propostas no roteiro, 90%

dos alunos consideraram que o simulador foi muito importante, não havendo nenhuma resposta contrária.

Por fim, as impressões dos alunos a respeito da proposta foram, no geral, positivas e os resultados colhidos a partir do último momento apontaram para um cenário de aprendizagem significativa, mediante a utilização do recurso pedagógico e da metodologia adotada.

Como perspectiva, convém dizer que a intervenção do simulador se deu em apenas uma perspectiva didático-metodológica, podendo ser utilizado associado a outras propostas, metodológicas, ao passo que se pode tratar outros temas de física moderna relacionados.

# Apêndices

## Apêndice A: Sequência didática



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**Disciplina:**

**Professor:**

**Data:**      \_\_/\_\_/\_\_ a \_\_/\_\_/\_\_

**Mestrando:**

**Matrícula:**

### Plano de Ensino

#### 1. Identificação

Escola:

Diretora:

Disciplina: Física

Série: 3º

Turma: 3º ano

Data:

Tempo previsto: 4 aulas de 2h cada

#### 2. Tema estruturador

Matéria e radiação

#### 3. Conteúdos

- Factuais: Aspectos históricos sobre a natureza e comportamento da luz (onda ou partícula); o experimento de Hertz, a física no final do sec. XIX, hipótese de Max Planck sobre a quantização da energia, a interpretação de Einstein sobre o efeito fotoelétrico. Aplicações efeito fotoelétrico.
- Conceituais: Radiação de Corpo Negro, O efeito fotoelétrico, Energia de um Fóton, Função trabalho, constante de Planck, frequência de Corte.
- Procedimentais: Levantamento de hipóteses e relação entre as grandezas envolvidas

(Intensidade, Comprimento de onda, frequência, material, ddp), utilização de simulação computacional para conferir essas hipóteses.

- Atitudinais: Participação nas discussões abordadas em rodas de conversas como elementos de culminância das atividades propostas.

#### 4. Habilidades

- Identificar diferentes ondas e radiações, relacionando-as aos seus usos cotidianos, hospitalares ou industriais.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas Ciências, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Compreender diferenças nas relações entre intensidade de radiação, frequência e energia na visão clássica e moderna da física.

#### 5. Pré-requisitos

Ondulatória  
Ondas eletromagnéticas  
Natureza ondulatória da luz  
Energia Cinética

#### 6. Recursos

Quadro branco, pincel, apagador, data show, computador, software SimuPhoton, Laboratório de informática.

#### 7. Atividades

##### 1º momento: *Problematização inicial*

- Aplicar o questionário prévio.
- Contextualizar o problema a partir das seguintes situações em forma de vídeo:
- Ao irmos ao shopping é notável que as portas da entrada se abrem de forma automática quando nos aproximamos.



<https://www.youtube.com/watch?v=618F3NxIBJk>

- Durante o dia as luzes dos postes permanecem apagadas, durante o pôr do sol percebe-se que suas luzes acendem automaticamente.



<https://www.youtube.com/watch?v=7glsZIPKMXU>

- Começar um diálogo a respeito das duas situações apresentadas com as seguintes questões:

### 7.1 Problemas ou questões após a problematização

- 1) Como você explicaria o funcionamento da abertura automática da porta do shopping?
- 2) Como você explicaria o fato das luzes dos postes acenderem automaticamente e ao mesmo tempo quando anoitece?
- 3) Existe alguma coisa que relacione as duas situações? Na sua opinião o que seria?
- 4) Em uma situação onde o céu fique nublado, mesmo durante o dia, você acha que as luzes do poste permaneceriam apagadas?

5) Na sua opinião, qualquer outro corpo, que não fosse o humano ou outro animal, também teria capacidade para abrir a porta do shopping ao se aproximar? Como você justificaria este comportamento?

- Pedir que os alunos pesquisem acerca do tema e que escrevam a respeito do tema para a próxima aula dando como sugestão referências de vídeos e leituras.

## 2º momento: *Construção do conhecimento*

- Abrir o software *SimuPhoton* e apresentar o programa.
- Com o *SimuPhoton* aberto selecionar a opção *Fundamentos Teóricos* e apresentar o contexto histórico do surgimento do efeito fotoelétrico com auxílio do software.
- Iniciar a aula de forma expositiva com os slides.

### Fundamentos Teóricos

#### Primeiras Observações

O efeito fotoelétrico foi observado pela primeira vez por A. E. Becquerel em 1839 e confirmado de forma despretensiosa por Heinrich Hertz em 1887, na ocasião Hertz investigava a natureza eletromagnética da luz e notou que quando a **luz ultra violeta (UV)** incidia sobre os **eletrodos metálicos** entre os quais era estabelecida uma **voltagem (ddp)** a presença da luz UV alterava seu valor. Por conta dessa observação esse fenômeno ficou conhecido como **efeito fotoelétrico**.

Em 1902, Lenard constatou que a radiação **UV** era mais significativa para observação do efeito, o que contrariava a previsão da física clássica, demonstrou que partículas eletricamente carregadas são liberadas das superfícies metálicas sempre que sobre elas incide luz, e que essas partículas eram idênticas aos elétrons que haviam sido descobertos em 1897, pelo cientista britânico Joseph John Thomson.



Figura 1: Heinrich Hertz 1857-1894

## A teoria clássica não explica

Do ponto de vista observacional, o efeito fotoelétrico se apresentava de maneira inconsistente com a física clássica pois de acordo com essa teoria esperava-se que:

- O efeito deveria ocorrer para qualquer frequência de luz (radiação).
- A energia dos elétrons arrancados deveria aumentar com a intensidade da radiação.
- Um elétron seria liberado apenas quando tivesse acumulado a energia suficiente para vencer a sua ligação no material.

A física clássica **não** era suficiente para explicar o efeito fotoelétrico

## Radiação de corpo negro e a teoria de Planck

O aspecto da radiação emitida por um corpo aquecido varia com a temperatura desse corpo. Trata-se de radiação eletromagnética emitida de acordo com a temperatura e cujo espectro pode ser determinado experimentalmente.

### O corpo Negro

Um corpo negro é um objeto hipotético que absorve toda a radiação eletromagnética que nele incide ou seja, nenhuma luz o atravessa e nem é refletida, um corpo com essa propriedade, em princípio, não poderia ser visto, daí o nome corpo negro. Apesar do nome, corpos negros emitem radiação, o que permite determinar sua temperatura.

Até o ano 1900 que não existia uma teoria que permitisse descrever corretamente a curva para todo o espectro de emissão de um corpo negro. A física clássica concordava para frequências baixas e desviava-se cada vez mais para frequências além do UV, esse efeito ficou marcado na história da física como “catástrofe do ultravioleta”.

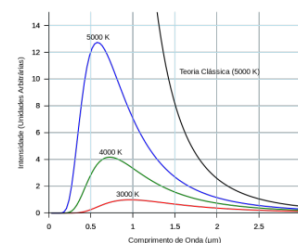


Figura 2: Curva experimental da radiação de corpo negro

## Radiação de corpo negro e a teoria de Planck

Para explicar a “catástrofe do ultravioleta” Max Planck propôs uma hipótese ousada (Nas palavras dele, feita por “puro desespero”) pois na realidade nem ele mesmo acreditava nela. Sua hipótese era de que a radiação emitida por um corpo negro não se dava de maneira **contínua**, mas sim na forma de pequenos “pacotes”, ou seja a energia se dava de forma **quantizada**, de modo que a energia de cada “pacote” seria proporcional à uma frequência da radiação, isto é:

$$E = h\nu \quad (1)$$

Onde  $\nu$  é a frequência em Hz e  $h$  é uma constante, mais tarde chamada de **Constante de Planck**, cujo valor é:

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} \quad \text{ou} \quad h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s}$$

Para unidade de energia em Elétron-Volt.



