

MNPEF

Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS – GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF

**O EFEITO FOTOELÉTRICO: UMA DEMONSTRAÇÃO DE QUE A
EXPERIÊNCIA NÃO LEVA AO CONHECIMENTO DA
“VERDADE”**

JORGE RAPHAEL RODRIGUES DE OLIVEIRA COTINGUIBA

Vitória da Conquista – Bahia
Julho de 2022

MNPEF

Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS – GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF

**O EFEITO FOTOELÉTRICO: UMA DEMONSTRAÇÃO DE QUE A
EXPERIÊNCIA NÃO LEVA AO CONHECIMENTO DA
“VERDADE”**

JORGE RAPHAEL RODRIGUES DE OLIVEIRA COTINGUIBA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação (PPG), da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), polo 62, no Programa de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

Orientador: Prof. Dr. Valmir Henrique de Araújo

Vitória da Conquista – Bahia
Julho de 2022

C885e

Cotinguiba, Jorge Raphael Rodrigues de Oliveira.

O efeito fotoelétrico: uma demonstração de que a experiência não leva ao conhecimento da “verdade”. / Jorge Raphael Rodrigues de Oliveira Cotinguiba, 2022.

109f. il.

Orientador (a): Dr. Valmir Henrique de Araújo.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós Graduação do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, Vitória da Conquista, 2022.

Inclui referência F. 103 - 104.

1. Ensino de física. 2. Efeito fotoelétrico. 3. Experimentação - Tecnologia. 4. Simulador interativo. I. Araújo, Valmir Henrique de. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física- MNPEF. IV. T.

CDD 530

Catálogo na fonte: Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890

Bibliotecária UESB – Campus Vitória da Conquista -BA



ATA DE BANCA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE Mestrado

Aos vinte e cinco dias do mês de agosto de 2022, às 9h00, por meio da plataforma virtual Google Meet, de conta institucional da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, campus de Vitória da Conquista, instalou-se a Banca Examinadora para avaliação da dissertação intitulada Efeito fotoelétrico: uma demonstração de que a experiência não leva ao conhecimento da "verdade", de autoria de Jorge Raphael Rodrigues de Oliveira Cotinguiba, discente do Programa de PósGraduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. A banca examinadora foi presidida pelo professor Dr. Valmir Henrique de Araújo, orientador do mestrando e contou com a participação dos professores Dr. Joabson Guimarães da Silva e Dr. Luizdarcy de Matos Castro, na condição de examinadores; tendo sido APROVADO. Entretanto, para que o respectivo título possa ser concedido, com as prerrogativas legais dele advindas, o exemplar definitivo da referida dissertação deverá ser entregue(enviada), na secretaria do mestrado, em um prazo máximo de 60 (sessenta) dias, com as alterações e/ou correções sugeridas pelos membros da banca, para que possa ser homologado pelas instâncias competentes da UESB.



Documento assinado eletronicamente por **Valmir Henrique de Araújo, Professor**, em 25/08/2022, às 10:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luizdarcy de Matos Castro, Vice-coordenador(a) do Programa**, em 25/08/2022, às 10:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristina Porto Gonçalves, Coordenador(a) do Programa**, em 25/08/2022, às 10:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Joabson Guimarães da Silva, Usuário Externo**, em 25/08/2022, às 10:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jorge Raphael Rodrigues de Oliveira Cotinguiba, Usuário Externo**, em 25/08/2022, às 11:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://seibahia.ba.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **00052922154** e o código CRC **6D0F0A16**.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO Mestrado Nacional Profissional
EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF
Área de concentração: Ensino de Física



EFEITO FOTOELÉTRICO: UMA DEMONSTRAÇÃO DE QUE A EXPERIÊNCIA
NÃO LEVA AO CONHECIMENTO DA "VERDADE"

AUTOR: JORGE RAPHAEL RODRIGUES DE OLIVEIRA COTINGUIBA

DATA DE APROVAÇÃO: 25 de agosto de 2022

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em convênio com a Sociedade Brasileira de Física – SBF, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Área de concentração: Ensino de Física.

COMISSÃO JULGADORA

Valmir Henrique de Araújo
PROF. DR. VALMIR HENRIQUE DE ARAÚJO

PRESIDENTE DA BANCA EXAMINADORA/ORIENTADOR

Joabson Guimarães da Silva
PROF. DR. JOABSON GUIMARÃES DA SILVA
EXAMINADOR EXTERNO

Luizdarcy de Matos Castro
PROF. DR. LUIZDARCY DE MATOS CASTRO
EXAMINADOR INTERNO

2022



Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Física - MNPEF
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB
Estrada do Bem Querer Km, 04, Vitória da Conquista - BA
CEP: 45031-300



DEDICATÓRIA

*Dedico esse trabalho a minha família,
em especial a minha esposa, Dag,
aos meus pais, Alaide e Gildásio,
ao meu irmão Luis Antonio,
e aos meus sobrinhos,
Bernardo, Joaquim e Vicente.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e capacidade de cada dia, sempre com saúde e disposição, por estar comigo sempre.

A toda a minha família, aos meus pais por sempre acreditar na minha capacidade, pela instrução todo conhecimento, cuidado, carinho que sempre dispensaram a mim.

Para minha esposa, Dag, pela presença constante, pela paciência, pelo carinho, cuidado, zelo e pelas palavras de motivação e apoio.

À coordenação do polo 62 do MNPEF/UESB, na pessoa da professora Dr.^a Cristina Porto Gonçalves, pelo suporte sempre tempestivo.

Aos professores e professores que dedicaram seu tempo a nos conduzir no ofício da docência.

Aos meus colegas do mestrado que, pela caminhada, troca de experiências e companheirismo.

Ao meu amigo Átila Cheles, que, com sua dedicação e competência, sempre nos auxiliava em qualquer tempo.

Ao meu amigo Rogério, pelas conversas motivadoras, e pelo convívio acadêmico.

Ao amigo Oliveltton, pela companhia durante a caminhada na graduação da Licenciatura em Física, amizade que perdura até os tempos atuais...

Aos amigos e amigas, colegas de trabalho do Instituto Federal da Bahia, *campi* Irecê e *campi* Jequié, pela acolhida, compreensão, motivação e companheirismo.

Aos amigos Bárbara, Nayara, Leandro, André por toda compreensão e apoio sempre.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e a Sociedade Brasileira de Física (SBF), pelo suporte e gestão do MNPEF.

Todo carinho e gratidão ao meu orientador, Professor Dr. Valmir Henrique de Araújo, pelo apoio incondicional, pela relação estabelecida, transpondo as barreiras da Academia e se tornando um amigo... (expresso aqui também todo meu carinho para sua esposa, Poliana, estendendo aos seus filhos lindinhos, Rilke Gualéz e Rilbert Gualéz).

EDUCAÇÃO EM VISTA DE UM PENSAMENTO LIVRE

Não basta ensinar ao homem uma especialidade. Porque se tornará assim uma máquina utilizável, mas não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto. A não ser assim, ele se assemelhará, com seus conhecimentos profissionais, mais a um cão ensinado do que a uma criatura harmoniosamente desenvolvida. Deve aprender a compreender as motivações dos homens, suas quimeras e suas angústias para determinar com exatidão seu lugar exato em relação a seus próximos e à comunidade. Estas reflexões essenciais, comunicadas à jovem geração graças aos contactos vivos com os professores, de forma alguma se encontram escritas nos manuais. E assim que se expressa e se forma de início toda a cultura. Quando aconselho com ardor “As Humanidades”, quero recomendar esta cultura viva, e não um saber fossilizado, sobretudo em história e filosofia. Os excessos do sistema de competição e de especialização prematura, sob o falacioso pretexto de eficácia, assassina o espírito, impossibilitam qualquer vida cultural e chegam a suprimir os progressos nas ciências do futuro. É preciso, enfim, tendo em vista a realização de uma educação perfeita, desenvolver o espírito crítico na inteligência do jovem. Ora, a sobrecarga do espírito pelo sistema de notas entrava e necessariamente transforma a pesquisa em superficialidade e falta de cultura. O ensino deveria ser assim: quem o receba o recolha como um dom inestimável, mas nunca como uma obrigação penosa.

Albert Einstein

Como vejo o mundo (1981)

RESUMO

Este trabalho apresenta a elaboração, aplicação e os resultados da dissertação vinculada ao programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do polo 62, sediado na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia- UESB, campus Vitória da Conquista – BA e tem por título “O Efeito Fotoelétrico: um fenômeno que demonstrou que experiência não leva ao conhecimento da ‘verdade’”. A aplicação desta pesquisa foi realizada na 18ª Semana Nacional Ciência e Tecnologia com o tema “A Transversalidade da Ciência, Tecnologia e Inovações para o Planeta”, realizada no Instituto Federal da Bahia, campus Irecê - BA. A proposta tem como marco teórico a metodologia dos “Três Momentos Pedagógicos”, (DELIZOICOV E ANGOTTI, 1992 E 1994; DELIZOICOV; ANGOTTI E PERNAMBUCO, 2011), fundamentada na concepção de educação de Paulo Freire. O tema Efeito Fotoelétrico abrangeu os estudos científicos na perspectiva de Hertz (1886), Lenard (1903) e Einstein (1905). O objetivo foi verificar se a experiência leva ao conhecimento da “verdade” de forma absoluta. O público-alvo são estudantes que cursam o segundo ano do ensino médio. A aplicação da proposta foi desenvolvida através do formato remoto (on-line), com atividades síncronas e assíncronas, conforme orientação das resoluções 01 e 02 de 2020, elaboradas pela Coordenação Nacional do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, que regulamente as atividades acadêmicas do MNPEF no âmbito nacional no período pandêmico devido à COVID-19. Durante o minicurso utilizamos o software “efeito fotoelétrico”, disponível no site PhET Colorado. Foi feita uma abordagem histórica sobre o fenômeno “Efeito Fotoelétrico”, nos limitando aos estudos experimentais e teóricos realizados por Hertz (1886), Lenard (1903) e Einstein (1905). O efeito fotoelétrico foi descoberto por Hertz de uma maneira inusitada: a luz incidente arrancava elétrons de alguns metais. Hertz estava focado na comprovação experimental das leis de Maxwell e não continuou a explorar sua descoberta. Já Lenard, discípulo de Hertz, buscou maior profundidade neste fenômeno e conseguiu formular as leis que o regem. Einstein traz uma ideia revolucionária que demonstra através do efeito fotoelétrico a natureza corpuscular da luz. Apresentamos também diversas aplicações tecnológicas que utilizam o efeito fotoelétrico como base para seu funcionamento. Aplicamos a metodologia qualitativa (ZANELLA, 2013). Ao final, os participantes também realizaram simulações mediadas com o software “Efeito Fotoelétrico Phet” e responderam a um questionário com perguntas referente ao tema. Os resultados das respostas foram analisados na expectativa de que cada participante tenha compreendido o que significa o efeito fotoelétrico e suas aplicações tecnológicas.

Palavras-chave: Ensino de Física, Efeito Fotoelétrico, Experimentação, Tecnologia, Simulador Interativo.

ABSTRACT

This work presents the elaboration, application and results of the dissertation linked to the program of the National Professional Master's Degree in Physics Teaching at pole 62, based at the State University of Southwest Bahia – UESB, campus Vitória da Conquista – BA and is entitled “The Photoelectric Effect: a phenomenon that demonstrated that experience does not lead to knowledge of the 'truth’”. The application of this research was carried out at the 18th National Science and Technology Week with the theme "The Transversality of Science, Technology and Innovations for the Planet", held at the Federal Institute of Bahia, Irecê - BA campus. The proposal has as its theoretical framework the methodology of the “Three Pedagogical Moments”, (DELIZOICOV AND ANGOTTI, 1992 AND 1994; DELIZOICOV; ANGOTTI AND PERNAMBUCO, 2011), based on Paulo Freire's concept of education. The topic Photoelectric Effect covered scientific studies from the perspective of Hertz (1886), Lenard (1903) and Einstein (1905). The objective was to verify if the experience leads to the knowledge of the “truth” in an absolute way. The target audience is students who are in their second year of high school. The application of the proposal was developed through the remote format (online), with synchronous and asynchronous activities, according to the guidance of resolutions 01 and 02 of 2020, prepared by the National Coordination of the National Professional Master's Degree in Physics Teaching, which regulates academic activities of the MNPEF at the national level in the pandemic period due to COVID-19. During the mini-course we used the “photoelectric effect” software, available on the PheT Colorado website. A historical approach was made to the phenomenon “Photoelectric Effect”, limiting ourselves to the experimental and theoretical studies carried out by Hertz (1886), Lenard (1903) and Einstein (1905). The photoelectric effect was discovered by Hertz in an unusual way: incident light stripped electrons from some metals. Hertz was focused on experimentally proving Maxwell's laws and did not continue to explore his discovery. Lenard, a disciple of Hertz, sought greater depth in this phenomenon and managed to formulate the laws that govern it. Einstein brings a revolutionary idea that demonstrates the corpuscular nature of light through the photoelectric effect. We also present several technological applications that use the photoelectric effect as a basis for their operation. We applied the qualitative methodology (ZANELLA, 2013). At the end, the participants also performed simulations mediated with the software "Photoelectric Phet Effect" and answered a questionnaire with questions related to the theme. The results of the answers were analyzed in the expectation that each participant has understood what the photoelectric effect means and its technological applications.

Keywords: Physics Teaching, Photoelectric Effect, Experimentation, Technology, Interactive Simulator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Aparelho usado para estudar o efeito fotoelétrico	39
Figura 02: Gráfico da corrente i em função da voltagem V	40
Figura 03: Gráfico das medidas de Milikan que apresenta o potencial limite no sódio em várias frequências e V_0 é de $4,39 \times 10^{14}$ Hz	41
Figura 04: Gráfico comprimento de onda (λ) e amplitude (A)	52
Figura 05: Página da internet do Phet Colorado	58
Figura 06: Simulador interativo Efeito Fotoelétrico	59
Figura 07: Simulador interativo Efeito Fotoelétrico	59
Figura 08: Simulador interativo Efeito Fotoelétrico	60
Figura 09: Google Sala de Aula turma “efeito fotoelétrico”	61
Figura 10: Google Sala de Aula turma “efeito fotoelétrico”	62
Figura 11: Google Sala de Aula temas “unidades”	62
Figura 12: Google Sala de Aula temas “avaliação” e “biblioteca”	63
Figura 13: Google Sala de Aula temas - código da turma	63
Figura 14: Recorte do Google Formulário	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: formação dos participantes	65
Gráfico 2: série ou curso dos participantes	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: levantamento de artigos na base de dados Scielo	18-20
Quadro 2: levantamento de dissertações do MNPEF	20-21
Quadro 3: levantamento de dissertações do MNPEF sobre Os Três Momentos Pedagógicos	29
Quadro 4: levantamento de dissertações do MNPEFUESB polo 62 sobre Os Três Momentos Pedagógicos	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: distribuição dos trabalhos pesquisados, classificados por fonte e ano de publicação	21
Tabela 2: distribuição dos trabalhos pesquisados, classificados por fonte e ano de publicação	30
Tabela 3: Respostas dos estudantes à pergunta 01	70
Tabela 4: Respostas dos estudantes à pergunta 02	71
Tabela 5: Respostas dos estudantes à pergunta 03	72
Tabela 6: Respostas dos estudantes à pergunta 04	73

LISTA DE SIGLAS

IFBA – Instituto Federal de Educação da Bahia

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

SNCT – Semana Nacional de Ciência e Tecnologia

UEBS - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

SUMÁRIO

Capítulo 1 Introdução	14
1.1 Contextualização	14
1.2 Justificativa	15
1.3 Questão norteadora da pesquisa	16
1.4 Hipótese	16
1.5 Objetivos	16
1.5.1 Objetivo geral	16
1.5.2 Objetivos específicos	16
1.6 Os limites da pesquisa	16
1.7 Apresentação dos capítulos	17
Capítulo 2 Estado da Arte	18
2.1 Conteúdo dos artigos pesquisados na plataforma Scielo	21
2.2 Conteúdo das dissertações pesquisadas no banco do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física	26
2.3 Dissertações do banco do MNPEF com o aporte teórico-metodológico dos <i>Três Momentos Pedagógicos</i>	29
Capítulo 3 O aporte teórico dos Três Momentos Pedagógicos	32
3.1 Os Três Momentos Pedagógicos	32
3.1.1 Problematização Inicial	33
3.1.2 Organização do Conhecimento	34
3.1.3 Aplicação do Conhecimento	35
Capítulo 4 O fenômeno Efeito Fotoelétrico	37
4.1. A Física do Século XIX	37
4.2 O Efeito Fotoelétrico – histórico	37
4.3 Algumas considerações didático-pedagógicas	42
4.4 A História das Interpretações do Efeito Fotoelétrico antes de Einstein	44
4.5 Entre duas Espadas	46
4.6 Considerações finais para este Capítulo	50
4.7 ...e as equações?	50

Capítulo 5 Metodologia	53
5.1 Caracterização da pesquisa	53
5.2 Público Alvo	53
5.3 Descrição da proposta	54
5.4 Estrutura e formalização da proposta de minicurso	55
5.5 Atividades desenvolvidas durante o minicurso	56
5.6 Descrição do produto educacional	58
5.6.1 Sobre o sítio PhET Colorado e o Simulador Interativo Efeito Fotoelétrico	58
5.6.2 Elaboração e montagem da turma “Efeito Fotoelétrico” no Google Sala de Aula	61
5.7 Procedimentos metodológicos	63
Capítulo 6 Resultados e discussões	67
6.1 Análise e comentário das respostas das/dos participantes	69
Capítulo 7 Considerações finais	75
Referências	78
Apêndice A - Produto Educacional MNPEF POLO 62	81

1. INTRODUÇÃO

*“A ciência não é, e nunca será, um livro terminado.
Todo progresso importante levanta novas questões.
Dificuldades novas e mais profundas
são reveladas posteriormente
a cada desenvolvimento.”
Einstein, 1938.*

Em 1905, Albert Einstein publicou cinco trabalhos que marcaram a comunidade científica da época. Um desses artigos faz referência ao fenômeno do efeito fotoelétrico, o qual lhe rendeu um Prêmio Nobel de Física no ano de 1921.