Figura 3: Max Planck 1858-1947

## Einstein e a explicação do efeito fotoelétrico

**O que é o efeito fotoelétrico?:** Consiste na emissão de partículas carregadas (geralmente elétrons) ocasionada pela absorção de radiação eletromagnética (Luz visível, raios x, ultravioleta, etc) por um determinado material. Em princípio pode ocorrer com vários materiais, mas é um efeito facilmente observável em metais.

- A máxima energia cinética dos elétrons não depende da intensidade da luz, mas sim da frequência da luz.
- Somente após uma certa frequência da luz incidente, os elétrons são ejetados pelo material da placa emissora.
- A intensidade da luz afeta a intensidade da corrente observada, isto é, o número de elétrons por segundo.
- A incidência da luz provoca uma liberação instantânea de elétrons.

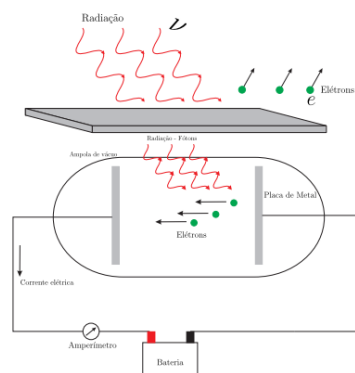


Figura 4: Efeito Fotoelétrico

## Einstein e a explicação do efeito fotoelétrico

Num trabalho publicado em 1905, intitulado “Um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz”. Einstein propôs uma teoria do efeito fotoelétrico baseada numa extensão muito mais audaciosa das ideias de Planck sobre quantização: a de que a radiação eletromagnética de frequência  $\nu$  consiste de quanta de energia:

$$E = h\nu$$

Nas palavras de Einstein, “A ideia mais simples é que um quantum de luz transfere toda a sua energia a um único elétron”. A esse quantum de luz mais tarde se denominaria como sendo fóton.

$$E_{cin} = h\nu - \Phi_0 \quad (2)$$

Onde  $\Phi_0$  é a chamada função trabalho e caracteriza o material.

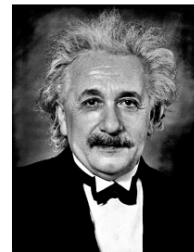


Figura 5: Albert Einstein 1879- 1955

## Einstein e a explicação do efeito fotoelétrico

O fato é que a explicação de Einstein nos concede uma outra interpretação da natureza da luz, a de que esta também apresenta uma natureza corpuscular, ou seja a luz se apresenta constituída por partículas denominadas de fótons.

A equação de Einstein para o efeito fotoelétrico mostra que somente fótons com uma frequência acima de um determinado valor conseguem arrancar elétrons do material (**frequência de corte**) que estão presos por uma energia potencial.

Essa energia potencial depende do material e é conhecida como **função trabalho** sendo denotada por  $\Phi_0$  na equação de Einstein.

$$E_{cin} = h\nu - \Phi_0$$

| Material | $\Phi_0$ |
|----------|----------|
| Sódio    | 2.28 eV  |
| Zinco    | 4.30 eV  |
| Cobre    | 4.7 eV   |
| Platina  | 6.35 eV  |
| Cálcio   | 2.90 eV  |
| Magnésio | 3.68 eV  |

## Equação de Einstein do efeito fotoelétrico

$$E_{cin} = h\nu - \Phi_0 \quad (3)$$

Energia dos fótons:

$$h\nu$$

Função trabalho:

$$\Phi_0$$

Energia Cinética dos elétrons arrancados:

$$E_{cin} = \frac{m_e v^2}{2}$$

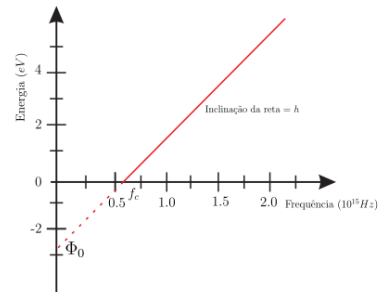


Figura 6: Função Trabalho

## Aplicações do efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico se apresenta em várias aplicações de uso cotidiano com as chamadas células fotoelétricas que transformam a energia da radiação eletromagnética (luz) em energia elétrica.

Exemplos de aplicações:

- Portas de abertura automática.
- Relés para acionamento de lâmpadas de poste em vias.
- Câmeras fotográfica.
- Controle remoto.
- Geração de energia elétrica.



- O conceito de Luz como onda e partícula.
- Corpo negro e a hipótese de Max Planck.
- Energia quantizada do fóton e a constante de Planck.
- O efeito Fotoelétrico na interpretação de Einstein.
- Função trabalho.
- Frequência de Corte.
- Apresentar o simulador no *SimuPhoton*.

- Iniciar a atividade seguindo o Roteiro

### **3º momento: *Aplicação do conhecimento***

- Aplicar o questionário da avaliação.
- Aplicar a atividade utilizando mapa conceitual como avaliação.
- Aplicar o questionário de avaliação do software e das aulas com uso de simuladores.

## **8) Avaliação**

## **9) Referências**

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 4;

CALÇADA, Caio Sergio; SAMPAIO, Jose Luiz. Universo da física. São Paulo: Atual, 2001 Vol 3;

NUSSENZVEIG, H. Moysés. Curso de física básica: ótica, relatividade e física quântica. São Paulo: E. Blücher, 2002;

O Efeito Fotoelétrico Explicado (O Nobel de Einstein)-Canal: Ciência todo dia.

<https://www.youtube.com/watch?v=USGENeYkBd4&t=3s>

## **10) Anexo**

## Apêndice B

### Avaliação do software educativo

| <b>S</b> | <b>PP</b>                             | <b>P</b>     | <b>PM</b>                                | <b>N</b> | <b>NA</b>        |
|----------|---------------------------------------|--------------|------------------------------------------|----------|------------------|
| Sim      | Parcialmente com<br>POUCAS Restrições | Parcialmente | Parcialmente com<br>MUITAS<br>restrições | Não      | Não se<br>aplica |

|   | Quesitos para avaliação do software                                                                    | <b>S</b> | <b>PP</b> | <b>P</b> | <b>PM</b> | <b>N</b> | <b>NA</b> |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| 1 | O uso da simulação ajudou você a compreender melhor o conteúdo?                                        |          |           |          |           |          |           |
| 2 | Você apresentou dificuldades em manipular o software?                                                  |          |           |          |           |          |           |
| 3 | Para você a interface gráfica (Janela, botões e animações) é considerada atraente para sua utilização? |          |           |          |           |          |           |
| 4 | Em aulas de física você já utilizou outro software para aprender algum conteúdo?                       |          |           |          |           |          |           |
| 5 | Você aprova a utilização de simulações durante as aulas de física?                                     |          |           |          |           |          |           |
| 6 | O uso do software foi importante para a solução das atividades proposta?                               |          |           |          |           |          |           |
| 7 | Durante a utilização do software foi notado travamentos, lentidão, comandos “defeituosos”?             |          |           |          |           |          |           |

- 1) Quais são suas impressões a respeito das aulas com uso de simuladores? Destaque, se possível, pontos positivos e negativos com esse tipo de recurso e se você tem preferência ou não pra esse tipo de metodologia.

## Apêndice C

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Eu, .....,abaixo assinado, nacionalidade....., .....anos, RG....., CPF ....., aluno do colégio ..... , estou sendo convidado a participar voluntariamente de um estudo denominado ..... cujo objetivo .....

A minha participação no referido estudo será no sentido de responder a um questionário com questões abertas sobre ....., se necessário, posteriormente serei entrevistado pela pesquisadora a respeito desse assunto. Estou ciente de que o que eu falar na entrevista será gravado para posterior estudo.

Estou ciente de que minha privacidade será respeitada, ou seja, meu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de qualquer forma, me identificar, será mantido em sigilo.

Também fui informado de que posso me recusar a participar do estudo, ou retirar meu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar, e de, por desejar sair da pesquisa, não sofrerei qualquer prejuízo à assistência que venho recebendo.

Os pesquisadores envolvidos com o referido projeto são ....., mestrando(a) do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UNIFESSPA, Polo Marabá e ....., orientador, professor da Faculdade de Física e do MNPEF e com eles poderei manter contato pelos telefones ..... e .....

É assegurada a assistência durante toda pesquisa, bem como me é garantido o livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências, enfim, tudo o que eu queira saber antes, durante e depois da minha participação.

Enfim, tendo sido orientado quanto ao teor de todo o aqui mencionado e compreendido a natureza e o objetivo do já referido estudo, manifesto meu livre consentimento em participar, estando totalmente ciente de que não há nenhum valor econômico, a receber ou a pagar, por minha participação.

No entanto, caso ocorra algum dano decorrente da minha participação no estudo, serei devidamente indenizado, conforme determina a lei.

Este documento é emitido em duas vias que serão ambas assinadas por mim e pelo pesquisador, ficando uma via com cada um de nós.

Marabá, .....de ..... de 2018.

---

( assinatura do sujeito da pesquisa)

PARA MENORES DE 18 ANOS ASSINATURA DO RESPONSÁVEL:

Nome: \_\_\_\_\_

RG; \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

( assinatura do representante legal do sujeito da pesquisa )

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido deste sujeito de pesquisa ou representante legal para a participação neste estudo.

---

Assinatura de (estudante do MNPEF)

Nome do pesquisador(a)

Representante legal do aluna(o) de Pesquisa e Prática Pedagógica

## **Apêndice D**

### **Questionário de problematização inicial**

Discuta entre os colegas do grupo e tentem responder as seguintes questões abaixo.

- 1) Como você explicaria o funcionamento da abertura automática da porta do shopping?
- 2) Como você explicaria o fato das luzes dos postes acenderem automaticamente e ao mesmo tempo quando anoitece?
- 3) Existe alguma coisa que relacione as duas situações? Na sua opinião o que seria?
- 4) Em uma situação onde o céu fique nublado, mesmo durante o dia, você acha que as luzes do poste permaneceriam apagadas?
- 5) Na sua opinião, qualquer outro corpo, que não fosse o humano ou outro animal, também teria capacidade para abrir a porta do shopping ao se aproximar? Como você justificaria este comportamento?

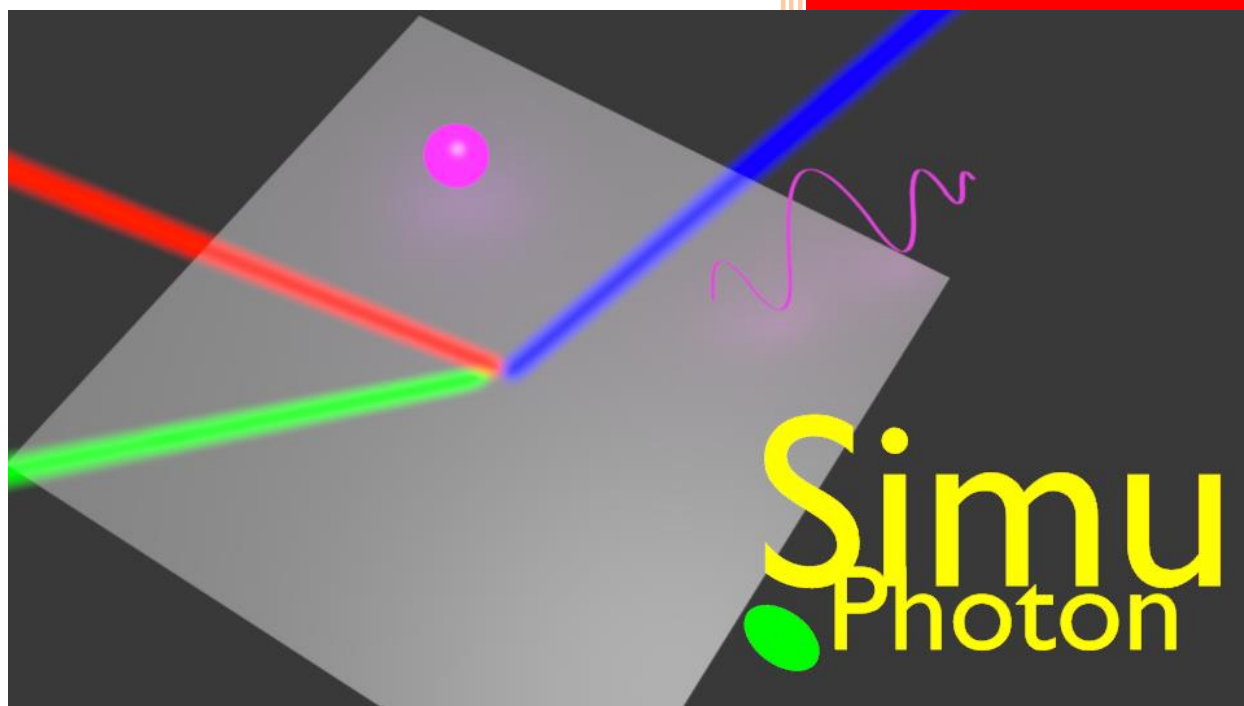
## Apêndice E: Produto educacional

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



# Produto Educacional



**Caio F. R. Silva**

## **Apresentação**

Prezado professor e usuário,

É notório os desafios e as dificuldades que enfrentamos em relação ao ensino de ciências, sobretudo no ensino de física, seja por desinteresse por parte dos alunos, seja por parte dos professores, que diante da falta de planejamento ou do conhecimento de recursos e ferramentas pedagógicas que permitam abordar determinado conteúdo de modo rápido e eficiente, se sentem desmotivados. Diante desse paradigma, a apresentação de metodologias ou de ferramentas de cunho didática-pedagógica são elementos da pesquisa em ensino que visam promover soluções relacionadas aos problemas supracitados, sobretudo no contexto das novas tecnologias.

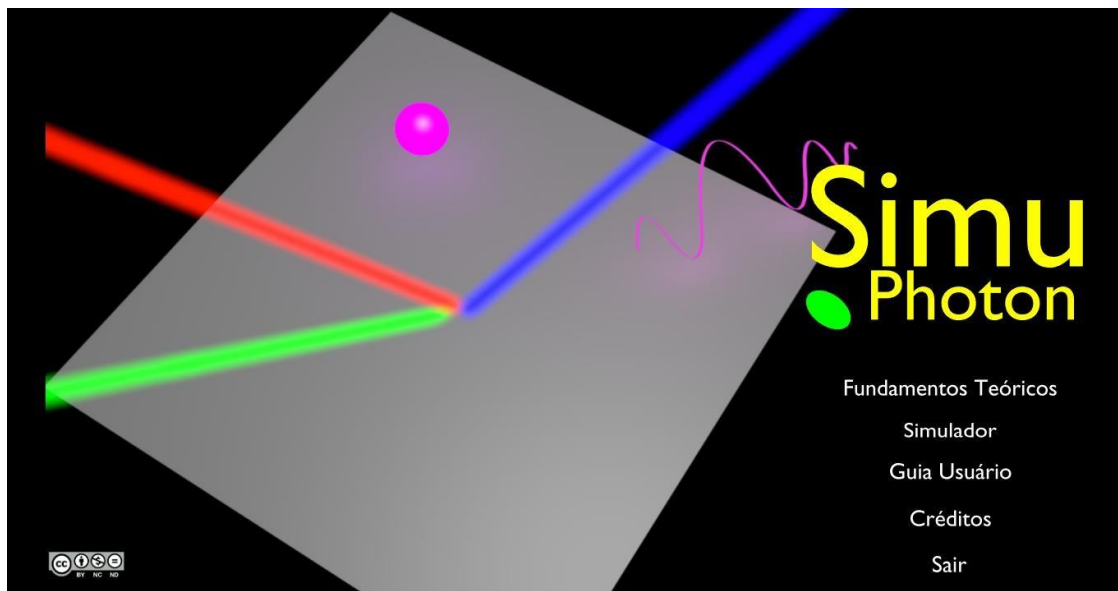
Este guia tem como objetivo oferecer informações de uso e aplicação por meio de uma sequência didática relacionada ao produto educacional *SimuPhoton*, um software desenvolvido no MNPEF polo Marabá que tem como plataforma de criação o software *Blender Game Engine 2.79*, um software livre dedicado a modelagem, computação gráfica, ambientes virtuais e desenvolvimentos de jogos 3D.