Antecederam a Einstein no estudo do efeito fotoelétrico muitos outros cientistas que, no início do século XX, sabiam que o fenômeno denominado efeito fotoelétrico era, basicamente, a emissão de elétrons quando a luz incidia sobre alguns metais.

Esta pesquisa busca trazer um enfoque voltado para o fenômeno do efeito fotoelétrico, refazendo os passos experimentais traçados por Hertz, Lenard e Einstein, de forma a contextualizar historicamente os estudos destes cientistas.

Buscaremos também demonstrar através deste fenômeno físico que não há uma verdade absoluta de que a experimentação no ensino de Física levará de forma eficaz ao conhecimento. A concepção de verdade na Ciência pode ser estabelecida através de algumas posições filosóficas, realista ou antirrealista, com base em quatro concepções principais do conceito de verdade a saber: por correspondência, pragmatista, relativista ou deflacionária (Lisboa e Pessoa Jr, 2015).

Nossa pesquisa terá como público um grupo de discentes do segundo ano do Ensino Médio, na modalidade integrada, matriculados no Instituto Federal da Bahia, campi Jequié. Através da utilização dos *softwares* desenvolvidos pelo sítio PHeT Colorado, simularemos uma proposta de estratégia de ensino e demonstração prática do Efeito Fotoelétrico através da própria plataforma.

1.1 Contextualização

Ao longo do tempo, temos visto o crescente desenvolvimento da Pesquisa no Ensino de Física em nosso país. Isso tem se tornado evidente nos diversos artigos publicados, atividades de pesquisas acadêmicas e um avanço significativo em produções científicas tem feito com que o Ensino de Física assuma um destaque importante nas

Universidades. Percebemos também que ainda falta uma mediação entre tais produções e o que se é pesquisado com a educação básica.

A prática docente deve ser repensada de acordo com o contexto científico e histórico da Ciência na realidade que os cercam. As temáticas que geralmente tem sido abordadas em sala de aula dentro do Ensino de Física não levam em consideração a da importância de evolução científica e do contexto histórico envolvidos na produção do conhecimento.

Nosso caminhar na docência em Física começou no curso de Licenciatura em Física da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, campi Vitória da Conquista, numa trajetória acadêmica cheia de percalços e lutas, mas com grandes desafios.

Tivemos a oportunidade de iniciarmos a experiência docente no ensino fundamental da rede municipal de Vitória da Conquista, através de contratos temporários, além de trabalhar também no Projeto Universidade para Todos, durante os anos de 2008 a 2010, lecionando física para discentes oriundos da educação pública.

Participamos de diversos eventos na área do Ensino de Física como os realizados pela Sociedade Brasileira de Física, como os Encontros Norte e Nordeste de Ensino de Física, além de eventos locais vinculados à própria UESB, tais como Semanas de Física e Colóquios Científicos diversos, participando sempre como ouvinte e/ou na apresentação de trabalhos científicos.

Foi neste percurso formativo que tivemos a oportunidade ímpar de ser orientando do Prof. Valmir, na busca por trazer uma estratégia de ensino de Física que entrelace aspectos históricos e experimentais sob a temática do Efeito Fotoelétrico e sua contextualização com a Física Moderna no Ensino Médio.

1.2 Justificativa

Esta pesquisa reflete uma necessidade inerente nos estudos relacionados em ensino de Física na educação básica – o exercício diário de apresentar conteúdos relacionados ao tópico de Física Moderna e Contemporânea aos educandos.

Há ainda a forma como os conteúdos são tratados em sala de aula – o rompimento de formas denominadas tradicionais é uma das justificativas para propormos essa pesquisa.

E ainda podemos destacar o quão é importante que os estudantes vejam nos conteúdos explanados em sala de aula uma proximidade com as tecnologias que esses utilizam em suas vidas cotidianas.

Vendo essa necessidade foi que buscamos trazer de forma específica o conteúdo Efeito Fotoelétrico e suas aplicações tecnológicas utilizando para isso o aporte teórico-metodológicos dos Três Momentos Pedagógicos, que visa romper com o currículo fechado de Física e tem como principal característica a formação crítica dos que participam dela, buscando um diálogo constante na práxis educacional.

1.3 Questão norteadora da pesquisa

É sempre determinante que a experimentação no ensino de Física levará ao conhecimento da verdade de forma absoluta?

1.4 Hipótese

O fenômeno do efeito fotoelétrico desmitifica que a experimentação no ensino de Física não leva de forma absoluta ao conhecimento da verdade.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo Geral

Provar, através do fenômeno efeito fotoelétrico, que a experimentação não leva de forma absoluta ao aprendizado.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Estabelecer que a experiência de um fenômeno físico não leva ao conhecimento da “verdade”;
- Apresentar a evolução histórica dos conceitos do fenômeno Efeito Fotoelétrico;
- Reproduzir os modelos teóricos que explicam o Efeito Fotoelétrico através das abordagens de Hertz, Lenard e Einstein.

1.6 Os limites da pesquisa

Limitamos nossa pesquisa em relação aos pesquisadores do Efeito Fotoelétrico nos seguintes cientistas: Hertz (1887), Lenard (1903) e Einstein (1905). Este fator limitador tem por justificativa a proposta escolhida: faremos menção a dois pesquisadores que fizeram experimentos relacionados ao Efeito Fotoelétrico, mas não tiveram a percepção de aprofundar nos estudos – Hertz e Lenard - e, chegamos ao cientista que propôs a explicação que sintetizou teoricamente o fenômeno – Einstein. Este, laureado com o Prêmio Nobel de Física em 1921 pelos seus estudos relacionados ao fenômeno do Efeito Fotoelétrico.

1.7 Apresentação dos capítulos

Na presente dissertação, além do capítulo 1 - Introdução, temos os seguintes capítulos: Capítulo 2 – Estado da Arte, trazendo como base o que se tem de conhecimento sobre o ensino de Física relacionada com o tema de Física Moderna e sua inserção no Ensino Médio, bem como o tema Efeito Fotoelétrico em dissertações do MNPEF e na base de dados do *Scielo*; também trazemos dissertações pesquisadas no sítio do MNPEF sobre aporte teórico-metodológicos dos Três Momentos Pedagógicos; no Capítulo 3 – Fundamentação teórica, com um tópico trazendo os fundamentos e características dos Três Momentos Pedagógicos, discutindo também a pesquisa em ensino de Física e suas possibilidades e entraves, bem como uma abordagem ao tema Efeito Fotoelétrico; o Capítulo 4 – onde foram apresentadas todas as características dessa pesquisa, estratégias de ensino e aprendizagem de física, no contexto do ensino médio; o Capítulo 5 – uma fundamentação teórica e/ou epistemológica em Física e em Teorias de Aprendizagem além de uma descrição do produto e da sua implementação em sala de aula, da receptividade, da reação dos alunos, do que aconteceu e dos resultados obtidos, além de uma breve conclusão e considerações finais, com as contribuições do estudo para o ensino de Física.

Por fim, apresentamos a coleta de dados, questionários, resultados e discussões, bem como a conclusão no capítulo 6. Posterior ao capítulo 6 temos as referências e o anexo com o Produto Educacional.

2. ESTADO DA ARTE

O Estado da Arte é uma forma de mapeamento de diversos trabalhos acadêmicos sobre determinada temática, um levantamento da produção acadêmica sobre um tema específico.

Ferreira (2020), ressalta que:

“Definidas como de caráter bibliográfico, elas parecem trazer em comum o desafio de mapear e de discutir uma certa produção acadêmica em diferentes campos do conhecimento, tentando responder que aspectos e dimensões vêm sendo destacados e privilegiados em diferentes épocas e lugares (...)” (Ferreira, 2020, p. 257).

Na pesquisa proposta foi realizado um levantamento bibliográfico do banco de dissertações disponíveis no site do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF - programa nacional de pós-graduação stricto sensu, coordenado pela Sociedade Brasileira de Física, bem como na *Plataforma Scielo*, com o objetivo de identificar pesquisas que relacionem o ensino de Física Moderna aplicadas ao Ensino Médio, mais especificamente o tema Efeito Fotoelétrico.

O levantamento bibliográfico em questão parte da análise de diversos artigos presentes no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Caderno Catarinense de Ensino de Física, Física na Escola, Revista Brasileira de Ensino de Física e outras revistas.

Foram encontrados 15 (quinze) artigos publicados na plataforma Scielo. Já no banco das dissertações defendidas no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física encontramos 11 (onze) dissertações pertinentes para essa pesquisa.

Quadro 1 - Levantamento de artigos na base de dados Scielo.

Ano	Trabalho	Autor (es)	Revista
1987	O efeito fotoelétrico no segundo grau via microcomputador	Eliane Ângela Veit, Gilberto Thomasb, Suzana Gomes Fries, Rolando Axt, Liége Fonseca	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
1991	Laboratório Caseiro de Física Moderna	S. M. Arruda, D. O. Togninho Filho	Caderno Brasileiro de Ensino de Física

1998	Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro	Eduardo de Campos Valadares e Alysson Magalhães Moreira	Caderno Catarinense de Ensino de Física
2001	Uma Oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio	Marisa Almeida Cavalcante	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
2012	Física Moderna no ensino médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico	Luciene Fernanda da Silva, Alice Assis	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
2012	Simulação Computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa: uma ferramenta para ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico	Stenio Octávio de Oliveira Cardoso, Adriana Gomes Dickman	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
2015	Sobre as Pesquisas relacionadas ao ensino do efeito fotoelétrico	Ronivan Sousa da Silva, Nádia Cristina Guimarães Errobidart	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
2016	Construção de um luxímetro de baixo custo	Luciano Soares pedroso, Josué Antunes de Macedo, Mauro Sérgio Teixeira de Araújo, Marcos Rincon Voelzke	Revista Brasileira de Ensino de Física
2016	Contribuições teóricas e abordagens históricas do efeito fotoelétrico	Marcos Antônio Barros	Revista Sustinere
2017	Experimentação no ensino de física moderna: efeito fotoelétrico com lâmpada néon e leds	Dario Eberhardt, João Bernardes da Rocha Filho, Regis Alexandre Lahm, Pedro Barros Baitelli	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
2017	Desenvolvimento de um kit experimental com Arduino para o ensino de física moderna no ensino médio	Sérgio Silveira, Mauricio Girardi	Revista Brasileira de Ensino de Física

2018	Millikan e a Questão do Potencial de contato no experimento do efeito fotoelétrico	Carlos Alberto dos Santos	Revista Brasileira de Ensino de Física
2019	Unidade de ensino potencialmente significativa: análise da aplicação sobre efeito fotoelétrico	Ronald dos Santos Merlim, Vanessa dos Santos Merlim Saraiva, Dilcineia Correia da Silva Meneguelli, Cassiana Hygino Machado, Renata Lacerda Caldas	Revista Thema
2020	Estudo envolvendo a função das imagens associadas a tópicos de física moderna nos livros didáticos do ensino médio	Cleci Teresinha Werner da Rosa, Marivane de Oliveira Biazus, Luiz Marcelo Darroz	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
2020	O ensino por investigação como abordagem para o estudo do efeito fotoelétrico com estudantes do ensino médio de um instituto federal de educação, ciência e tecnologia	João Mauro da Silva Júnior, Geide Rosa Coelho	Caderno Brasileiro de Ensino de Física

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Quadro 2 - Levantamento de dissertações no MNPEF

Ano	Trabalho	Autor (es)	Local
2015	Efeito fotoelétrico: uma abordagem a partir do estudo de Circuitos elétricos	Júlio César Cabral	Lavras - MG
2015	Física moderna para o ensino médio: um relato de experiência	Plinio Giorgia Arruda da Silva	Garanhuns - PE
2015	Sequência didática multimídia para o ensino do Efeito fotoelétrico	Ricardo Monteiro da Silva	Volta Redonda - RJ
2016	Montagem experimental de um relé fotoelétrico didático para o ensino médio	João Gomes da Silva	Barra do Garças - MT
2016	Objeto de aprendizagem para o ensino do Efeito	Alexandre da Silva Santos	Feira de Santana - BA

	fotoelétrico no ensino fundamental		
2016	Uma proposta para se ensinar efeito fotoelétrico no Ensino médio	Danilo Corci Batista	Campo Morão - PR
2017	Atividades investigativas no ensino de Física experimento de hertz no ensino médio	Flávio Silva de Almeida	Cariacica - ES
2018	Laboratório didático virtual de eletricidade e física moderna: como ferramenta potencialmente eficaz no ensino médio	Antônio Silas de Oliveira Martins	Belém - PA
2019	Dualidade onda-partícula da luz: uma abordagem para o ensino médio	Enio dos Anjos	Blumenau - SC
2019	Interação das radiações eletromagnéticas com a Matéria: conceitos de física moderna propélidos por jogos pedagógicos em um pano de fundo clássico	Renatto Barbosa de Souza	Vitória da Conquista – BA
2020	Inserção do conteúdo efeito Compton na unidade física Moderna no ensino médio: à uma visão da aprendizagem Significativa crítica	Júlio Alexandrino Pinheiro	Belém - PA

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

TABELA 1 – Distribuição dos trabalhos pesquisados, classificados por fonte e ano de publicação

FONTE	Número Total de Trabalhos	Anos (quantidade)
Scielo	15	1987(1); 1991(1); 1998 (1); 2001(1); 2012(2); 2015(1); 2016(2); 2017(1); 2018(1); 2019(1); 2020(2).
MNPEF	11	2015(3); 2016(3); 2017(1); 2018(1); 2019(2); 2020(1).

FONTE: O autor (2021)

2.1 Conteúdo dos artigos pesquisados na plataforma Scielo

Os artigos pesquisados na Plataforma Scielo – quadro 01 – foram publicados nas seguintes revistas científicas: Revista Brasileira de Ensino de Física, o Caderno Catarinense de Ensino de Física, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Revista Thema e Revista Sustinere. A classificação adotada no quadro 01 foi a cronológica de do ano de publicação em ordem crescente.

O primeiro artigo analisando, Veit e outros (1987), remete de forma incipiente o início de estudos e pesquisas tendo como objetivo o uso do computador como recurso

tecnológico nas aulas de Física associado à construção de um programa educacional – software – para implementar o ensino de conteúdos de Física Moderna no Ensino Médio.

O público-alvo da pesquisa são os professores do segundo grau – atual ensino médio. A justificativa do trabalho está na forma em que se propõe o uso do computador e do simulador computacional no ensino de Física Moderna – o programa-aula, assim denominado pelos autores-pesquisadores, que tem como tema principal o Efeito Fotoelétrico.

Arruda e Toginho Filho (1991) destacam em sua pesquisa a possibilidade de usarmos um aparato denominado “laboratório caseiro” para auxiliar no ensino da Física Moderna, justificando tal escolha no fato de um laboratório ou experimentos nesses moldes ter alto custo. A proposta desses autores é o uso de materiais de baixo custo para a construção de experimentos que trazem exemplificações de diversos fenômenos da Física Moderna, dentre eles o efeito fotoelétrico utilizando lâmpadas comerciais de mercúrio.

Os autores ressaltam ainda que tais experimentos possuem o foco na demonstração e podem ser utilizados tanto no ensino fundamental e médio e ainda para divulgação científica. A relevância deste trabalho está no fato de que, conforme os próprios autores apontam “o objetivo principal deste artigo é apenas apontar para a possibilidade de se trabalhar com materiais de baixo custo em uma área em que os equipamentos são, em geral, caros. (...)”.