O *SimuPhoton* tem por finalidade ser uma ferramenta pedagógica que busca auxiliar alunos e professores no ensino e aprendizagem dos principais conceitos envolvendo o fenômeno do *efeito fotoelétrico*, tema este que é considerado um marco na história e no desenvolvimento da física e responsável por um número considerável de aplicações tecnológicas e, também, responsável por conceder a Albert Einstein o prêmio Nobel em 1915, por sua explicação dada a este efeito.

O *SimuPhoton* é um ambiente de simulação interativa computacional, com o qual alunos e professores poderão criar situações que busquem visualizar, de modo dinâmico, relações envolvidas na descrição do efeito fotoelétrico. As principais variáveis envolvidas neste efeito poderão ser manipuladas e o resultado poderá ser observado diretamente na interface que em conjunto com um roteiro de atividades busca diminuir o caráter abstrato deste conteúdo.

## Sinopse

Ao abrir o *SimuPhoton*, a seguinte janela inicial será apresentada, conforme ilustrado na figura 1.



*Figura 1: Interface Inicial do SimuPhoton*

Ao lado temos as opções “*Fundamentos Teóricos*”, “*Simulador*”, “*Guia Usuário*”, “*Créditos*”.

### Fundamentos Teóricos

Neste menu é apresentado uma breve contextualização histórica a respeito do desenvolvimento do efeito fotoelétrico, bem como, a apresentação de alguns conceitos importantes para a sua descrição. É apresentada o conceito de energia associada a um fóton de luz, constante de Planck, função trabalho dos materiais envolvidos na simulação, frequência de corte e aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano. Ele tem o objetivo de apresentar um panorama geral do efeito fotoelétrico e de caráter não obrigatório.

## Simulador

Nesta opção o usuário é direcionado ao ambiente de simulação ilustrado na figura 2.

- 1- Lanterna.
- 2- Fonte de Alimentação e medidor de corrente.
- 3- Célula Fotoelétrica.
- 4- Retornar ao menu inicial
- 5- Painéis indicador de energia de fótons e elétrons ejetados
- 6- Gráfico da função trabalho
- 7- Pausar e continuar simulação.
- 8- Seletor de frequência/comprimento c
- 9- Reiniciar simulador.

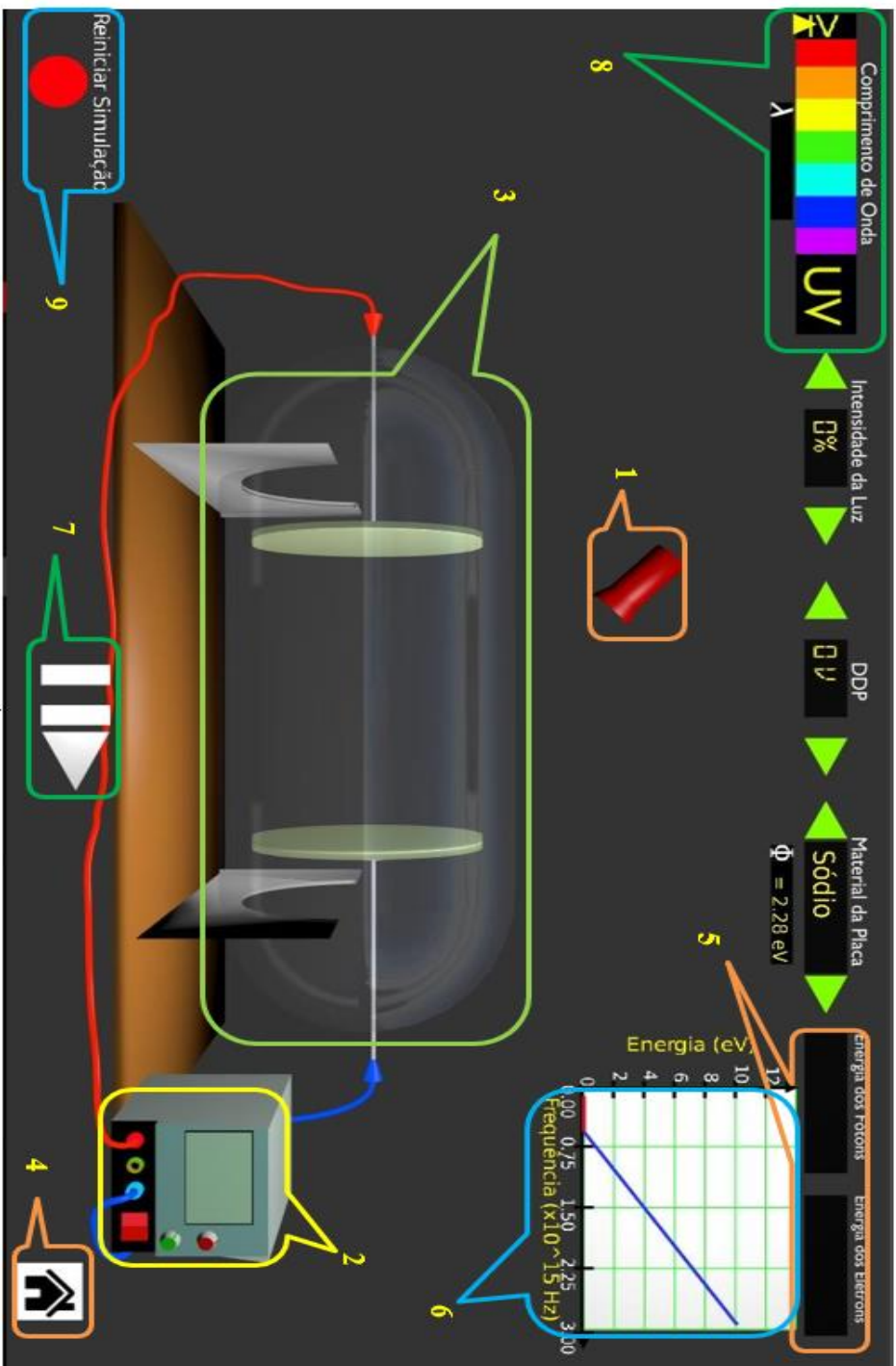


Figura 2: Interface de Simulação

Todos os parâmetros apresentados no painel do simulador podem ter seus valores mudados, sobrepondo o mouse no item e clicando nos respectivos ícones, apresentados na figura 3.

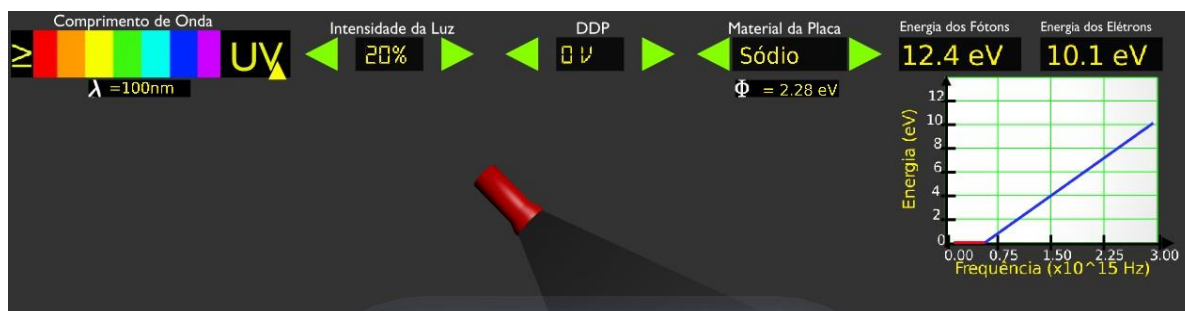


Figura 3: Ícones para variação dos parâmetros do efeito fotoelétrico.

### Comprimento de onda

O ícone “Comprimento de Onda” está relacionado diretamente a frequência da radiação que irá incidir sobre a placa. Logo abaixo desse ícone, o usuário poderá selecionar a respectiva cor que corresponderá ao comprimento de onda associado ao espectro de luz visível.

Nas áreas de seleção do comprimento de onda é possível notar as siglas “IV” e “UV” que significam, respectivamente, infravermelho e ultravioleta, com comprimentos de ondas dados por 800 nm, para o IV, 300 nm, 200 nm e 100 nm para o UV.

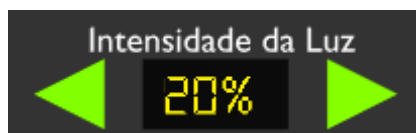


Figura 3: Seletor para o comprimento de onda.

Também será observada a movimentação de uma seta indicadora amarela ao selecionar o comprimento de onda respectivo.

### Intensidade da Luz

Nesta opção é possível aumentar ou diminuir a intensidade da radiação eletromagnética (ou luz) emitida pela lanterna. Os valores variam percentualmente entre 0% e 100% e seu valor pode ser mudado clicando sobre um dos ícones em forma de uma seta verde, como ilustra a figura 4.



*Figura 4: Seletor para a intensidade da luz.*

### DDP

Nesta opção o usuário poderá controlar a diferença de potencial elétrico entre as placas e, conseqüentemente, a força elétrica que age sobre os elétrons ejetados no material. DDP é a abreviação para diferença de potencial, e esta é estabelecida pela fonte associada ao circuito elétrico. Ao clicar sobre os ícones em forma de setas, à esquerda e à direita os elétrons podem ser acelerados ou freados conforme a intensidade da DDP, como ilustrado na figura 5. Nessa simulação, os valores de DDP são variados com um incremento de 0.5 V, em um intervalo de -2.5 V à 2.5 V.



*Figura 5: Seletor para a diferença de potencial.*

### Material da Placa

Esta opção indica a seleção do material ao qual a radiação irá incidir. Para cada material selecionado também é indicado seu valor de função trabalho, que indica o valor mínimo de energia que deverá ter a radiação a ser incidida sobre a placa metálica para que seja ejetado os elétrons do material, conforme ilustrado na figura 6. Nesta simulação os valores de frequência são tomados de maneira discreta, de maneira a dificultar a obtenção exata da frequência de corte durante a simulação. Os materiais disponíveis para a simulação são: Sódio, Zinco, Cobre, Platina, Cálcio, Magnésio.



Figura 6: Seletor para material da placa e função trabalho.

### Gráfico da função trabalho

De acordo com a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico, o tipo de elemento químico que compõe a placa a ser incidida pela radiação eletromagnética é importante para a observação do efeito fotoelétrico. A função trabalho que caracteriza cada material nesta simulação determina o tipo de curva no gráfico de Energia x Frequência. Assim, a medida em que se escolhe o material a ser utilizado durante a simulação, podemos observar seu respectivo gráfico na simulação, conforme a figura 7.

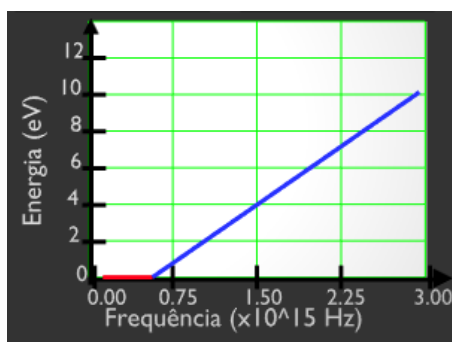


Figura 7: Gráfico Energia x Frequência do efeito fotoelétrico.

### Execução das atividades

As atividades com esse software podem ser executadas de acordo com a metodologia dos três momentos de Delizoicov (3MP), ou através daquela que o professor achar conveniente e de acordo com as situações, é recomendado que os próprios alunos interajam diretamente com o simulador, a fim de uma aprendizagem mais ativa e focada.

## Atividade 01

**Objetivo:** Entender a relação que há entre intensidade da luz incidente e o número de elétrons arrancados do material.

- Abra o SimuPhoton na opção simulador e abra o painel do simulador conforme a figura abaixo:

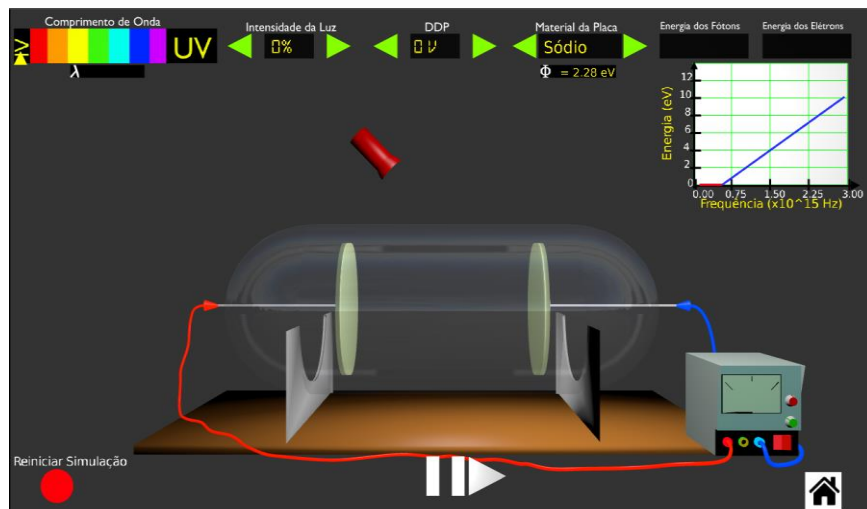


Figura 1: Janela do simulador

- Inicie a simulação com os seguintes parâmetros iniciais:
- Intensidade da luz: 0%,
  - Comprimento de onda: 300nm
  - DDP: 0 V
  - Material da placa: Sódio



Figura 2: Parâmetros iniciais

- Aumente intensidade da luz em 10% e observe o ocorrido.

- 1) Ao incidir a radiação sobre a placa de sódio nas condições impostas o que pôde ser observado?

- Aumente intensidade da luz de forma gradual em até 100% e observe o ocorrido.

2) O que ocorre ao aumentarmos a intensidade da radiação sobre a placa?

- Zere gradualmente a intensidade da radiação até 0%.
- Mude o valor do comprimento de onda de 300nm para 685nm conforme a figura.



- Aumente novamente de forma gradual o valor da intensidade da luz de 0% até 100% de maneira gradual.

3) Nessas condições houve a ejeção de elétrons do material? Qual seria sua hipótese para que não o corresse o efeito fotoelétrico?

4) Com base nas duas atividades anteriores qual dos dois comprimentos de onda selecionados apresenta valor de frequência maior? Lembre-se que a

relação entre essas duas grandezas é dada por:  $c = \lambda f$  , onde c é a velocidade da luz no vácuo e seu valor é de aproximadamente  $3 \cdot 10^8 m/s$ .