Valadares e Moreira (1998) no seu artigo intitulado “Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: efeito fotoelétrico, *laser* e emissão de corpo negro”, destacam a possibilidade de introduzir temas de Física Moderna relacionados ao cotidiano dos estudantes tendo como base metodológica o uso de materiais de baixo custo.

Valadares e Moreira (1998) acreditam ser imprescindível que os estudantes do ensino médio tenham conhecimento das tecnologias atuais “(...) já que ela atua diretamente em sua vida e certamente definirá o seu futuro profissional. Daí a importância de se introduzir conceitos básicos de Física Moderna e, em especial, de se fazer uma ponte entre física da sala de aula e a física do cotidiano.”.

Numa proposta bem próxima de Arruda e Toginho Filho (1991) e Valadares e Moreira (1998), o artigo intitulado “Uma oficina de Física Moderna que vise a sua inserção no ensino médio”, Cavalcante (2001) traz como possibilidade de implementação do ensino de Física Moderna com a construção e utilização de materiais didáticos de baixo

custo. A proposta metodológica da autora foi a de uma oficina didática voltada para um público constituído de professores do ensino médio e alunos do ensino fundamental.

A autora traz em uma de suas conclusões a possibilidade de se trabalhar de forma interdisciplinar a sua oficina, demonstrando que “(...) este trabalho assume uma abordagem universal que permite uma melhor compreensão das formas contemporâneas de linguagem e de um melhor domínio dos conhecimentos de Filosofia e de Sociologia necessários ao exercício da cidadania.”.

As autoras Silva e Assis (2012) trazem em sua pesquisa “Física Moderna no ensino médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico”, a possibilidade de inserção dos conteúdos de Física Moderna no currículo de Física do Ensino Médio através de uma atividade experimental. O tema escolhido como base para esta aplicação foi o efeito fotoelétrico e a atividade experimental proposta utilizou materiais de baixo custo.

Silva e Assis (2012) ressaltam a importância da inserção de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio com o objetivo de “despertar a curiosidade e motivação dos alunos em sala de aula.”. Outro ponto de destaque que as autoras abordam em suas conclusões é a proximidade do uso do experimento que aborda o efeito fotoelétrico com as tecnológicas vivenciadas pelos alunos em seus contextos do cotidiano que, segundo as autoras, “(...) podem manter a atenção inicial despertada no aluno e a sua disponibilidade em aprender.”.

No artigo de Cardoso e Dickman (2012), há uma proposta de aplicação de uma sequência de atividades que utiliza simulações computacionais para o efeito fotoelétrico utilizando como metodologia de ensino a aprendizagem significativa de Ausubel. Tendo por base esse referencial metodológico, os autores acreditam que a utilização de simulação computacional irá agregar maior conhecimento cognitivo se aplicado em conjunto com uma teoria da aprendizagem. A aplicação dessa proposta foi para estudantes do terceiro ano do ensino médio e, conforme os autores, o conteúdo proposto – efeito fotoelétrico – foi assimilado pelos estudantes de forma a melhorar a compreensão do tema.

O trabalho de Silva e Errobidart (2015) resultou de uma pesquisa bibliográfica que trouxe um levantamento e catalogação de diversos trabalhos voltados para o ensino de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. Os autores deram um enfoque exclusivo no tema efeito fotoelétrico, concluindo que:

Os resultados indicam que maioria dos trabalhos publicados relatam propostas a serem utilizadas em sala de aula mediante utilização de simulação computacional ou experimentação ou aspectos de História e Filosofia da Ciência (HFC), porém, poucos pesquisadores efetivamente têm investigado o processo de construção dos conceitos físicos presentes no modelo corpuscular para a luz. (SILVA e ERROBIDART, 2015, p. 619)

Percebemos que trabalho mencionado anteriormente tem relevância para complementar esta pesquisa fornecendo referências suplementares para fundamentar ainda mais o ensino de Física Moderna no ensino médio.

Em mais uma proposta relacionada à possibilidade de utilização de experimentos de baixo custo para fomentar o ensino de Física Moderna, o trabalho dos autores Pedroso, Macêdo, Araújo e Voelzke (2016) propõe a construção e utilização de um aparato denominado luxímetro de baixo custo, tendo ainda como potencialidade a projeção dos autores de estabelecer um foco de alinhar este experimento à elaboração e construção de um laboratório de Ciências nas instituições escolares.

O luxímetro é um instrumento utilizado para medir a densidade da intensidade de luz presente em um determinado local. Os autores ressaltam que a utilização do luxímetro de baixo custo possibilitará aos professores uma alternativa nova no sentido de auxílio da prática pedagógica bem como na motivação dos estudantes.

Com o foco numa abordagem histórica e teóricas sobre o efeito fotoelétrico, Barros (2016) traz em sua pesquisa uma proposta que nos mostra a importância de se trabalhar o ensino da História das Ciências e do ensino de Física Moderna no contexto da sala de aula. Barros ainda faz referência na importância da utilização do livro didático contextualizado ao ensino de Física Moderna, perfazendo neste aspecto a reparação de erros conceituais e históricos trazidos em algumas dessas publicações. Esse trabalho traz como palavras-chave: Efeito fotoelétrico, História das Ciências, Livros didáticos e Física Moderna.

Eberthardt, Rocha Filho, Lahm e Baitelli (2017) trazem em seu artigo uma proposta de trabalho voltada para a aplicação em sala de aula tendo como foco a experimentação. Desta forma, os autores buscam uma metodologia que possa ser empregada pelos professores no intuito de ensinar Física Moderna no Ensino Médio, partindo dos fenômenos relacionados ao Efeito Fotoelétrico.

Os autores ainda mostram a possibilidade de se trabalhar com foco na História das Ciências utilizando como tema o próprio fenômeno do Efeito Fotoelétrico pois “(...) o

conhecimento acerca dos acontecimentos que levaram à descoberta experimental e à descrição física do Efeito Fotoelétrico pode ser útil ao professor do Ensino Médio interessado em contextualizar o tema, pois o uso da história da ciência é um instrumento auxiliar para o ensino da física.” (EBERHARDT, LAHM, BAITELLI, 2017 p. 929).

Já no artigo intitulado “Desenvolvimento de um kit experimental com Arduíno para o ensino de Física moderna no ensino médio”, de Silveira e Girardi (2018), faz uma proposta de experimentação através de um conjunto de aparatos funcionais da plataforma Arduíno, que potencializa o uso de *software* e *hardware*, onde os estudantes iram se apropriar de conhecimentos técnicos e científicos com a utilização de um experimento de baixo custo. O artigo demonstra a possibilidade de apresentar o fenômeno do Efeito Fotoelétrico com um kit experimental que possa reproduzir e simular e experiência deste fenômeno da Física.

Santos (2018) reproduz em seu trabalho uma proposta experimental e teórica realizada por Millikan sobre o efeito fotoelétrico. O trabalho de Santos fez referência à importância do fenômeno do Efeito Fotoelétrico e o marco que foi esta descoberta para Ciência na época. Além disso, temos evidenciado no trabalho os erros que podem contribuir de forma saudável para a construção das Ciências e a relevância em não deixar perpetuar os equívocos que as experiências científicas tenham deixam passar despercebido.

Merlim, Saraiva, Meneguelli, Machado e Caldas (2019) analisam em seu artigo a aplicação do Efeito Fotoelétrico com base numa proposta de sequência didática que estabelece a importância dos estudos de Física Moderna e Contemporânea além de trazer uma ligação destes temas com o cotidiano dos estudantes. A proposta foi aplicada em uma turma do segundo ano do ensino médio e teve como metodologia a da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (Moreira, 2011) – uma metodologia ativa que proporciona uma aprendizagem de conceitos mais eficiente, conforme os autores constataram na aplicação de sua pesquisa.

Rosa, Biazus e Darroz (2020) trouxeram uma pesquisa com base nos livros didáticos de Física e que eles mostram através de imagens os tópicos de Física Moderna. Os livros didáticos de Física que foram utilizados nesta pesquisa são os aprovados no Programa Nacional do Livro Didático do ano de 2018 e, como suporte teórico, a abordagem foi utilizada foi taxonomia proposta por Perales e Jiménez (2002), pois neste aporte teórico se tem uma base para a análise da relação e função de imagens no texto.

A pesquisa revelou que deve ter cautela no momento que se lança mão do uso de imagens para relacioná-las com o texto nos livros didáticos analisados, pois esta junção evidencia um papel de suma importância no processo de ensino e aprendizagem.

Silva Júnior e Coelho (2020) abordam em sua pesquisa uma proposta apoiada no ensino por investigação como suporte teórico-metodológico para o estudo do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio. Dentro dessa proposta, os autores puderam perceber como a perspectiva investigativa pode influenciar de forma positiva na aprendizagem. Este artigo mostra que a importância do ensino por investigação onde o professor faz uma mediação no processo de aprendizagem colaborativa entre os estudantes. Como os próprios autores relatam: “(...) nos parece ser possível que o desenvolvimento de procedimentos, atitudes e conceitos sejam realizadas nas aulas, (...)”. (SILVA JÚNIOR, COELHO, 2020, p. 72)

2.2 Conteúdo das dissertações pesquisadas no banco do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física

Em relação ao levantamento das dissertações relacionadas à temática Física Moderna e, de forma específica, o tema Efeito Fotoelétrico, as dissertações defendidas disponibilizadas no sítio do Programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF foram classificadas, conforme quadro 02, utilizando a ordem crescente do ano de publicação. Passaremos a seguir a análise dessas dissertações pesquisadas.

Cabral (2015), na dissertação intitulada “Efeito Fotoelétrico: uma abordagem a partir dos estudos de circuitos elétricos”, busca promover a inserção de conteúdo de Física Moderna no ensino médio utilizando a como aporte metodológico a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. A escolha pela temática do Efeito Fotoelétrico foi justificada pelo autor por ser de grande aplicação em diversas tecnologias atuais das quais os estudantes estão inseridos. Através de uma sequência didática, o autor buscou promover o entendimento do conteúdo por parte dos alunos, sugerindo a utilização desta mesma sequência para outros professores com intuito de auxiliar em suas práticas docentes.

Silva (2015), traz na sua dissertação um relato de experiência com a temática Física Moderna no ensino médio, justificando tal necessidade na consideração de que o ensino de Física nas escolas não está conseguindo acompanhar o avanço tecnológico que tem ocorrido na sociedade. Pretende o autor fazer um suporte para que os professores possam integrar tópicos de Física Moderna no contexto da prática docente no ensino

médio. Com fundamentos teóricos relacionados à Teoria da Aprendizagem de David Ausubel e na epistemologia de Thomas Kuhn, o autor apresenta temas relacionados na Teoria da Relatividade e na Mecânica Quântica com intuito de promover a inserção desses temas nas aulas de Física.

A dissertação intitulada “Sequência didática multimídia para o ensino do Efeito Fotoelétrico”, do autor Silva (2015), tem como base o uso de simulações para propor o ensino de Física nas escolas. Para tal construção dessa sequência didática, o autor trouxe uma simulação do Efeito Fotoelétrico disponível no site da PHET. Para uma base teórico-metodológica, o autor utilizou da Teoria da Aprendizagem Significativa.

Silva (2016), na sua dissertação defendida propõe a utilização de um relé fotoelétrico didático como aparato experimental para potencializar os debates em sala de temas que envolvam conteúdos de Física Moderna.

Segundo o autor, o ensino dessa área de Física tem sido negligenciado nas salas de aula de Física do Brasil. A proposta de montagem do aparato experimental por parte dos alunos traz uma forma de motivar o aprendizado de temas de Física Moderna e associá-los aos avanços tecnológicos presentes na sociedade. O aporte teórico que o autor utilizou foi contextualizado na abordagem Ciência – Tecnologia – Sociedade – Ambiente – CTSA, que proporciona a formação de um estudante crítico e participativo na sociedade.

A dissertação “Objeto de Aprendizagem para o Ensino do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio”, tem como autor Santos (2016), que propôs a integração dos temas de Física Moderna com as aplicações tecnológicas existentes no contexto social dos estudantes. O autor utilizou o tema “efeito fotoelétrico” por que, segundo ele, muitas das aplicações tecnológicas presentes no dia a dia de vários estudantes englobam conceitos desta temática.

Com base na produção de um objeto educacional para PC em linguagem JAVA e num software educacional associados à Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, o autor elaborou um produto didático e uma estratégia de aprendizagem que se mostrou válida para motivar os alunos em temas relacionados aos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea.

Batista (2016) buscou elaborar e implementar em sua dissertação uma sequência didática com base no ensino de Física Moderna e Contemporânea em uma turma do terceiro ano do ensino médio com base teórico-metodológica na teoria sociocultural de Vigotski e como temática específica o Efeito Fotoelétrico. Ressaltamos ainda que o autor

buscou aportes teóricos em Gaspar (2014) – interações sociais - bem como Zabala (1998), no que tange ao conteúdo atitudinal.

Numa proposta de utilização do ensino por investigação, Almeida (2017) defende em sua dissertação a elaboração de um produto educacional que aborde a utilização de um experimento que consiga reproduzir o experimento de Hertz no ensino médio. Busca-se o autor por este experimento que os conteúdos relacionados à Física Moderna sejam melhores apreendidos pelos estudantes e que as aulas se tornem ainda mais motivadoras e diferenciadas para tentar aproximar o estudante de temas relevantes, tais como relacionados à propagação de ondas eletromagnéticas e efeito fotoelétrico.

Martins (2018), apoiado nos aportes teóricos de Vigotsky elaborou uma dissertação que propõe a criação de um Laboratório Virtual de Eletricidade de Física Moderna composto de dez experimentos virtuais. O autor dessa dissertação nos informa que as simulações computacionais podem trazer o realismo dos fenômenos, porém “Não há como programar um fenômeno físico de maneira integral, isto é, com todas as variáveis que a realidade possui (...).” (MARTINS, 2018, p. 66)

Anjos (2019) elabora uma dissertação intitulada “Dualidade onda-partícula da luz: uma abordagem para o ensino médio” com base numa sequência didática que busca trazer conceitos da luz e também uma abordagem sobre o efeito fotoelétrico. Tem-se como base para essa sequência a proposição de dois experimentos que tiveram como fundamentos teóricos baseou-se na teoria de Méheut; Psillos, Belluco; Carvalho, e da aprendizagem sociointeracionista de Vygotsky.

Souza (2019) também elaborou uma sequência didática com base na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel com o recorte temático da Física Moderna – interações das radiações eletromagnéticas com a matéria. Nesta perspectiva, o autor buscou implementar a sequência proposta no intuito de proporcionar aos estudantes condições de aprendizado na temática relacionada à Física Moderna. Vale ressaltar que o autor buscou também um aporte teórico-metodológico com Marco Antônio Moreira por meio das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas.

Pinheiro (2020) tratou em sua dissertação intitulada “Inserção do conteúdo efeito Compton na unidade Física Moderna no ensino médio: à uma visão da Aprendizagem Significativa Crítica”, da possibilidade de inserção de um tema específico da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio tendo como ponto de partida o Efeito Compton. Foi elaborado pelo autor uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa composta por seis etapas que proporcionou uma melhor distribuição das atividades

elaboradas e aplicadas, que, conforme conclusão do autor, resultou numa facilitação do ensino, atingindo assim uma aprendizagem significativa e crítica.

2.3 Dissertações do MNPEF com o aporte teórico-metodológico dos *Três Momentos Pedagógicos*

Sobre o estado da arte referente ao aporte teórico-metodológico dos Três Momentos Pedagógicos, restringimos nossa pesquisa somente ao banco de dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física e também no banco de dissertação do MNPEF da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – MNPEF/UESB – polo 62.

No banco de dissertações do MNPEF foram catalogadas três dissertações. Estas dissertações não estão disponíveis para leitura na sua integralidade. Desta forma, apuramos a busca no banco de dissertações dos respectivos polos. No sítio do Programa MNPEF/UESB polo 62 pesquisamos conseguimos encontrar as seguintes produções, a saber:

Quadro 3 - Levantamento de dissertações no MNEPF sobre *Os Três Momentos Pedagógicos*

Ano	Trabalho	Autor (es)	Local
2016	Problematizando o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma Proposta Didática Baseada nos Três Momentos Pedagógicos Utilizando a Astronomia Como Temática Central	Robson Leone Evangelista	Vitória - ES
2017	Associação da luz com ondas eletromagnéticas em uma abordagem dos Três Momentos Pedagógicos	Robson Cesar Cardoso	Santo André - SP
2018	Proposta de sequência didática estruturada nos Três Momentos Pedagógicos para o ensino de ondas eletromagnéticas	Flávio Ribeiro Passinho	Ilhéus - BA

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Quadro 4 - Levantamento de dissertações no MNEPF/ UESB - polo 62 sobre Os Três Momentos Pedagógicos

Ano	Trabalho	Autor (es)	Local
2020	A ponte para a ciência moderna: experimentos pedagógicos com respeito a Aristóteles e Galileu	Whagnon Oliveira Ferraz	Vitória da Conquista - BA
2021	Reflexões sobre Freire e o ensino de Física: uma proposta para ensino da eletricidade	Carlos Henrique de Matos Pereira	Vitória da Conquista - BA

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

TABELA 2 – Distribuição das dissertações pesquisadas, classificadas por fonte e ano de publicação

FONTE	Número Total de Trabalhos	Anos (quantidade)
MNPEF	03	2016(1); 2017(1); 2018(1).
MNPEF/UESB polo 62	02	2020(1); 2021(1).