## Atividade 02

**Objetivo:** Entender a relação entre a radiação, frequência de corte e energia cinética dos elétrons emitidos.

- Inicie a atividade lembrando brevemente o conceito de energia cinética de uma partícula.
- Reinicie a simulação clicando no botão vermelho que está no canto inferior esquerdo, em seguida defina os seguintes parâmetros:
  - Intensidade da luz: 50%
  - DDP: 0 V
  - Material da placa: Sódio



- Partindo de 685 nm (IV), diminua gradativamente o comprimento de onda até o valor de 200nm em (UV) e para cada valor selecionado anote os valores da Energia dos Fótons e Energia dos Elétrons na tabela abaixo:

| Comprimento de onda | Frequência da onda em THz | Energia Fótons | Energia Elétrons |
|---------------------|---------------------------|----------------|------------------|
| 685 nm              | 438                       |                |                  |
| 580 nm              | 517                       |                |                  |
| 532 nm              | 564                       |                |                  |
| 492 nm              | 610                       |                |                  |
| 443 nm              | 6780                      |                |                  |
| 300 nm              | 1000                      |                |                  |
| 200 nm              | 1500                      |                |                  |

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

- 2) Se o comprimento de onda foi diminuído o que ocorreu com a frequência?

- 3) Sabendo que para cada comprimento de onda dado temos um valor de energia dos fótons e que de acordo com a teoria a energia de cada fóton é dada por:  $E = hf$ . Onde  $h$  é a constante de Planck. Com posse dessas informações, encontre o valor numérico dessa constante. (Se possível utilize uma calculadora).

- Reinicie a simulação clicando no botão vermelho, em seguida defina os seguintes parâmetros:
  - Intensidade da luz: 50%
  - DDP: 0 V
  - Material da placa: Sódio



- Em seguida diminua gradualmente o comprimento de onda no seletor até os elétrons serem emitidos da placa. Anote o valor deste comprimento de onda.

- Reinicie a simulação clicando no botão vermelho, em seguida defina os seguintes parâmetros:
  - Intensidade da luz: 50%
  - DDP: -2.5 V
  - Material da placa: Sódio



- Em seguida diminua o comprimento de onda no seletor até o comprimento de onda anotado anteriormente.
- 4) Por que que com o mesmo comprimento de onda não ocorreu o efeito fotoelétrico considerando a mudança do parâmetro DDP (Voltagem), como você relaciona esse fato com o que aprendeu em eletrostática?

## Apêndice F

### Questionário de Avaliação

Nome: \_\_\_\_\_

Data: \_\_/\_\_/\_\_

Turma: \_\_\_\_\_

- 1) Supondo que a energia do fóton incidente seja suficiente para que ocorra o efeito fotoelétrico, o que acontece quando os fótons incidem sobre a superfície do metal?
  - a) Não há emissão de elétrons
  - b) Para cada dois fótons incidentes há emissão de um elétron.
  - c) Para cada fóton incidente há emissão de dois elétrons
  - d) Para cada fóton incidente há emissão de um único elétron.
  
- 2) Supondo que a energia do fóton incidente seja suficiente para que ocorra o efeito fotoelétrico, o que acontece quando os fótons incidem sobre a superfície do metal?
  - e) Não há emissão de elétrons
  - f) Para cada dois fótons incidentes há emissão de um elétron.
  - g) Para cada fóton incidente há emissão de dois elétrons
  - h) Para cada fóton incidente há emissão de um único elétron.
  
- 3) Na descrição do efeito fotoelétrico feita por Einstein a função trabalho influencia a velocidade dos elétrons ejetados de que forma?
  - a) Determina a intensidade mínima da luz para que ocorra o efeito fotoelétrico.
  - b) Determina o número de elétrons a serem emitidos.
  - c) Determina qual a energia mínima necessária para que ocorra o efeito fotoelétrico, ou seja, a emissão de elétrons do material.
  - d) Não tem influência.
  
- 4) (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.

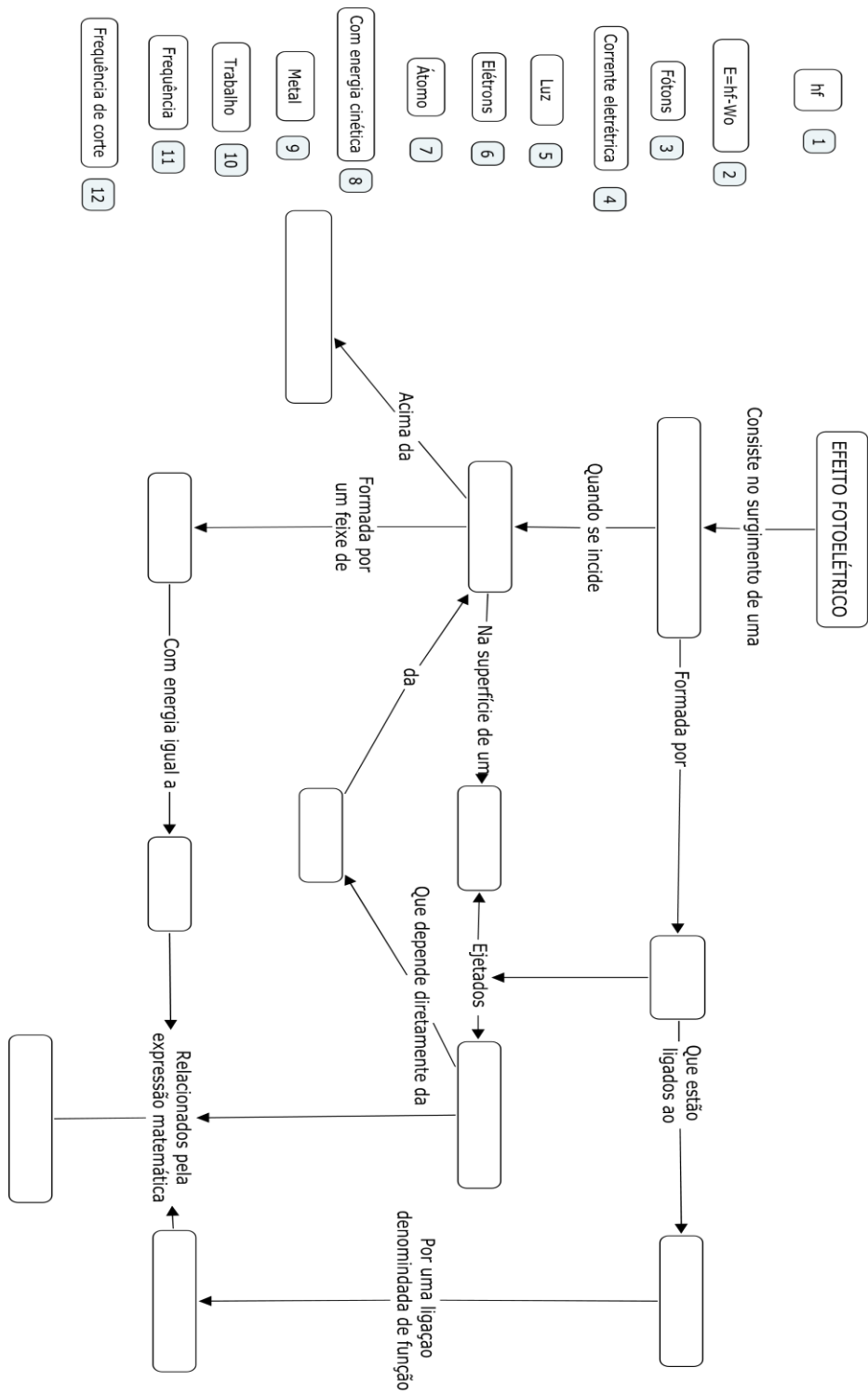
5) Uma das contribuições da Física para o bem-estar e a segurança nas cidades é o constante avanço tecnológico aplicado à iluminação pública. Parte das luminárias do século XIX era acesa manualmente por várias pessoas ao entardecer. Hoje, o acionamento das lâmpadas tornou-se automático devido à aplicação dos conhecimentos sobre o efeito fotoelétrico (descrito por Albert Einstein, em 1905) e ao desenvolvimento das células fotoelétricas instaladas nos postes de iluminação pública, capazes de detectar a presença de luz natural. Sobre o efeito fotoelétrico, considere as afirmativas a seguir.

- I- Consiste na emissão de elétrons de uma superfície metálica quando esta é iluminada com luz de determinada frequência.
- II- Ocorre independentemente da frequência da luz incidente na superfície do metal, mas é dependente de sua intensidade.
- III- Os elétrons ejetados de uma superfície metálica, devido ao efeito fotoelétrico, possuem energia cinética igual à energia do fóton incidente.
- IV- Por mais intensa que seja a luz incidente, não haverá ejeção de elétrons enquanto sua frequência for menor que a frequência limite (ou de corte) do metal.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e II são corretas.
- b) Somente as afirmativas I e IV são corretas.
- c) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
- d) Somente as afirmativas I, II e III são corretas.
- e) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

## Mapa Conceitual



## Apêndice H

### Questionário Prévio

Nome: \_\_\_\_\_

Data: \_\_/\_\_/\_\_ Turma: \_\_\_\_\_

- 1) Para cada uma das grandezas abaixo, escreva sua respectiva unidade de medida no sistema internacional dada as opções:  $Hz$ ,  $m/s$ ,  $s$ ,  $m$ ,  $J$ 
  - a) Velocidade \_\_\_\_\_
  - b) Período \_\_\_\_\_
  - c) Frequência \_\_\_\_\_
  - d) Comprimento de onda \_\_\_\_\_
  - e) Energia \_\_\_\_\_
- 2) Quais das opções abaixo também representa unidade de energia no sistema internacional de unidades?
  - a) [V] – Volt
  - b) [C] – Coulomb
  - c) [N] – Newton
  - d) eV – Elétron Volt
- 3) Na sua opinião, o que está diretamente relacionado com a intensidade de uma onda?
- 4) Sobre uma característica das ondas eletromagnéticas, marque a opção verdadeira:
  - a) São ondas mecânicas.
  - b) São ondas cuja velocidade varia com a frequência quando do vácuo.
  - c) São ondas cuja velocidade é a mesma quando no vácuo e sua velocidade é a da luz.
  - d) A luz não é uma onda eletromagnética.
- 5) Em 1895, o físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen descobriu os raios X, que são usados principalmente na área médica e industrial. Esses raios são:
  - a) Radiações formadas por partículas alfa com grande poder de penetração.
  - b) Radiações formadas por elétrons dotados de grandes velocidades.
  - c) Ondas eletromagnéticas de frequências maiores que as das ondas ultravioletas.
  - d) Ondas eletromagnéticas de frequências menores do que as das ondas luminosas.

## Referências Bibliográficas

ABREU, J. B.; FERREIRA, D. T.; FREITAS, N. M. D. S. Os Três Momentos Pedagógicos como possibilidade. **XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação**, Florianópolis, 2017.

ABREU, L. M. A. D.; ABREU, H. C. D. A. O IMPACTO DA INFORMATIZAÇÃO NO AMBIENTE ESCOLAR NO ÊXITO EDUCACIONAL DOS ALUNOS. **PEDAGOGIA EM AÇÃO**, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, 2015. ISSN 2175-7003.

ALBURQUERQUE, K. B.; SANTOS, P. J. D.; FERREIRA, G. K. Os Três Momentos Pedagógicos como metodologia para o ensino de Óptica no Ensino Médio: o que é necessário para enxergarmos?, Santa Catarina, v. 32, n. 2, 2015. ISSN 2175-7941.

BARBOSA, C. D. et al. O uso de simuladores via smartphone no ensino de física: O experimento de Oersted. **Scientia Plena**, v. 13, n. 1, 2017. ISSN 13. 10.14808 / 2017.012712.

BARCELLOS, M.; GUERRA, A. INOVAÇÃO CURRICULAR E FÍSICA MODERNA: DA PRESCRIÇÃO À PRÁTICA. **Ens. Pesqui. Educ. Ciênc. (Belo Horizonte)**, Belo Horizonte, v. 17, n. 2, p. 329-250, Agosto 2015. ISSN 1415-2150.

BERGQVIST, L. **Monte Carlo Simulations of Ferromagnetic Quasi Two Dimensional Spin Model Systems**. Master of Science Thesis. Uppsala University. [S.l]. 2000.

BETZ, M. Radiação e matéria. **Física do Século XX - A**. Disponível em: <[https://www.if.ufrgs.br/~betz/iq\\_XX\\_A/fotoElec/aFotoElecFrame.htm](https://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/fotoElec/aFotoElecFrame.htm)>. Acesso em: 1 Abril 2019.

BLENDER. Blender features. **Blender Org**. Disponível em: <<https://www.blender.org/features/>>.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Portugal: Porto Editora, 1994.

BRASIL. **PCNEM**. MEC. [S.l.]. 1999.

BRASIL. **Orientações Educaionais Complementares aos Parâmentos Curriculares Nacionais (PCN+). Ciências da Natureza e suas tecnologias**. MEC. Brasília. 2006.

BUHLER,. J. A. **Estudo de técnicas de determinação experimental e pós processamento de curvas características de módulos fotovoltaicos**. UFRGS (Tese de Doutorado): [s.n.], 2011.

CAMPOS, G. H. B. A qualidade em Software Educacional, 2001. Disponível em: <<http://www.cciencia.ufrj.br/Publicacoes/Artigos.htm>>. Acesso em: 1 Abril 2019.

CARVALHO, A. M. P. D.; VANNUCCHI, A. O CURRÍCULO DE FÍSICA: INOVAÇÕES E TENDÊNCIAS NOS ANOS NOVENTA. **Revista Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 3-19, 1996. ISSN 1518-8795.

CARVALHO, A. R. F. **Evolução do uso de energia solar**: Estudo comparativo entre Israel e Brasil (Monografia). Lavras: UFL-MG, 2010.

CAVALCANTE, M. A.; JARDIM, V.; BARROS, J. A. D. A. INSERÇÃO DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: DIFRAÇÃO DE UM FEIXE LASER. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Santa Cararina , v. 16, n. 2, p. 154-169, Agosto 1999.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma aula sobre o Efeito Fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. **A física na Escola**, São Paulo, v. 3, n. 1, Maio 2002.

CHAVES, E. O. C. O uso de Computadores em Escolas: Fundamentos e Críticas, 1988. Disponível em: <[http://www.ich.pucminas.br/pged/db/wq/wq1/local/ec\\_scipione.htm](http://www.ich.pucminas.br/pged/db/wq/wq1/local/ec_scipione.htm)>. Acesso em: 28 Janeiro 2019.

COELHO, H. T.; FERREIRA, R. Annus Mirabilis de Einstein: artigos que revolucionaram a Física. **Gazeta de Matemática**, Receife, n. 150, Janeiro 2006.

COSTA, M. D. **SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NO ENSINO DE FÍSICA: REVISÃO SISTEMÁTICA DE PUBLICAÇÕES DA ÁREA DE ENSINO**. UEL. Curitiba. 2017. ( 2176-1396).

DARROZ, L. M.; ROSA, C. W. D.; GHIGGI, C. M. MÉTODO TRADICIONAL X APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: INVESTIGAÇÃO NA AÇÃO DOS PROFESSORES DE FÍSICA. **Aprendizagem Significativa em Revista**, São José - Passo Fundo, v. 5, n. 1, p. 70-85, 2015.

DARROZ, L. M.; ROSA, C. W. D.; GHIGGI, C. M. MÉTODO TRADICIONAL X APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: INVESTIGAÇÃO NA AÇÃO DOS PROFESSORES DE FÍSICA. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Passo Fundo, v. 5, n. 1, p. 70-85, 2015.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Física**. São Paulo: [s.n.], 1992. p. 29.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. 2. ed. [S.l.]: Cortez Editora, 2002.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

DICTIONARY, B. simulator. BusinessDictionary.com. WebFinance, Inc. **http://www.businessdictionary.com/definition/simulator.html**, 2019. Disponível em: <<http://www.businessdictionary.com/definition/simulator.html>>. Acesso em: 21 Maio 2019.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica**. 1º. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979.