FONTE: elaborado pelo autor (2022)

Doravante faremos alguns comentários inerentes aos trabalhos que relacionam a metodologia denominada “Três Momentos Pedagógicos”.

Na dissertação intitulada “Problematizando o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma Proposta Didática Baseada nos Três Momentos Pedagógicos Utilizando a Astronomia Como Temática Central” (EVANGELISTA, 2016), o autor propõe uma abordagem que relaciona temas de Física Moderna e Contemporânea e Astronomia, fazendo uso dos Três Momentos Pedagógicos para condução dessa proposta. Os temas escolhidos pelo autor foram fotometria, espectroscopia e estrutura da Matéria e ele justifica o uso da metodologia escolhida tendo em vista o combate ao que Paulo Freire denominou de *educação bancária*.

O autor reitera que, através da coleta de dados realizada em sua pesquisa, pode concluir que foram alcançados os objetivos de uma aprendizagem significativa sobre a temática abordada e espera que o produto educacional oriundo de sua pesquisa possa promover uma dialogicidade entre o que o aluno vivencia e o que está se propondo em sala de aula.

A pesquisa “Associação da luz com ondas eletromagnéticas em uma abordagem dos Três Momentos Pedagógicos (CARDOSO, 2017), o autor relata que o uso da metodologia dos “Três Momentos Pedagógicos” é uma maneira que ele encontrou de “tirar o aluno de uma posição confortável e acrítica”, sobre o tema proposto –ondas eletromagnéticas, além de fortalecer que o aluno compreenda o tema exposta, sem precisar manter um aprendizado pela repetição.

O trabalho de Passinho (2018) apresenta uma sequência didática esboçada na metodologia dos “Três Momentos Pedagógicos” tendo como tópico o ensino de ondas eletromagnéticas na comunicação. Para isso, o autor utilizou o as ondas eletromagnéticas relacionadas ao uso de aparelhos celulares como elemento norteador de sua sequência, justificando a presença massiva desses aparelhos no cotidiano dos estudantes e a forma como se evidencia a tecnologia e os conteúdos de Física ali ancorados.

Essas três dissertações acima trazem em comum a busca por se trabalhar tópicos relacionados aos conteúdos de Física Moderna ou temas similares, que se relacionam de alguma forma com essa temática do ensino de Física.

Pereira (2021), em sua dissertação que tem por título “Reflexões sobre Freire e o ensino de Física: uma proposta para ensino da eletricidade”, faz uma pesquisa que relaciona os ensinamentos de Paulo Freire, bem como a metodologia dos “Três Momentos Pedagógicos”, buscando enfatizar um tema de eletricidade. Utilizando desse porte teórico e usando um tópico de Física presente no cotidiano da maioria dos estudantes, o autor teve como objetivo perceber se aconteceu alguma mudança epistemológica nos estudantes, tentando alcançar uma visão crítica e reflexiva da realidade em que estão inseridos.

3. O APORTE TEÓRICO DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Descrevemos a seguir a metodologia denominada “Os Três Momentos Pedagógicos”, que mostra que a busca do conhecimento é imprescindível, é uma atividade inseparável da prática social, e não deve se basear no acúmulo de informações, mas sim numa reelaboração mental que deve surgir em forma de ação, sobre o mundo social. E ainda que o aluno seja capaz de observar o seu redor e interpretar naquela observação o fenômeno físico ali presente. “(...) o que se propõe é que a observação e discussão de um fenômeno deve preceder a introdução de modelos teóricos para ele.” (MENEZES, 1980, p. 92).

3.1 Os Três Momentos Pedagógicos

A Física e a metodologia de como se trabalhar com esta disciplina em sala de aula possibilita diversas formas didáticas e epistemológicas de buscar uma maneira tida como adequada para lecionar determinados temas dessa Ciência. Porém, será que há um método didático-metodológico mais adequado que outro? Podemos sempre inferir que o “método A” é o correto e o “método B” não funciona? Conteúdos em sala de aula e atividades experimentais auxiliam de forma mais efetiva no aprendizado? Diversas são as questões que podem ser levantadas em relação ao propormos ensinar determinado tema de Física na prática docente.

Numa Ciência em que a compreensão do mundo em que vivemos esta intrínseca, a sua teoria e conceitos são importantes para um aprendizado efetivo. Desta forma, um modelo pedagógico e epistemológico para reger a prática docente vai ser decorrência das mais diversas formas de condução de um tema dentro da Física.

A proposição dos três momentos pedagógicos é uma prática pedagógica que decorre da transposição da concepção de Paulo Freire para a educação escolar, teoricamente fundamentada na construção de um processo didático-pedagógico dialógico e aspectos epistemológicos.

Os autores demonstram a preocupação em subsidiar um trabalho didático-pedagógico que permita tanto a apreensão dos conceitos, leis, relações da Física e sua utilização, assim como sua aproximação com fenômenos ligados a situações vividas pelos educandos (DELIZOICO e ANGOTTI, 1992, p. 29).

Os autores destacam ainda que o mundo vivido, enfatizando que pretendem dar destaque ao ensino de Física independentemente de o aluno prosseguir ou não os estudos. Assim, torna-se difícil a utilização dessa proposta pelos professores que se preocupam exclusivamente em preparar os alunos para os exames futuros, como os vestibulares (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1992, p. 30).

Dentre os pressupostos para a elaboração do programa, estão os conceitos unificadores (ANGOTTI, 1994, p. 22), que “permitem perpassar as fronteiras rígidas impostas, sobretudo pelos livros didáticos, ao apresentarem os conteúdos de Física (...)”, bem como permitir ainda novas entradas e percepções que são mais amplos.

Desta forma, utilizando uma dinâmica didático-pedagógica fundamentada na concepção de educação de Paulo Freire, chamadas de os “Três Momentos Pedagógicos”, (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1992), com enfoque no ensino de um tema específico de Física.

Os três momentos são caracterizados por: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento.

3.1.1 Problematização Inicial

Apresentam-se questões ou situações reais que os alunos conhecem e presenciam e que estão envolvidas nos temas. Nesse momento pedagógico, os alunos são desafiados a expor o que pensam sobre as situações, afim de que o professor possa ir conhecendo o que eles pensam.

A finalidade da problematização inicial é propiciar um distanciamento crítico do aluno ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão e fazer com que ele reconheça a necessidade de se obterem novos conhecimentos, com os quais possa interpretar a situação mais adequadamente.

Mais do que simples motivação para se introduzir um conteúdo específico, a problematização inicial visa à ligação desse conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam, mas que não conseguem interpretar completa ou corretamente porque, provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos suficientes. (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1992, p. 29).

Deseja-se aguçar explicações contraditórias e localizar as possíveis limitações do conhecimento que vem sendo expressado, quando este é confrontado com o conhecimento científico que já foi selecionado para ser abordado.

Delizoicov e Angotti (1992) recomendam que a postura do educador nesse momento deve se voltar mais para “questionar e lançar dúvidas sobre o assunto que para responder e fornecer explicações” (p. 29).

Explicam ainda que o critério para a escolha das questões “é o seu vínculo com o conteúdo a ser desenvolvido (...) as questões devem estar necessariamente relacionadas com o conteúdo de Física do tópico ou unidade em estudo” (p. 29).

O papel do professor durante a problematização inicial é diagnosticar apenas o que os estudantes sabem e pensam sobre uma determinada situação. É ele que organiza a discussão, não para fornecer explicações prontas, mas, sim, para buscar o questionamento das interpretações assumidas pelos estudantes.

É importante lembrar que, na forma como que foi concebida a problematização inicial nos momentos pedagógicos, também, se fazem presentes os conceitos prevalentes, não importando se são espontâneos ou não. Isso quer dizer que os estudantes podem explicitar sua concepção científica acerca das questões desafiadoras que lhes são apresentadas.

A problematização inicial na situação de estudo tem a função de significar as linguagens que vão se tornar uma discussão conceitual. Então, o professor precisa saber os conceitos científicos centrais sobre os quais necessita trabalhar e introduzir a palavra necessária. Desta forma, “(...) é desejável que a postura do professor se volte mais para questionar e lançar dúvidas sobre o assunto que para responder e fornecer explicações” (p. 29).

3.1.2 Organização do Conhecimento

Este segundo momento é aquele que, sob a orientação do professor, os conhecimentos necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial são estudados. Neste segundo momento, os conhecimentos necessários para a compreensão do tema e da problematização inicial serão sistematicamente estudados sob orientação do professor.

Delizoicov e Angotti (1992, p.30) afirmam ainda que o tema a ser trabalhado deve ser “(...) preparado e desenvolvido, durante o número de aulas necessárias, em função dos objetivos definidos e do livro didático ou outro recurso pelo qual o professor tenha optado para o seu curso. Serão ressaltados pontos importantes e sugeridas atividades, com as quais se poderá trabalhar para organizar a aprendizagem”.

Do ponto de vista metodológico, para o desenvolvimento desse momento, o professor é aconselhado a utilizar as mais diversas atividades, como: exposição, formulação de questões, texto para discussões, trabalho extraclasse, revisão e destaque dos aspectos fundamentais, experiências. Conforme Delizoicov e Angotti (1992):

O núcleo do conteúdo específico de cada tópico será preparado e desenvolvido, durante o número de aulas necessárias, em função dos objetivos definidos e do livro didático ou de outro recurso pelo qual o professor tenha optado para seu curso. (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1992, p. 30).

Nesse momento da atividade pedagógica é importante enfatizar que os conhecimentos científicos são ponto de chegada - a abordagem dos conceitos científicos é ponto de chegada, quer da estruturação do conteúdo programático quer da aprendizagem dos alunos, ficando o ponto de partida com os temas e as situações significativas que originam, de um lado, a seleção e organização do rol de conteúdos para serem articulados com a estrutura do conhecimento científico, e, de outro, o início do processo dialógico e problematizador.

Para que os alunos compreendam cientificamente as situações problematizadas, o papel do professor na organização do conhecimento consiste em desenvolver diversas atividades, como a utilização de textos de divulgação científica, produção escrita envolvendo a narrativa, utilização das tecnologias da informação e comunicação e a dinâmica discursiva.

3.1.3 Aplicação do Conhecimento

Momento que se destina a abordar sistematicamente o conhecimento incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo quanto outras que, embora não estejam diretamente ligadas ao momento inicial, possam ser compreendidas pelo mesmo conhecimento.

O papel do professor consiste em desenvolver diversas atividades para capacitar os alunos a utilizarem os conhecimentos científicos explorados na organização do conhecimento, com a perspectiva de formá-los para articular constantemente a conceituação científica com situações que fazem parte de sua vivência.

Nesse momento, a busca pela “generalização da conceituação”, isto é, a identificação e o emprego da conceituação científica envolvida, em que “é o potencial explicativo e conscientizador das teorias científicas que devem ser exploradas.”

O estudante tem a potencialidade de compreender cientificamente as situações abordadas na problematização inicial, motivo pelo qual, nesse terceiro momento, volta-se às situações iniciais, que agora passam a ser entendidas a partir do olhar da Ciência. Ao apresentar esse momento pedagógico, os autores afirmam que:

Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram 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. 30).

Com isso, pretende-se que “dinâmica e evolutivamente” o aluno perceba que o conhecimento, além de ser uma construção historicamente determinada, está acessível para qualquer cidadão e por isso deve ser apreendido, para que possa fazer uso dele. Desta forma, “pode-se evitar a excessiva dicotomização entre processo e produto, Ciência de ‘quadro-negro’ e Ciência da ‘vida’.

Dentre as características da dinâmica dos Três Momentos Pedagógicos, está a apresentação dos assuntos não como fatos a memorizar, mas como problemas a serem resolvidos, propostos a partir da experiência de vida dos educandos, para eles trabalharem.

Ao problematizar, de forma dialógica, os conceitos são integrados à vida e ao pensamento do educando. Ao invés da memorização de informações sobre Física, ocorre o enfrentamento dos problemas vivenciados.

Em síntese, o movimento da problematização, contido nos 3MP, pode possibilitar que os educandos adquiram um conhecimento crítico das próprias experiências, interpretando suas vidas, não apenas passando por elas.

Portanto, temos como proposta apresentar o fato físico do efeito fotoelétrico em situações reais e cotidianas dos estudantes e, posteriormente, trazer as teorias e modelos abstratos deste fenômeno, bem como levantar o contexto histórico dessa descoberta, sendo que as considerações históricas das descobertas devem ser levadas em conta para um efetivo aprendizado de Física.

4. O FENÔMENO EFEITO FOTOELÉTRICO

4.1 A Física do Século XIX

No final do século XIX, a Física passou a estudar com mais detalhe a estrutura da matéria e identificou as partículas que formam o átomo: o próton, o elétron e o nêutron. Contudo, para explicar o comportamento do átomo, no início do século XX foram criadas duas novas teorias: a **Mecânica Quântica** e a **Teoria da Relatividade**.

Descobertas sobre a matéria e a energia aumentaram nosso entendimento do universo, tanto sobre suas menores partículas como sobre suas maiores concentrações de matéria.

A Física do século XX passou a se chamar **Física Moderna** e a Física que era conhecida até o final do século XIX passou a ser chamada de **Física Clássica**.

A Física Moderna é utilizada em situações em que a Física Clássica não se aplica. A Física Moderna trata de assuntos, situações e fenômenos como o movimento de objetos à velocidade da luz, as partículas do átomo, as temperaturas extremas e a interação de objetos imensos (por exemplo, as galáxias). A Física Moderna fornece uma imagem mais ampla e precisa do universo.

A Física Clássica é ainda muito utilizada. É de fácil compreensão, é aplicável às experiências do dia a dia e é uma boa introdução ao estudo da Física.

Albert Einstein desempenhou um papel fundamental no estudo da Física Moderna. Ele, mais do que qualquer outra pessoa na história, avançou e modificou nosso entendimento a respeito do mundo físico. Contudo, muitos grandes cientistas contribuíram de forma significativa para o estudo da Física Moderna. Max Planck, Niels Bohr, Werner Heisenberg, Erwin Schroedinger, entre outros, também avançaram nosso conhecimento sobre o universo, a matéria e a energia.

Nosso estudo de Física Moderna explorará abordará um fenômeno específico – o Efeito Fotoelétrico.

4.2 O Efeito Fotoelétrico - histórico

O efeito fotoelétrico foi *descoberto* independentemente por Heinrich Hertz no final do século XIX. Ele não estudou de forma aprofundada e coube a um discípulo seu, Lenard, tentar explicar o que significava esse fenômeno. Porém, somente quando Albert

Einstein utilizou a teoria de Planck para explicar os resultados que obteve em seus trabalhos com o efeito fotoelétrico é que este fenômeno foi desvendado. Em 1905, Einstein propôs uma explicação para o efeito fotoelétrico. Curiosamente, Einstein recebeu um Prêmio Nobel por seu trabalho com o efeito fotoelétrico e não pelas Teorias de Relatividade.

Quando uma fonte de luz (ou, em geral, uma radiação eletromagnética) incide sobre uma superfície metálica, a superfície pode emitir elétrons. Isso é chamado de **efeito fotoelétrico**. Os elétrons emitidos são chamados de **fotoelétrons** (mesmo que estes não deixem de ser elétrons).

Uma experiência realizada demonstrou que incidir luz sobre metais causa com que a superfície de alguns deles se ilumine. A luz incidente faz os elétrons saltitarem, levando-os a emergir da superfície do metal. Tais metais ejetam elétrons (partículas com carga negativa) e produzem uma corrente elétrica.

No capítulo 02 “Fótons – propriedades Corpusculares da Radiação” no livro Física Quântica (EISBERG e RESNICK, 1979), os autores abordam os processos físicos nos quais ocorrem interação da radiação com a matéria. Dentre eles, os autores apresentam o tema Efeito Fotoelétrico. Estes autores explicam esses temas de dois pontos de partida: os que envolvem espalhamento ou absorção de radiação (efeito fotoelétrico e efeito Compton) e os que envolvem a produção da radiação (como a aniquilação de pares).

Os autores ainda enfatizam que através de evidências experimentais é que foram observadas que a radiação se comporta como uma partícula na forma como interagem com a matéria.

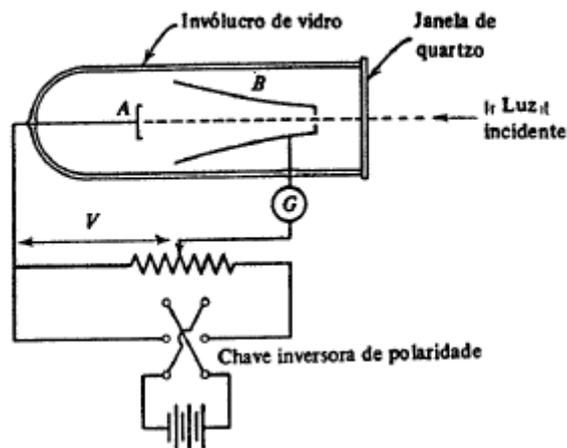
Eisberg e Resnick informam que Heirinch Hertz, entre os anos de 1886 e 1887, confirmou a existência de ondas eletromagnéticas através de experiências que realizou e comprovou a teoria de Maxwell sobre a propagação da luz. De maneira inusitada, Hertz observou em seus estudos experimentais que uma descarga elétrica entre dois eletrodos ocorria mais facilmente quando havia a incidência sobre esses eletrodos de luz ultravioleta.

Posteriormente a Hertz, Lenard mostrou que a luz ultravioleta facilita a descarga fazendo com que sejam emitidos elétrons da superfície do catodo. Lenard buscou seguir os experimentos realizados por outro cientista – Hallwachs. Podemos observar o quão surpreendente foi a “descoberta” deste evento a seguir:

“É um desses fatos paradoxais e fascinantes na história da ciência que Hertz tenha notado, no decorrer de suas experiências, o efeito que Einstein mais tarde usou para contradizer outros aspectos da teoria eletromagnética clássica.” (EISBERG e RESNICK, 1979, p. 51).

Ao fenômeno que ocorre “a emissão de eletros de uma superfície, devida à incidência de luz sobre essa superfície, é chamada *efeito fotoelétrico*” (p. 51).

Figura 01 - Aparelho usado para estudar o efeito fotoelétrico



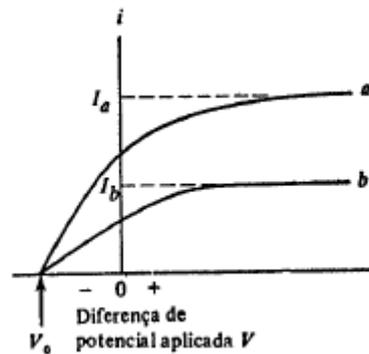
Fonte: EISBERG e RESNICK, 1979, p. 52 (adaptado).

Nesta figura 01 podemos notar a existência de um aparato experimental que, conforme os autores, fora usado para estudar o efeito fotoelétrico. Esse aparelho consiste de um involucro de vidro faz o vácuo do aparelho com o ambiente. Através de uma janela de quartzo há a incidência de luz monocromática que atinge a placa de metal (A), liberando elétrons, que são chamados de *fotoelétrons*. A detecção desses elétrons é feita sob a forma de corrente, quando estes são atraídos por um coletor metálico (B), por meio de uma diferença de potencial V entre A e B e tal corrente fotoelétrica é medida por um amperímetro (G). Ademais, os autores informam que ocorre uma variação da magnitude da voltagem V , de forma contínua, e o sinal pode ser alterado por uma chave inversora.

Através de um gráfico (vide fig. 2), os autores demonstram a corrente fotoelétrica gerada através do aparelho da fig. 1. A corrente fotoelétrica da curva em função da diferença de potencial V : se V for muito grande, a corrente fotoelétrica irá atingir um certo valor denominado *limite*, ou valor de saturação, onde todos os fotoelétrons emitidos por A serão coletados por B. Com a inversão do sinal de V , não há uma queda de forma imediata a zero da corrente fotoelétrica, sugerindo que a emissão dos elétrons de A ocorreu por conta de alguma energia cinética. Apesar do campo elétrico ser opositor ao

movimento, alguns fotoelétricos emitidos por A irão atingir o coletor B. Para que a corrente fotoelétrica atinja zero, é necessário que a diferença de potencial se torne suficientemente grande, um valor V_0 atingindo o que se denomina *potencial limite* ou de *corte*.

Figura 2 - Gráfico da corrente i em função da voltagem V



Fonte: EISBERG e RESNICK, 1979, p. 52 (adaptado).

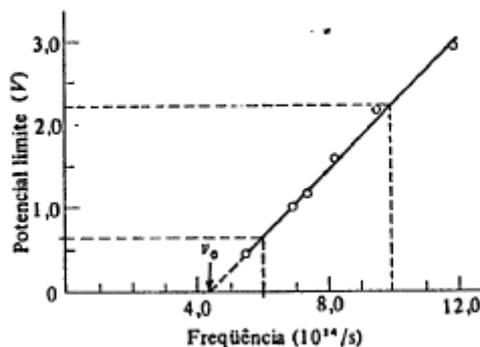
A diferença de potencial V_0 quando multiplicada pela carga do elétron, mede a grandeza física *energia cinética máxima*, K_{\max} , do fotoelétron mais rápido que fora emitido. Temos então que:

$$K_{\max} = eV_0$$

De forma experimental, a quantidade K_{\max} não depende da intensidade da luz que incide, conforme mostrado pela curva b do gráfico, pois esta intensidade de luz foi reduzida à metade do valor usado para resultar na curva a .

Para o sódio, o gráfico da fig. 02 mostra o potencial V_0 em função da frequência da luz que incide – observa-se um “limiar de frequência” ou frequência de corte ν_0 – chamado também de *limiar fotoelétrico*, pois abaixo desse limiar o efeito fotoelétrico deixa de acontecer. Milikan, em 1914, obteve essas informações e conseguiu lograr o Prêmio Nobel em 1923 pelos seus trabalhos que envolveram a pesquisa sobre o efeito fotoelétrico.

Figura 03 – Gráfico das medidas de Milikan que representa o potencial limite no sódio em várias frequências – esse limiar de frequência ν_0 é de $4,39 \times 10^{14}$ Hz.



Fonte: EISBERG e RESNICK, 1979, p. 53 (adaptado).

Os autores Eisberg e Resnick trazem ainda uma parte importante sobre a relação do efeito fotoelétrico e aspectos que não podem ser explicados com base nos conhecimentos da teoria ondulatória clássica da luz. São três situações elencadas a seguir:

- 01) *A energia cinética máxima, K_{max} , não depende da intensidade da luz:* pela teoria ondulatória clássica tem-se que a amplitude do campo elétrico oscilante E da onda luminosa cresce se a intensidade da luz for aumentada. A força aplicada ao elétron é dada por eE , o que se supunha que a energia cinética dos fotoelétrons deveria crescer, quando aumentar a intensidade do feixe luminoso – o que não ocorre. Vários testes ocorreram para essa averiguação, utilizando variações de intensidade da ordem de 10^7 .

- 02) *Para frequências menores que ν_0 o efeito fotoelétrico não ocorre, qualquer que seja sua intensidade de iluminação:* com base na teoria ondulatória, o efeito fotoelétrico deveria acontecer para qualquer frequência de luz, se fosse intensa o suficiente para que a energia necessária para a ejeção dos elétrons, o que não ocorria – para cada superfície há um limiar de frequência característico.

- 03) De acordo com a teoria clássica da ondulatória, a energia luminosa está distribuída de maneira uniforme sobre a frente de onda, o que, de forma conclusiva, se uma luz é fraca, há um intervalo de tempo mensurável, estimado entre o instante em que a luz começa a incidir sobre a superfície e o instante que começa a ejeção do elétron. “Se a energia adquirida por um fotoelétron é absorvida da onda incidente sobre a placa metálica, ‘área de alvo efetiva’ para um elétron no metal é limitada, e provavelmente não é muito maior que a de um círculo de raio aproximadamente igual ao raio atômico” (EISBERG e RESNICK, p. 53).

No intervalo de tempo que é mensurado o fotoelétron absorveria energia e a acumularia para escapar, porém não houve nenhuma situação em que fosse evidenciado ou mensurado qualquer intervalo de tempo. Nesta situação explicitada, notamos que os autores destacam ainda que, se a substância fotoelétrica fosse um gás, “(...) mecanismos de absorção coletiva podem ser ignorados e a energia do fotoelétron emitido deve certamente ter sido extraída do feixe luminoso por um único átomo.” (EISBERG e RESNICK, p. 54).

Os três pontos acima descritos mostram aspectos representativos sobre o efeito fotoelétrico que não são explicados por parte da teoria ondulatória clássica da luz, fato que seria posteriormente colocado a prova por Einstein e sua explicação sobre o fenômeno em questão.

4.3 Algumas considerações didático-pedagógicas

O objetivo do Capítulo é apresentar uma breve discussão do “Efeito fotoelétrico”, com a finalidade pedagógica de aplicação no Ensino da Física, na perspectiva de uma abordagem histórica e filosófica do fenômeno, e não simplesmente apresentar a teoria de Einstein e os exercícios de reforço para a sedimentação do conhecimento.

Como definição do **efeito fotoelétrico**, temos que, para Ben-Dov (1996, p. 130), é o fenômeno no qual elétrons são emitidos de metais ao se incidir um feixe de luz. De maneira diversa outros autores também definem, tal como Polkinghorne (2016, p. 21) “(...) é o fenômeno pelo qual um feixe de luz ejeta elétrons de dentro de um metal”.

De um modo geral, há uma unanimidade quanto à definição, a discordância histórica está quanto à interpretação de como Einstein compreendeu o efeito fotoelétrico. E é sobre isso do que vamos tratar.

Inicialmente temos que o efeito fotoelétrico é um tema da Física que deve ser abordado com o olhar filosófico. Para tanto, que seja encarado como um desafio ao fundamento de uma corrente didática de nossa educação científica, versada no postulado de que a realização de um experimento leva ao conhecimento. Tal corrente é percebida na prática dos professores e é um pensamento decorrente da causalidade direta do mecanicismo newtoniano que é transportado para o ensino. O caso do *Efeito fotoelétrico* é uma das exceções. Vejamos porquê.

Se considerarmos estritamente o uso didático de experimentos, a tese pode ser

verdadeira, haja vista que preparamos experimentos que conduzem a um resultado conhecido. Com isso os nossos professores querem dizer que ao realizar um experimento físico, passaremos a conhecer um fenômeno ou sedimentar melhor o nosso conhecimento.

Há pelo menos três considerações a serem feitas antes de adentrarmos na questão histórica do efeito fotoelétrico:

1. O experimento didático é preparado para que se obtenha o resultado desejado. Não há outra alternativa para conduzir a um outro resultado, segundo a teoria correspondente;

2. O experimento preparado didaticamente espelha uma teoria vigente. Portanto, o experimento não é autossuficiente para conduzir a um resultado livremente, caso não haja uma teoria que o explique.

3. Quando realizamos os experimentos de qualquer espécie para confirmar que ele leva ao conhecimento, esquecemos que negamos o experimento de Aristóteles sobre o lugar natural dos corpos. Nesse experimento o resultado leva a um conhecimento que aprendemos a negar porque, a verdade sobre ele, foi atualizada com as reflexões de Galileu no experimento da rampa.

Nessa perspectiva é que se sugere ao professor que abordar o tema, ter o cuidado de não colocar no manual ou roteiro que, “A partir desse experimento vamos entender o Efeito Fotoelétrico”. Se no manual estiver escrito tal orientação, quer dizer que ele se reportou único e exclusivamente à interpretação de Einstein. Mas uma breve descrição histórica do Efeito Fotoelétrico nos mostra que de 1887 a 1903 os cientistas pautaram as interpretações no paradigma do eletromagnetismo de Maxwell, enquanto que Einstein esteve entre *Dois Espadas*: o bem estabelecido eletromagnetismo de Maxwell, e a teoria quântica ainda por ser estruturada.

Com o efeito fotoelétrico, historicamente, os reiterados experimentos realizados por Hertz, Hawallchs, Thomson e por Lenard não puderam ser compreendidos do que modo como foi entendido a partir de 1905. Por quê? Porque a teoria de Maxwell, mesmo unificando o eletromagnetismo e a ótica, não respondia às expectativas do fenômeno.

Esta afirmação é clara em Serway e Jewet Jr (2014, p. 35) que descrevem “Embora o modelo de onda eletromagnética parecesse estar bem estabelecido e pudesse explicar a maioria das propriedades conhecidas da luz, alguns experimentos não puderam ser explicados pela suposição de que a luz era uma onda”.

4.4 A História das Interpretações do Efeito Fotoelétrico antes de Einstein

O que apresentaremos a seguir não será uma negação de nossa educação científica, mas um ajuste, posto que o efeito fotoelétrico vem se contrapor a que “o experimento leva ao conhecimento”, haja vista que os quatro cientistas anteriormente citados realizaram o experimento e não confirmaram conhecimento que a teoria vigente poderia responder. O resultado a que chegaram foi um “abismo” de não explicação.

Bem, analisemos o que representou o efeito fotoelétrico, segundo a história.

Hertz é o primeiro a ser citado quando se estuda o efeito fotoelétrico. Isso porque o programa de pesquisa dele era comprovar o eletromagnetismo de Maxwell quando, por fim, realizou o experimento em 1887.

Chesman, André e Macêdo (2004, p. 35) relatam que “Deve-se a Hertz, também, a verificação experimental de que as ondas eletromagnéticas possuem as mesmas propriedades de uma onda luminosa (reflexão, refração e interferência)”. Em seguida esses autores completam “Ainda sobre Hertz, uma curiosidade histórica: ele observou, também, pela primeira vez, o que mais tarde passou a ser chamado de efeito fotoelétrico.

Chesman, André e Macêdo (2004, p. 98, 98-99) esclarecem sobre o efeito fotoelétrico “quando se incide luz num material metálico, elétrons podem ser arrancados da superfície do metal”. Estes autores evidenciam que, apesar de Hertz descobrir esse efeito em 1887, ele não deu muita atenção ao fenômeno. Em continuidade, estes autores explicam que Philipp Eduard Anton von Lenard, ex-aluno de Hertz, aperfeiçoou o experimento e observou que o que era arrancado era fotoelétrico e denominou o fenômeno de *efeito fotoelétrico*.

Na sequência, Lenard fez medidas bastante precisas descobrindo duas importantes propriedades: a primeira, dizia respeito à medida da corrente elétrica gerada em função da tensão elétrica aplicada nos eletrodos, quando ele notou que existia um **potencial de corte**, a partir do qual não era mais possível observar o efeito; a segunda, tratava da dependência do efeito em relação à frequência da luz incidente. Ele observou que o efeito podia ou não ocorrer, e isso estava associado a existência de um valor espectral da frequência, abaixo do qual não ocorria o efeito, chamada de *frequência de corte*. Merece destacar que Lenard não conseguiu quantificar o valor desta frequência (CHESMAN, ANDRÉ E MACÊDO, 2004, p. 98-99 grifo dos autores).

Hewitt (2011) comenta uma particularidade que é o cerne de nossa argumentação acerca de um experimento não levar, necessariamente, a um conhecimento.

O efeito fotoelétrico **não foi particularmente surpreendente para os primeiros que o investigaram**. A ejeção de elétrons podia ser explicada pela física clássica, que considera a luz incidente como ondas luminosas fazendo um elétron oscilar com amplitudes cada vez maiores, até que finalmente ele se liberta da superfície do metal, da mesma forma como as moléculas de água se libertam da superfície da água quente (HEWITT, 2011, p. 556 grifo nosso).

Já Mourão (2005, p. 240) registra o histórico do efeito fotoelétrico com mais detalhamento. Relata que em 1887, Hertz após um estudo minucioso sugeriu que a luz envolvida no experimento deveria ser o elemento gerador das faíscas. E acrescenta que no ano seguinte Hallwachs, descobriu que várias substâncias tinham a propriedade de emitir elétrons sob a ação de luz visível e não apenas ultravioleta. E em 1889 J. J. Thomson sugeriu que o efeito fotoelétrico consista na emissão de elétrons. E aí Lenard entra em cena.

Para explicar o fenômeno, o físico alemão Philip Lenard (1862 – 1947) mostrou, em 1902, que um elétron deve possuir um mínimo de energia para provocar a ionização de um gás, ao mesmo tempo em que assinalava que só as radiações de curto comprimento de onda poderiam determinar o efeito fotoelétrico. Registrou, também, que **a energia do efeito fotoelétrico era independente da intensidade da luz** que determinava o número de elétrons liberados pela unidade de tempo. Esse comportamento era inexplicável pela física clássica. (...) Em 1903, Lenard estudou o efeito fotoelétrico, utilizando como fonte luminosa um arco voltaico. **Ao variar a intensidade da luz, descobriu que a energia dos elétrons emitida não dependia da intensidade da luz.** (...) Nesse mesmo ano, Lenard recebeu o prêmio Nobel de Física pelas suas pesquisas relativas aos raios catódicos (MOURÃO, 2005, p. 240 grifo nosso).