FILHO, G. F. D. S. **SIMULADORES COMPUTACIONAIS PARA O ENSINO DE FÍSICA BÁSICA: UMA DISCUSSÃO SOBRE PRODUÇÃO E USO ( Dissertação de Mestrado)**. UFRJ. Rio de Janeiro. 2010.

FIOLHAIS, C.; TRINDADE, J. Física no Computador: o Computador como uma Ferramenta no Ensino e na Aprendizagem das Ciências Físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 259 - 272, Setembro 2003.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 18ª. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1988.

GADDIS, B. **Learning in a Virtual Lab:** Distance Education and Computer Simulations. Doctoral Dissertation. University of Colorado. [S.l.]: [s.n.]. 2000.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A.; HERSCOVITZ, V. E. Uma Proposta para o Ensino de Mecânica Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 4, Abril 2001. ISSN 1806-9126.

GRECA, I. M.; SEOANE, E.; ARRIASSECQ, I. Epistemological issues concerning computer Simulations in science and their implications for science education. **Science & Education**, Millsboro, v. 23, p. 879 - 921, 2014.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Óptica e Física Moderna**. 9º. ed. [S.l.]: [s.n.], v. 4, 2012.

HAYNES, W. M. **CRC handbook of chemistry and physics:** a ready-reference book of chemical and physical data. [S.l.]: Boca Raton, 2009.

KARAM, R.; PIETROCOLA, M. **Formalização Matemática x Física Moderna no ensino médio: É possível solucionar esse impasse?** XI Encontro e Pesquisa em Ensino de Física. Curitiba. 2008.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação:** abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

MACÊDO, J. A. **Simulações computacionais como ferramenta auxiliar ao ensino de conceitos básicos de eletromagnetismo:** elaboração de um roteiro de atividades para professores do Ensino Médio. Belo Horizonte: Dissertação (mestrado) - – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, 2009.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. D. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, p. 77-86, Junho 2002. ISSN 2.

MILONNI, P. W. **The quantum vacuum:** introduction to QED. [S.l.]: Academic Press, 1993.

MIRANDA, R. M.; BECHERA, M. J. **Uso de simulações em disciplinas básicas de mecânica em um curso de licenciatura em física**. ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA (EPEF). Jaboticatubas : Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física. 2004.

MIRO; JULIA, J. **Dangers of the Paradigm Shift**. Universitat de les Illes Balears. [S.l.]. 2001.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação Contemporânea. **Revista do Professor de Física**, Brasília, v. 1, n. 1, 2017.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. **Aprendizagem significativa**: a teoria de aprendizagem de David Ausubel. 2ª Edição. ed. São Paulo: Centauro, 2006.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro "Física". **Ciênc. educ. (Bauru)**, Bauru, v. 20, n. 3, p. 617-638, Setembro 2014. ISSN 1980-850X.

NASCIMENTO, J. K. F. D. **Informática aplicada à educação**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 84. 2009. (978-85-230-0981-6).

NUNES, A. L. A Física Quântica para todos. **XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA**, Nitéroí, 2007. 6.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física básica**. 1º. ed. [S.l.]: Blucher, v. 3, 1998.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física básica**. 1ª. ed. São Paulo: Blucher, v. 4, 1998.

OLIVEIRA, C. D. TIC'S NA EDUCAÇÃO: A UTILIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO. **Pedagogia em ação**, Belo Horizonte-MG, v. 7, n. 1, 2015. ISSN 2175-7003.

OLIVEIRA, F. F. D.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de ensino de física**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 447- 454, 2007.

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

OLIVEIRA, K.; SARAIVA, M. D. F. **Astronomia e Astrofísica**. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

OLIVEIRA, R. J. D. A Crítica ao Verbalismo e ao Experimentalismo no Ensino de Química e Física. **Química Nova**, São Paulo, v. 15, n. 1, 1992.

OSTERMANN, F.; FERREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de Física Contemporânea no Ensino Médio: um Texto para Professores sobre Supercondutividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 270-288, Setembro 1997.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A ÁREA DE PESQUISA “FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO”. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, RS, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000. ISSN 1518-8795.

PAPERT, S. A máquina das crianças: repensando a escola na era da informática, Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.

PEDUZZI, L. O. Q. SOBRE A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NO ENSINO DA FÍSICA. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 14, n. 3, p. 229-253, Dezembro 1997.

PEREIRA, E.; SILVA, D. R. **O USO DE TICS COMO RECURSOS DE APOIO PEDAGÓGICO NO PROCESSO DE ENSINO DE ALUNOS COM DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM**. [S.l.]. 2014. (978-85-8015-080-3).

REITZ, J. R.; MILFORD, F. J.; CHRISTY, R. W. **Fundamentos da teoria eletromagnética**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1982.

ROSA, C. W. D.; ROSA, Á. B. D. Ensino de Física: objetivo e imposições no ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Passo Fundo, v. 4, n. 1, 2005.

ROSA, C. W. D.; ROSA, Á. B. D. Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 1, 2005.

ROSA, C. W. D.; ROSA, Á. B. D. O ensino de ciências (Física) no Brasil: da história às novas orientações educacionais. **s. Revista Iberoamericana de Educación**, v. 58, n. 2, 2012.

ROSA, P. R. S. P. I. P. E. U. R. O uso de computadores no ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 182 - 1995, Junho 1995.

SANCHES, M. B.; NEVES, M. C. D. S. A física moderna e contemporânea no ensino médio: uma reflexão didática., Maringá, n. Eduem, 2011.

SANTOS, A. F. **Formação de Professores e o não uso do laboratório de física: um estudo de caso**. Monografia. Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Sertão Pernambucano-Campus Salgueiro. [S.l.]. 2015.

SCHNETZLER, R. P. Construção do Conhecimento e Ensino de Ciências. **Em Aberto**, v. 11, n. 55, p. 17-22, 1992.

SILVA, A. J. R. D. Mecânica quântica, ciência básica e geração de riqueza. **Revista USP**, São Paulo, n. 76, p. 88-95, Dezembro 2008.

SOUZA, J. R. P. D. S. **Energia Solar Fotovoltaica**: Conceitos e Aplicações para o ensino médio. Belém-PA: Dissertação de Mestrado Ensino de Física, 2016.

TEGMARK, M.; WHEELER, J. A. 100 Years of the Quantum. **Scientific American**, p. 68-75, Fevereiro 2001.

TERRAZAN, E. A.; MENEZES, L. C. D. Perspectivas para inserção da Física Moderna na escola. **Tese de Doutorado**, São Paulo: Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo(USP), 1994.

TERRAZAN, E. A. A INSERÇÃO DA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, Dezembro 1992.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 6ª. ed. [S.l.]: LTC, 2014.

VALADARES, E. D. C.; MOREIRA, A. M. ENSINANDO FÍSICA MODERNA NO SEGUNDO GRAU: EFEITO FOTOELÉTRICO, LASER E EMISSÃO DE. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 121-135, Agosto 1998.

VALENTE, J. Usos do Computador na Educação. **Liberando a Mente: Computadores na Educação Especial**, Campinas, n. Gráfica Central da Unicamp, p. 15-31, 1991.

VERBIC, S. **Different Conceptions of the Same Physical Phenomenon for Real and Numerical Experiment. Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics**. Ljubljana. Slovenia. 1996.

VIEIRA, F. **Avaliação de software Educativo: Reflexões para uma análise Criteriosa**. [S.l.]. 1999.

YOUNG, H. D. **Física 4: ótica e física moderna**. São Paulo: [s.n.], v. 12, 2009.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física. Ótica e Física Moderna**. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

ZOLLMAN, D. NARST Annual Meeting. **Phys**, 1999. Disponível em: <[www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst.html](http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst.html) (1999)>.