O resultado a que chegou Lenard, de que ao variar a intensidade da luz, variava o número de elétrons liberados pela unidade de tempo, é perfeitamente explicado pela física clássica, o eletromagnetismo de Maxwell. No entanto, o resultado no qual a variação da intensidade da luz não alterava a energia dos elétrons emitidos ficou em suspenso, posto que a física clássica não cobria tal explicação.

E Hewitt expõe algumas observações de limitação da física clássica para explicar o efeito fotoelétrico:

1. O tempo de atraso entre o momento em que a luz é ligada e a ejeção dos primeiros elétrons não era afetado pela intensidade ou pela frequência da luz.
2. O efeito era observado usando-se luz violeta ou ultravioleta, mas não quando se usa luz vermelha.
3. A taxa com a qual os elétrons eram ejetados não era afetada pela intensidade da luz. Entretanto, **havia indicações de que a energia dos elétrons realmente dependia da frequência da luz** (HEWITT, 2011, p. 556-557 grifo nosso).

Até aqui é compreensível o exposto. Mas leiamos o que afirma Hewitt, sobre a justificativa do porquê Einstein ter resolvido o problema “Einstein deu a resposta para isso em 1905 (...). A chave do mistério foi a teoria de Planck da radiação” (HEWITT, 2011, p. 557).

A afirmação de Hewitt nos leva a crer que a explicação de Einstein sobre o efeito fotoelétrico se deveu à teoria de Planck da radiação. Tal afirmação é um modo comum de explicar que uma sequência histórica segue uma lógica de causalidade direta, herança do mecanicismo newtoniano, no qual algo é explicado em face de uma causa imediatamente anterior. Assim, se havia uma teoria para subsidiar o efeito fotoelétrico, segundo o argumento de Hewitt - teoria de quantização de Planck -, qualquer pesquisador poderia explicar o efeito fotoelétrico. O que não aconteceu com Lenard, pois os experimentos de Lenard aconteceram em 1902 e 1903, dois e três anos após a Planck publicar sobre a *quantização da matéria*. E Einstein entra em cena como acontecimento surpreendente.

4.5 Entre duas Espadas

Para Ben-Dov (1996, p. 130), Einstein afirma que o *efeito* “só pode ser interpretado caso se admita que o metal absorve a luz por lotes discretos, que nada mais são do que pacotes de energia de Planck”. Será, de fato, pacotes de energia de Planck? Hewitt que parecia defender essa posição, coloca em dúvida sobre a resposta de que a “chave” estava com Planck: “Planck considerou que a energia da *matéria* está quantizada, mas que a energia radiante é contínua. Einstein, por outro lado, atribuiu propriedades quânticas à própria luz, e via radiação como uma saraivada de partículas” (HEWITT, 2011, p. 557).

Por este confronto de ideias, é difícil considerar a causalidade direta da quantização de Planck ter sido a chave para Einstein explicar o efeito fotoelétrico.

Eis um ponto problemático quanto aos pacotes de energia de Planck:

(...) para determinar a distribuição da energia entre as diversas vibrações do campo eletromagnético, ele dividiu essa energia em pequenas unidades isoladas. Tal decomposição de uma grandeza contínua em elementos descontínuos só é fisicamente legítima se for possível, ao fim dos cálculos, fazer tender o tamanho dos elementos para zero de modo a se obter o resultado do caso contínuo. Curiosamente, porém, esses pacotes de energia se recusavam a tal comportamento e Planck foi obrigado a supor que cada pacote de energia eletromagnética possui um valor finito, igual à frequência da vibração multiplicada por uma nova constante até então desconhecida (BEN-DOV, 1996, p. 130).

Com Locqueneux (1989) e Cox e Forshaw (2016) podemos ter uma ideia mais originária das pesquisas de Planck e Einstein.

Cox e Forshaw (2016, p. 16) nos colocar a par de como Planck foi levado à investigação das radiações. “Tudo se passa como se tivesse começado em 1900, quando Max Planck foi contratado para resolver uma questão acerca das radiações emitidas por corpos submetidos a altas temperaturas das siderúrgicas”.

Os estudiosos de tal problema até então não haviam conseguido compatibilizar as curvas teóricas com a curva experimental. Após muitos estudos Planck investiu numa elaboração matemática, um artifício matemático. O que nas palavras de Berenguer:

Planck chegou à solução por um caminho bastante *oblíquo* (...) conseguiu explicar a anomalia aceitando que os átomos só vibravam em frequências determinadas e discretas, sem absorverem ou emitirem radiação eletromagnética com frequências diferentes destas. Com um *estratagema* tão peculiar, admitindo que a energia se distribuía mediante uma regra estatística entre as frequências permitidas, era possível travar o crescimento infinito da densidade de radiação no corpo negro até o adequar aos dados experimentais (BERENGUER, 2018, p. 22 grifo nosso).

E para esse artifício Planck teve de desconsiderar a grandiosa teoria eletromagnética de Maxwell. Ao invés de pensar que as radiações emitidas pelos corpos em altas temperaturas eram ondas contínuas, postulou que as radiações se comportavam como pequenos osciladores de Hertz.

A solução dada por Planck tanto foi considerada por ele como um artifício matemático, uma hipótese repugnante, segundo Chibeni (Sem Data), que ele não concordou com o uso que Einstein fez de sua hipótese, em 1905 sobre o efeito fotoelétrico.

Berenguer continua em sua explanação:

Planck envidou grandes esforços na redefinição, em termos clássicos, desta surpreendente quantização, pois é esse qualificativo que recebe e a introdução de porções discretas [*“quanta”*], numa grandeza física que se considerava contínua. Não só fracassou no seu intento, como também teve depois de aceitar a demonstração de Einstein de que qualquer forma de energia radiante, além de ser absorvida e emitida, também se propaga sob a forma de *quanta* (BERENGUER, 2016, p. 24 grifo do autor).

A observação é importante, tanto pelo caráter filosófico quanto didático. Isso porque, em sala de aula os temas sempre são expostos de maneira catequética e, portanto, não podem ser questionados.

Como poderíamos entender que é possível um cientista inventar um artifício matemático que ele próprio não se convence de sua veracidade, ou pelo menos de sua interpretação física - a menos como estudo da história -, mas o utiliza porque dá certo?

Segundo Fleming (2001, p. 10), Planck se referiu aos quanta de energia como “Tratou-se de uma hipótese puramente formal, e não refleti muito sobre ela, mas apenas sobre o fato de que, sob quaisquer circunstâncias, custasse o que custasse, um resultado positivo tinha de ser obtido”.

Este é o caso do drama de Planck.

Ben-Dov (1996, p. 130) observa que Einstein, em 1906, ao examinar os seus cálculos percebeu um paradoxo quanto as equações de Maxwell de campo contínuo e os pacotes de energia de Planck.

Por fim, Locqueneux (1989) expõe que a abordagem de Einstein está inscrita na corrente neopositivista, na qual a teoria do conhecimento de Mach, influencia fortemente os primeiros trabalhos de Einstein e se reflete no título do artigo publicado em 1905 sobre o efeito fotoelétrico *Sobre um ponto de vista heurístico concernente à geração e transformação da luz*. E ainda mais. Locqueneux (1989) explica que tanto Planck quanto Einstein partiram da fórmula de Wien para chegar à quantização.

Depois que Planck estabelece a expressão de Wien, introduz:

a quantificação da energia emitida pelos osciladores: a probabilidade é medida pelo número de maneiras de repartir os osciladores de frequência ν por valores de energia que são múltiplos inteiros de um quantum de energia igual a $h\nu$, onde h é uma constante universal, o quantum de acção (LOCQUENEUX, 1989, p. 119).

E o que parece perfeitamente explicado, Locqueneux (1989, p. 119) esclarece que “Esta probabilidade termodinâmica, que na obra de Planck é colocada *a priori*, não pode ser justificada; ela difere totalmente da enumeração estatística utilizada por Boltzmann”.

Agora Locqueneux (1989) expõe a trajetória da pesquisa de Einstein. Apresenta uma “chave do mistério” que não adveio, necessariamente, da proposta de Max Planck.

Em 1905, Einstein (1879 – 1955) retoma o problema e parte da fórmula de Wien porque ela é experimentalmente verificada num domínio extenso do espectro das frequências e estabelecida sem recorrer à quantificação da energia emitida. Ele determina uma relação entre a entropia e o volume ocupado por uma radiação de frequência ν , donde deduz, utilizando a relação de Boltzmann, a probabilidade relativa de uma tal radiação ter uma dada entropia. **Da semelhança das expressões algébricas desta probabilidade e da de uma assembleia de partículas, Einstein infere a natureza granular da luz.** *Consciente do caráter heurístico de tal conclusão*, ele vai mostrar que certos fenômenos, como a fluorescência, o efeito fotoelétrico, só podem ser interpretados atribuindo à luz um caráter corpuscular, ao que outros: interferência, difração, necessitam que lhe atribua um caráter ondulatório (LOCQUENEUS, 1989, p. 119-120 grifo nosso).

Kleppner (2004) ainda um outro aspecto das diferenças entre as concepções de Einstein e Planck:

O artigo de Einstein de 1905 sobre a quantização equipou a hipótese do quantum de Max Planck com realidade física. Os osciladores para os quais Planck havia proposto a quantização de energia eram fictícios e sua teoria da radiação do corpo negro carecia de consequências físicas óbvias. Mas o campo de radiação para o qual Einstein propôs a quantização de energia era real e sua teoria tinha consequências físicas imediatas (KLEPPNER, 2004, p. 87).

Nessenzweig (1998) cita em seus estudos que Einstein trouxe uma comparação interessante e bem humorada explicando a sua hipótese em relação à hipótese de Planck, dizendo que “O fato de que a cerveja seja sempre vendida em garrafas não implica que a cerveja consista de porções indivisíveis de uma garrafa cada uma” (Nessenzweig, 1998, p. 252).

Para concluir o brevíssimo histórico sobre o efeito fotoelétrico, Stachel (2001, p. 195-196) afirma que “Einstein sugere que a incapacidade da teoria de Maxwell de fornecer uma explicação adequada da radiação poderia ser remediada por uma teoria na qual a energia radiante estivesse distribuída descontínua no espaço”. E por isso Einstein formulou a hipótese do quantum de luz.

Por fim, a *metáfora das espadas* tem como proposta de dar força às imagens de que uma espada, tanto defende quanto fura. No caso do efeito fotoelétrico, a espada à esquerda seria o Eletromagnetismo, que defende tudo o que se refere à luz enquanto fenômeno ondulatório. Mas nas interpretações de Hertz até Lenard-Thompson, tal espada não alcança o alvo. Já a espada postada à direita, representa a postulação de Planck, uma mecânica quântica ainda por ser estruturada e Einstein anunciou a teoria do efeito fotoelétrico em que a luz era formada por pacotes de energia, a espada à direita.

4.6 Considerações finais para este Capítulo

Pelo detalhamento dos cientistas até agora descritos, percebe-se que cada um deles utilizou o método científico, já que a partir de Hertz, repetiram o fenômeno e obtiveram resultado semelhante. Mas e aí? Repetir experimentos e encontrar resultados semelhantes é ciência? É! No entanto, a ênfase é que o experimento não leva, necessariamente, ao conhecimento que se deseja alcançar. A realização de um experimento pode levar à experiência de que a teoria que guia o método para se chegar a um resultado satisfatório é insuficiente para o caso do efeito fotoelétrico.

O que estamos querendo enfatizar é que, em sala de aula, temos utilizado os experimentos detalhadamente programados para dizer que ele todo e qualquer experimento leva ao conhecimento. O que de fato estamos fazendo é, para Demo (2000, p. 20), que estamos utilizando um procedimento para aprendizagem de um conhecimento já estabelecido. No entanto, a abordagem do efeito fotoelétrico é um caso em que a pesquisa deve ser entendida, no caso de Einstein, como procedimento de fabricação do conhecimento.

A abordagem desse fenômeno pode ser utilizada no Ensino Médio como uma forma de implementação da Física Moderna, com o primor da história e da filosofia da ciência e não apenas a operacionalização de equações.

4.7 ...e as equações?

Einstein propôs que toda vez que um fóton de luz com suficiente energia atinge o metal, (lembre-se de que a energia é proporcional à sua frequência), este ejetará um elétron. Se mais fótons com suficiente frequência atingem o metal (luz mais intensa), mais elétrons são ejetados. Se os fótons não têm suficiente energia (sua frequência é muito baixa), nenhum elétron será ejetado.

Luz de alta frequência possibilita que o efeito seja mais facilmente observado.

A rapidez com que os elétrons são ejetados (arrancados) do metal depende da intensidade da luz. Nenhum elétron é ejetado até que a luz alcance uma certa frequência; a partir de então, a energia dos elétrons aumenta com a frequência da luz.

A frequência da luz é:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1.1)$$

em que:

- f = frequência;
- c = velocidade da luz;
- λ = comprimento da onda.

Portanto, a equação para a energia de um fóton pode ser escrita da seguinte forma:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.2)$$

em que:

- E = é a quantidade de energia do fóton na frequência
- f e h = a constante de Planck

A equação indica que a energia do fóton é inversamente proporcional ao comprimento da onda. Ondas mais compridas (ex. ondas de rádio) carregam menos energia que ondas curtas (ex. raio gama).

Cada metal possui sua energia de atração do elétron. Isso significa que o metal atrai o elétron para si. Na superfície do metal, essa atração não é tão forte. Há uma quantidade de energia necessária que deve ser adicionada à superfície do metal para que um elétron seja ejetado. A energia mínima necessária para ejetar um elétron é chamada da **função trabalho** do metal.

Metais alcalinos como o sódio e o potássio, que não possuem uma forte energia de atração do elétron, têm funções trabalho menores.

Em muitos casos, a energia fornecida pela luz é o suficiente para ejetar o elétron e também para fornecer a ele uma certa quantidade de energia. Caso o fóton incidente possua mais energia do que o necessário para ejetar o elétron, a energia em excesso se tornará a **energia cinética do elétron**.

Einstein explicou que a energia cinética do elétron ejetado do metal é igual à energia total do fóton menos a energia necessária para ejetar o elétron do metal.

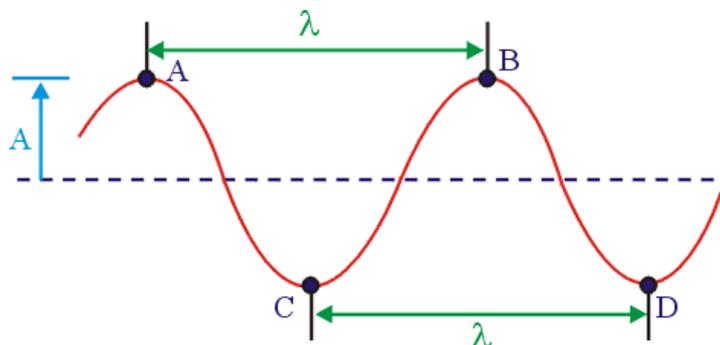
$$E = hf - W \quad (1.3)$$

em que:

- E = a energia cinética do elétron ejetado do metal
- hf = (como já vimos) é igual à energia total do fóton
- W = energia necessária para um elétron ser ejetado do material (função trabalho).

Obs.: Lembre-se o comprimento de onda (λ) é a distância mínima entre dois pontos que estão em concordância de fase.

Figura 04 – Gráfico comprimento de onda (λ) e amplitude (A)



Fonte: o autor (2022)

Frequência (f) é o número de oscilações completas por unidade de tempo. Constante para uma onda, independentemente do meio em que se propague.

A equação de Einstein (1.2) demonstra que a energia de cada fóton depende da frequência da luz. No caso do Efeito Fotoelétrico, Einstein supôs que cada elétron absorvesse um fóton; desta forma, a energia dos elétrons emitidos dependeria da frequência de luz. Einstein então concluiu que a luz mais intensa contém mais fótons, e a intensidade afeta o número de elétrons emitidos, mas não há alteração da energia.

Observamos ainda que a equação (1.3) é utilizada para a energia cinética do elétron emitido. A energia cinética de um elétron emitido depende apenas da frequência dos fótons que entram e não da quantidade deles, além da função trabalho do metal.

5. METODOLOGIA

5.1 Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa se caracteriza por utilizar o método indutivo onde “(...) o pensamento percorre um caminho partindo de fatos particulares para fatos universais. Assim, a generalização é constatada após a observação dos dados.” (ZANELLA 2013, p. 21). Quanto ao ponto de vista do objetivo desta pesquisa, destacamos sua classificação dentro dos moldes da pesquisa descritiva, que é “(...) centrada na preocupação de identificar fatores determinantes ou de contribuição no desencadeamento dos fenômenos.” (ZANELLA, 2013, p. 34). Quanto ao procedimento que adotaremos para a coleta de dados esta pesquisa se classifica como sendo de delineamento experimental. E quanto à abordagem, podemos inferir que esta pesquisa é classificada como qualitativa.

5.2 Público alvo

O estudo foi aplicado para uma amostra composta por estudantes matriculados no Instituto Federal da Bahia, campus Irecê.

O minicurso aconteceu no dia 20 de outubro 2021 e integrou programação de atividades da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia no ano de 2021, realizada pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFBA, campus localizado no município de Irecê-BA e ocorreu no período de 18 a 22 de outubro, com o tema “A Transversalidade da Ciência, Tecnologia e Inovação para o Planeta”. Ressaltamos que a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia – SNCT foi instituída pelo Decreto Presidencial de 9 de junho de 2004 e é realizada anualmente durante o mês de outubro, sob coordenação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações – MCTI.

O evento foi realizado de forma online utilizando das ferramentas tecnológicas disponibilizadas nas plataformas do Google Suite, tais como Google Sala de Aula e YouTube. O minicurso foi apresentado utilizando o Google Meet e teve 20 inscritos, sendo que doze compareceram ao minicurso e, deste, 11 preencheram o formulário denominado “questionário” de avaliação.

5.3 Descrição da proposta

A aplicação da proposta fora desenvolvida através do formato remoto (on-line), conforme orientado pelas resoluções 01 e 02 de 2020, elaboradas pela Coordenação Nacional do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, que regulamente as atividades acadêmicas do MNPEF no âmbito nacional no período pandêmico devido à COVID-19.

A forma de execução desta proposta será de minicurso, fundamentado pelo que estabelece o § 4º do artigo 4º da Resolução nº 01, de 03 de junho de 2020, a saber: “A aplicação do produto educacional, poderá ser flexibilizada, ocorrendo, por exemplo, de forma remota, em situações de ensino destinadas a formação docente inicial ou continuada (cursos de licenciatura, grupos de egressos do mestrado, minicursos, oficinas, etc)”.

Não estabelecemos critérios específicos para a inscrição e participação no minicurso. Mas sugerimos que a escolha por aplicar este minicurso em turmas matriculadas no segundo ano do Ensino Médio em diante justifica-se pela possibilidade desses estudantes possuírem os pré-requisitos necessários para a compreensão dos temas a serem trabalhados no desenvolvimento da proposta, tais como conceito e caracterização da luz (radiação eletromagnética), dualidade onda-partícula, frequência e comprimento de onda, dentre outros.

O minicurso durou vinte horas, com sessões de atividades síncronas e assíncronas. As atividades síncronas foram registradas em vídeo e as atividades assíncronas foram registradas através de questionários.

Utilizamos a abordagem didática dos três momentos pedagógicos (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1992; DELIZOICOV e ANGOTTI, 2000; DELIZOICOV, ANGOTTI e PERAMBUCO, 2011) como fundamento teórico-metodológico.

A utilização da dinâmica conhecida como Três Momentos Pedagógicos utilizada em situações de ensino, principalmente no Ensino das Ciências da Natureza busca oportunizar práticas dialógicas e problematizadoras.

Essa dinâmica apresenta suas possibilidades de uso e se estrutura a partir das ideias presentes na obra de Paulo Freire. As ideias de educação freiriana deram origem aos Três Momentos Pedagógicos que são estruturados com base em três pressuposto: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento

(DELIZOICOV e ANGOTTI, 1992; DELIZOICOV e ANGOTTI, 2000; DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2011).

Podemos inferir que a proposta dos Três Momentos Pedagógicos é ressignificar o ensino de Física em contraponto ao que propõe o currículo do ensino de Física no Ensino Médio.

5.4 Estrutura e formalização da proposta de minicurso

Buscando realizar os objetivos estabelecidos para a presente pesquisa, foi realizada em situação de aula uma programação de ensino organizada em torno do tema: “Efeito Fotoelétrico: da sua ‘descoberta’ inusitada até suas aplicações tecnológicas”.

Essa programação de ensino foi desenvolvida em torno de um minicurso, de acordo com uma formatação específica, porém sendo este instrumento flexível e podendo ser ajustado conforme o desenvolvimento e circunstâncias a depende do contexto e da realidade escolar. Esse roteiro foi elaborado com base no referencial teórico-metodológico dos Três Momentos Pedagógicos (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1992; DELIZOICOV e ANGOTTI, 2000; DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2011).

Os participantes foram alocados na sala de aula virtual do Google Sala de Aula. Para fins de identificação neste trabalho, terão a seguinte nomenclatura: E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10 e E11. Eles eram alunos, na sua maioria, do primeiro e segundo ano do ensino médio integrado de uma escola do sistema federal de ensino do município de Irecê-BA. Pouco deles tinha ainda estudado efeito fotoelétrico ou temas relacionados à Física Moderna, já que é um tópico que pode ser estudado no terceiro ano. Cinco participantes eram alunos do segundo ano e quatro do terceiro ano e um ensino superior.

O minicurso foi configurado com a primeira etapa realizada de forma síncrona na plataforma Google Meet com a apresentação do tema *efeito fotoelétrico* sendo realizada através do minicurso, tendo como objetivo mostrar aos estudantes participantes o contexto histórico dos experimentos realizados pelos cientistas Hertz (1887), Lenard (1903) e Einstein (1905).

Posteriormente no decorrer do minicurso foi apresentado as aplicações tecnológicas que utilizam o efeito fotoelétrico como base para seu funcionamento. A seguir, fizemos uma abordagem específica do tópico efeito fotoelétrico e seu conceito,

aplicando assim o conhecimento do assunto apresentados nas etapas anteriores. Por fim, fizemos a simulação através do software efeito fotoelétrico, da plataforma PheT Colorado, demonstrando como ocorre o efeito fotoelétrico na prática.

O conhecimento dos estudantes sobre o efeito fotoelétrico foi verificado através de um questionário envolvendo a compreensão do tema, e relacionado grandezas físicas como frequência, comprimento de onda e energia, com a manipulação do simulador de forma instrucional por parte dos estudantes nos momentos assíncronos.

No Google Sala de Aula os participantes puderam responder as perguntas propostas no questionário, onde também disponibilizamos videoaulas e textos sobre o tema efeito fotoelétrico.

5.5 Atividades desenvolvidas durante o minicurso

O minicurso “Efeito Fotoelétrico: da sua ‘descoberta’ inusitada até suas aplicações tecnológicas” foi estruturado contendo atividades síncronas e assíncronas, abrigado em uma sala virtual do Google Sala de Aula, e sua metodologia esteve amparada pelo referencial teórico-metodológico dos Três Momentos Pedagógicos.

No momento inicial do minicurso, síncrono, foi apresentado aos participantes uma proposta de aula temática tendo como tema gerador o Efeito Fotoelétrico, iniciando esta parte com uma situação problematizadora ou Problematização Inicial, o primeiro momento da prática pedagógica denominada “Três Momentos Pedagógicos”.

A problematização inicial é uma apresentação de questões e/ou situações para discussão com os alunos. Este momento visa relacionar o conteúdo com situações reais que os alunos conhecem, mas, provavelmente, não dispõe de conhecimentos científicos suficientes para interpretar corretamente e de forma completa o fenômeno físico apresentado. O critério para escolha das questões deverá estar necessariamente relacionado com o conteúdo de Física.

Isto decorre do fato de que, na problematização inicial, as perguntas a serem elaboradas devem estar limitadas no que os estudantes possuem de conhecimento e compreensão das situações e fenômenos que os cercam.

A finalidade deste primeiro momento pedagógico é a apresentação de questões e/ou situações para discussão com os estudantes. O objetivo deste momento é fomentar a dialogicidade em sala de aula (Freire, 1978, p. 50). Através da questão problematizadora

é que levantamos questões e pontos importantes para as discussões que serviram como ponto de partida para a execução do minicurso.

Nossa questão problematizadora foi a seguinte: *“O que são fotocélulas e onde são utilizadas? Como são acionadas as lâmpadas nas redes de iluminação pública? Os painéis fotovoltaicos são aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico? Como é o funcionamento das placas que são utilizadas na energia solar?”*

A problematização inicial é um momento necessário para a abordagem dos Três Momentos Pedagógicos, sendo o momento da dialogicidade em que obteremos os pressupostos essenciais para a aplicação dos momentos seguintes.

No outro momento, passamos a estudar e debater a tema Efeito Fotoelétrico através do uso da História das Ciências e sua Evolução. Como foram realizados os estudos de Hertz, Lenard e Einstein sobre esse fenômeno, sua teorização e suas aplicações tecnológicas conhecidas. Este é o segundo momento pedagógico, conhecido como “Organização do Conhecimento”, que tem por finalidade estudar o conhecimento físico inerente àquele tema e necessário para a compreensão do tema central e da problematização inicial.

Este momento é conduzido pelo professor de forma a apresentar as questões científicas presentes no tema, suas aplicações tecnológicas e, além disso, aprofundar as definições, conceitos, relações, leis que foram apresentadas anteriormente. O segundo momento pedagógico está associado aos aspectos metodológicos no desenvolvimento dos conteúdos.

Utilizamos também de uma parte experimental através do simulador “efeito fotoelétrico” disponível no sítio Phet Colorado com intuito de estabelecer uma relação complementar teoria/experiência, com base nas simulações roteirizadas e fundamentada na história das Ciências.

Na sequência proposta, chegamos ao terceiro momento pedagógico estabelecido para conclusão do programa executado no minicurso – a “aplicação do conhecimento”. Nesta parte da aula, fizemos uma abordagem sistemática do conhecimento apresentado e incorporado pelos participantes. Também temos nesta terceira etapa o processo de avaliar e interpretar as situações iniciais que determinaram o estudo do tema gerador – o efeito fotoelétrico – e de outras situações que não estavam ligadas ao contexto inicial, mas foram surgindo durante a ministração do minicurso.

5.6 Descrição do produto educacional

5.6.1 Sobre o sítio Phet Colorado e o simulador interativo “efeito fotoelétrico”

O sítio Phet Colorado é uma plataforma de experimentos e simulações interativas virtuais onde contém uma vasta coleção de softwares das áreas de Física, Química, Biologia e Matemática, disponibilizados de forma gratuita. O cadastro é acessível e o usuário poderá contribuir com doações para manutenção do sítio.

Figura 05 – página da internet do PhET

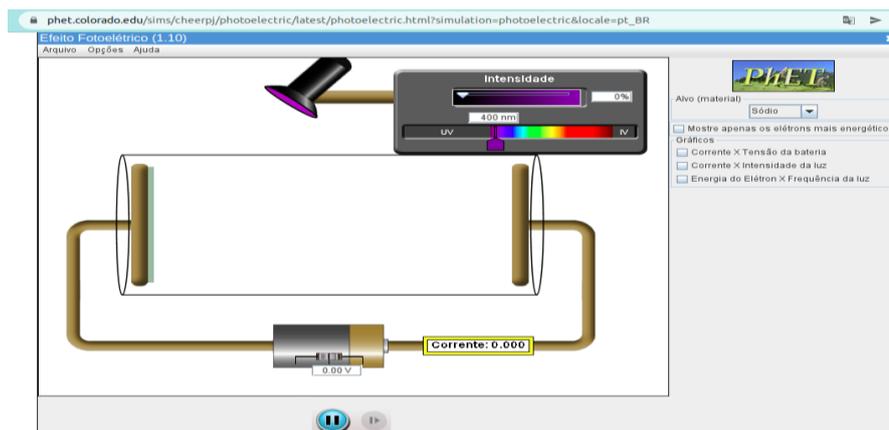


Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/

Fundado em 2002 pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, o projeto PhET Simulações Interativas da Universidade do Colorado em Boulder cria simulações interativas gratuitas de matemática e ciências. As Simulações PhET baseiam-se em extensa pesquisa em educação e envolvem os alunos através de um ambiente intuitivo, estilo jogo, onde eles aprendem através da exploração e da descoberta.

Neste sítio, encontramos o simulador virtual “efeito fotoelétrico” que demonstra de maneira interativa como ocorre o fenômeno efeito fotoelétrico. O simulador pode ser acessado de forma “online”, ou, fazer o download para seu computador.

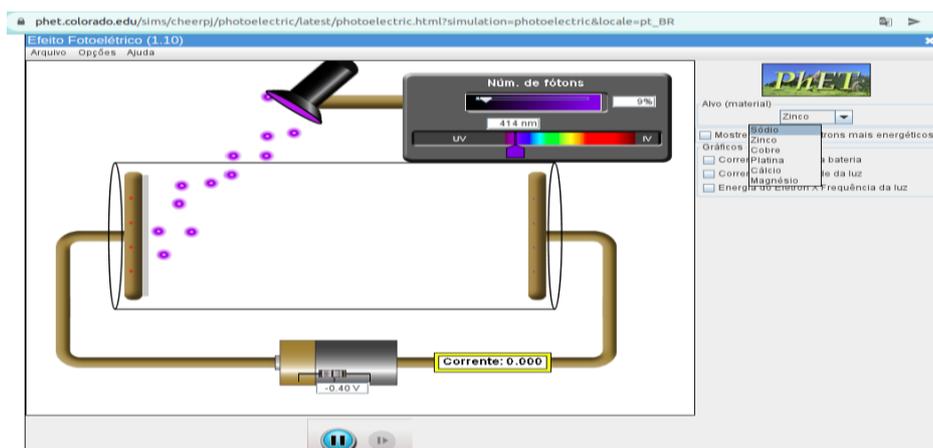
Figura 06 – Simulador interativo Efeito Fotoelétrico



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric

O aparato tecnológico consiste no seguinte esquema:

Figura 07 – Simulador interativo Efeito Fotoelétrico



Fonte:

https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt_BR

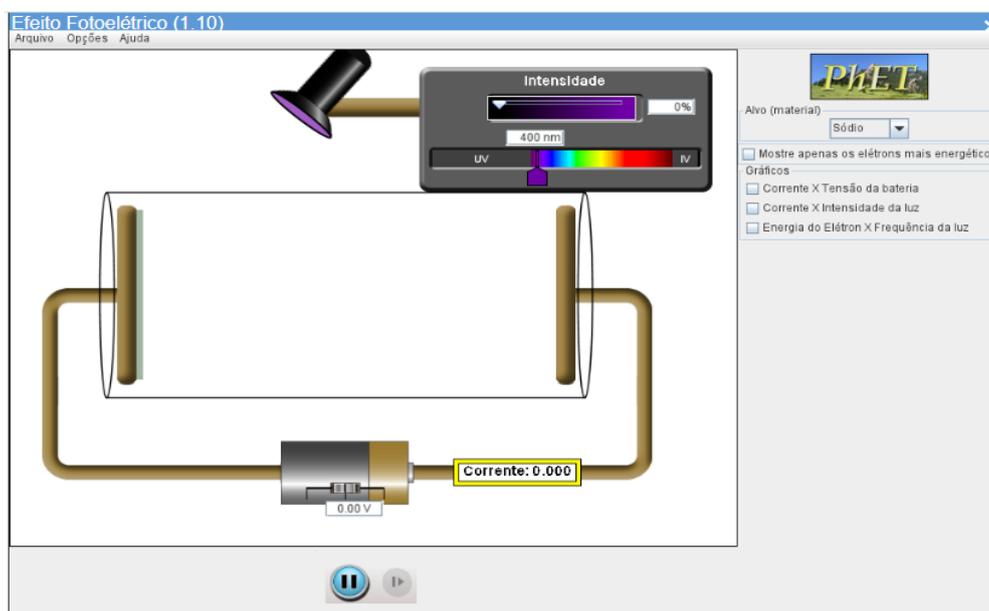
Várias combinações e arranjos podem ser feitas através deste simulador interativo. É essencial a orientação do professor para que os estudantes possam compreender o conceito do fenômeno e suas características. O uso de metodologias educacionais pode auxiliar nesse caminho.

Optamos pela metodologia referenciada pelos Três Momentos Pedagógicos por apresentar uma proposta de ressignificação do currículo nas aulas Física, em contraponto com a “educação bancária”, duramente criticada por Freire, com ênfase numa dialogicidade dentro da sala de aula.

Foi elaborado um roteiro para o participante utilizar na execução do simulador interativo Phet Colorado Efeito Fotoelétrico e, posteriormente, responder ao questionário proposto. Todo esse conteúdo bem como a simulação foram alocados no Google Formulário e, conseqüentemente, disponibilizado de forma acessível para os participantes/estudantes no Google Sala de Aula.

A metodologia proposta para esta pesquisa baseia-se na manipulação do software Efeito Fotoelétrico, disponível no disponível no sítio *PhET interactive simulation*.

Figura 08 - Simulador PhET Efeito Fotoelétrico



Fonte:

https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt_BR

Os educandos interagirão com esse simulador com o objetivo de realização de experimentos virtuais orientado.

A simulação do software Efeito Fotoelétrico consistirá na reprodução dos experimentos realizados por Hertz, Lenard e Einstein com o objetivo de demonstrar que não é sempre que a experimentação leva ao conhecimento ou ao aprendizado de um determinado fenômeno.

Para abrigar todos esses elementos que fazem parte do minicurso, utilizamos como base a ferramenta do Google Sala de Aula denominada “turmas”. Criamos uma turma virtual para utilização pelos participantes como aporte – nesta sala de aula virtual

abrigamos diversos elementos que foram utilizados pelas participantes do minicurso: textos, vídeos, formulários com questionário, objeto educacional de aprendizagem (software efeito fotoelétrico do PhET), além de contar com a ferramenta “mural”, que pode ser utilizada para informes, avisos, e diversas outras situações.

5.6.2 Elaboração e montagem da turma “Efeito Fotoelétrico” no Google Sala de Aula

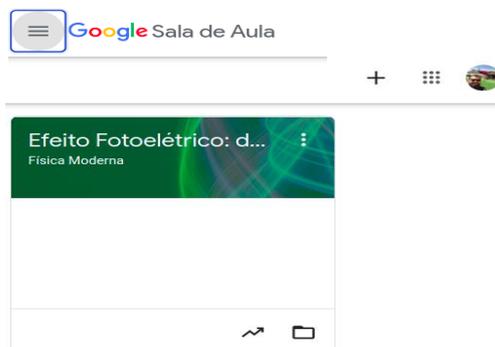
A criação de uma turma no Google Sala de Aula foi umas das formas mais eficaz para produção de conteúdo para utilização no minicurso Efeito Fotoelétrico.

A plataforma Google Sala de Aula possui uma forma intuitiva para a criação de uma turma. Podemos elencar os seguintes passos, a saber:

- Toque em Google Sala de Aula .
- Toque em Adicionar + > Criar turma.
- Digite o nome da turma.
- Para incluir uma breve descrição, a série ou o horário da turma, toque em Seção e digite os detalhes (Opcional).
- Para incluir a localização da turma, toque em Sala e digite os detalhes. (Opcional)
- Para incluir a matéria, toque em Matéria e digite o nome. (Opcional)
- Toque em Criar.

O Google Sala de Aula cria automaticamente o código que você pode usar para convidar alunos para a turma. O código está sempre disponível na parte superior do mural da turma.

Figura 09 – Google Sala de Aula turma “efeito fotoelétrico”



Fonte: <https://classroom.google.com/h>

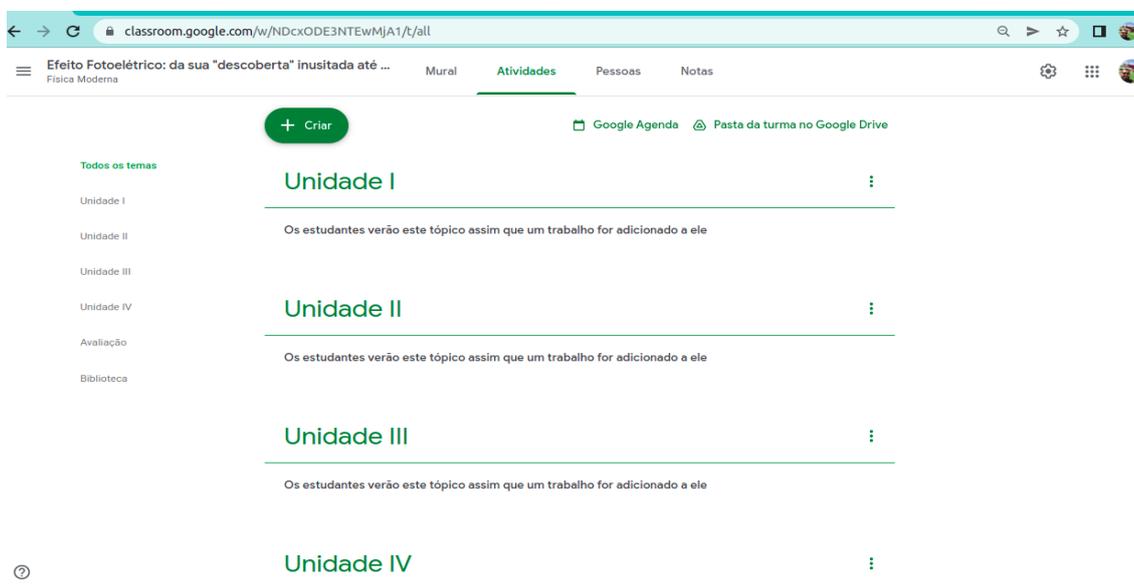
Figura 10 – Google Sala de Aula turma “Efeito Fotoelétrico”



Fonte: <https://classroom.google.com/c/NDcxODE3NTEwMjA1>

No Google sala de aula, o minicurso possui um formato dividido em quatro partes. Essas partes foram criadas na aba “atividades”, onde fixamos as seções denominadas “unidades”; criamos quatro unidades: unidade I, unidade II, unidade III e unidade IV. Essa divisão serve apenas para fins didáticos, de maneira nenhuma constitui-se de blocos estanques. O que se espera é que o desenvolvimento do minicurso dependa do participante, principalmente nos momentos assíncronos.

Figura 11 – Google Sala de Aula – temas “unidades”



Fonte: <https://classroom.google.com/w/NDcxODE3NTEwMjA1/t/all>

Também disponibilizamos mais duas outras seções denominadas “avaliação” e “biblioteca”, respectivamente. A seção “avaliação” traz o formulário denominado

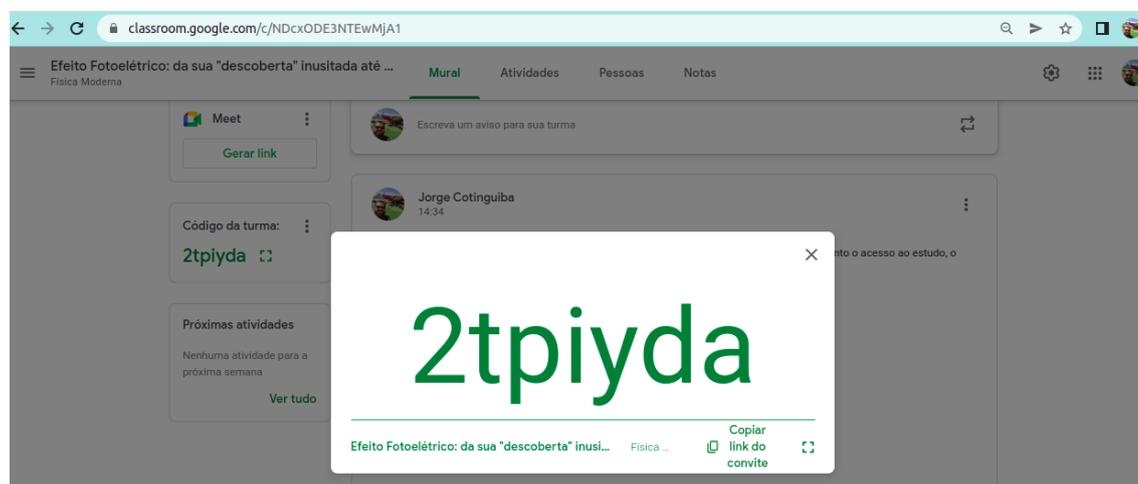
“questionário”. Já a seção “biblioteca” é um espaço onde arrolamos referências bibliográficas, material complementar em formato pdf e diversos outros recursos importantes para consulta e utilização por parte dos participantes.

Figura 12 – Google Sala de Aula – temas “Avaliação” e “Biblioteca”



Fonte: <https://classroom.google.com/w/NDcxODE3NTEwMjA1/t/all>

Figura 13 – Google Sala de Aula – código da turma



Fonte: <https://classroom.google.com/c/NDcxODE3NTEwMjA1>

5.7 Procedimentos metodológicos

A atividade foi realizada tendo como suporte teórico-metodológico os três momentos pedagógicos (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1992; DELIZOICOV e ANGOTTI, 2000; DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2011) que exige dos o estudante um planejamento de sua realização, tendo que formular hipóteses e escolher

que grandezas medir e como proceder para realizar o experimento simulador via software. Tudo isso contribuiu para melhor contextualização do tópico de física escolhido como tema do minicurso. Tivemos também o aporte de um bom texto didático que possibilitou uma vantagem na resolução do questionário, com a fixação dos conceitos trabalhados e aplicação e funcionamento de aparatos tecnológicos.

Nesse estudo fez a opção de um texto histórico que possibilita a compreensão do desenvolvimento dos estudos sobre efeito fotoelétrico realizados ao longo da história das ciências, que busca enfatizar como se deu a formulação e o conceito do tópico escolhido, através de uma abordagem qualitativa que ressalta aspectos físicos essenciais para sua compreensão. A função do texto era servir de apoio para que os estudantes pudessem compreender as questões propostas pelo formulário, indo além daquilo que o livro didático apresentava.

Antes de iniciarmos o minicurso, apresentamos aos estudantes uma breve ementa de nossa proposta, definindo também um caminho que seguimos para realização da proposta baseada nos *três momentos pedagógicos*, enfatizando também a participação de cada um deles no desenvolvimento da proposta quando das atividades assíncronas no Google Sala de Aula.

O questionário fora aplicado na finalização do minicurso, apresentando um grupo de questões sobre tema proposto. Dentre suas finalidades, destacamos a que visa verificar se a dinâmica conhecida como “os três momentos pedagógicos” utilizada na metodologia do minicurso sobre o tema Efeito Fotoelétrico oportunizou práticas dialógicas e problematizadoras.

Fora utilizado o recurso do Google Formulários para a construção do questionário. As perguntas que foram realizadas estão elencadas abaixo:

P1: O que acontece se alterarmos a frequência incidente sobre o metal? Existe uma energia mínima para o efeito acontecer? Por quê?

P2: Se alterar a intensidade da luz o fenômeno ainda irá ocorrer? Será que a velocidade dos elétrons é influenciada pela alteração na intensidade?

P3: Uma luz mais brilhante ejetará mais elétrons de uma superfície fotossensível do que uma luz mais fraca de mesma frequência?

P4: Uma luz de alta frequência ejetará um maior número de elétrons do que uma luz de baixa frequência?

Além dessas perguntas, o formulário possui também perguntas relacionadas à identificação dos participantes como: *nome completo, e-mail, formação, série, município/estado.*

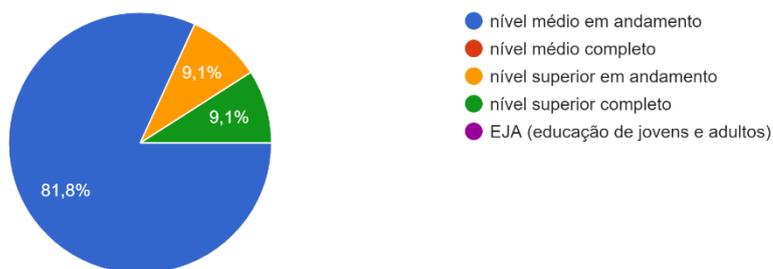
Figura 14 – Recorte do Google Formulário



Fonte: <https://forms.gle/dCVgm1tac31qebBi7>

Gráfico 01 – formação dos participantes

Qual sua formação?
11 respostas

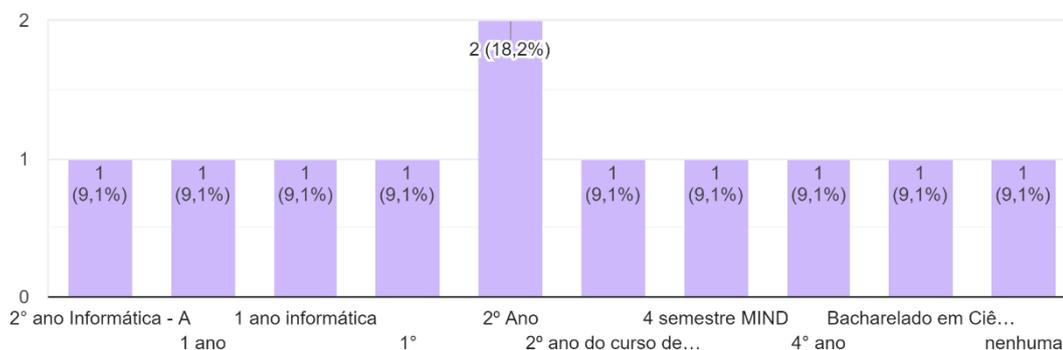


Fonte: Formulário Google. Questionário elaborado pelo autor.

Gráfico 02 – Série ou curso dos participantes

Qual sua série (se nível médio ou EJA) ou curso (se nível superior)

11 respostas

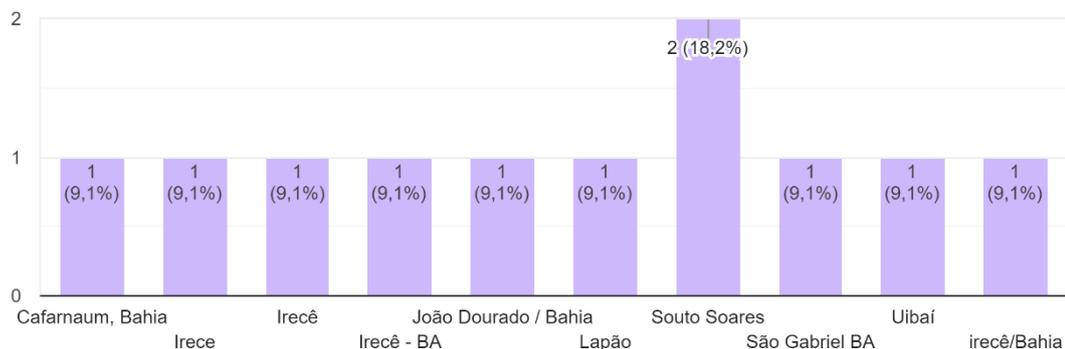


Fonte: Formulário Google. Questionário elaborado pelo autor.

Gráfico 03 – Município dos participantes

Qual seu município/estado?

11 respostas



Fonte: Formulário Google. Questionário elaborado pelo autor.

O recurso formulário do Google permite a inserção de diversos complementos como vídeos, recurso “adicionar pergunta”, recurso “importar pergunta”, recurso “adicionar título e descrição”, “adicionar imagem”, recurso “adicionar vídeo”, imagens, endereços eletrônicos (links), cada recurso possui um ícone correspondente, e também possibilitou abrigar o recurso do simulador PhET “efeito fotoelétrico”. Todos esses recursos inseridos num mesmo formulário permite uma navegação mais ágil e sem dificuldades para os participantes.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentamos inicialmente os resultados dos onze participantes no minicurso e do teste ao final da etapa assíncrona. Em conformidade com a natureza do estudo e o número de participantes, optamos por utilizar os momentos assíncronos do minicurso para uma maior interação com o simulador virtual efeito fotoelétrico e a realização do questionário.

O teste consistiu de um questionário com duas partes. A primeira parte apresentou perguntas que buscavam informações pessoais e acadêmicas dos participantes, relacionando perguntas como “endereço eletrônico”, “nome completo”, “formação”, “curso/série”, “cidade/estado”, e a segunda, com um conjunto de cinco questões abertas. O questionário possuía uma data limite para ser respondido, e nele há um roteiro para a realização do simulador do efeito fotoelétrico.

Um conjunto de critérios fora estabelecido como gabarito para as questões propostas. Os critérios não visam diferenciar respostas corretas e completas, daquelas incorretas e incompletas, pois buscam valorizar aspectos particulares das respostas dos participantes. Os testes foram alocados no Google Formulários que nos permite catalogar as respostas sem a preocupação de estarem certas ou erradas. Neste mesmo formulário é possível criar uma “resposta esperada” que serviu de referência para as respostas dos estudantes.

O formulário elaborado através do Google formulários possui a seguinte estrutura e roteiro estabelecidos, com as seguintes orientações:

Efeito Fotoelétrico: da sua "descoberta" inusitada até suas aplicações tecnológicas

Questionário 01.

Este formulário é parte integrante da dissertação intitulada "O EFEITO FOTOELÉTRICO: UMA DEMONSTRAÇÃO DE QUE A EXPERIÊNCIA NÃO LEVA AO CONHECIMENTO DA "VERDADE", como requisito de obtenção do título de mestre no Programa Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB/MNPEF Polo 62.

Será garantido o anonimato das respostas.

E-mail: _____

Nome completo: _____

Qual sua formação? (múltipla escolha)

- nível médio em andamento
- nível médio completo
- nível superior em andamento
- nível superior completo
- EJA (educação de jovens e adultos)

Qual sua série (se nível médio ou EJA) ou curso (se nível superior)_____

Qual seu município/estado?_____

Simulador Efeito Fotoelétrico do Phet

Phet Simulations que é um projeto desenvolvido pela University of Colorado (Universidade do Colorado). Inicialmente o Phet Simulations oferecia apenas simulações de Física e com isso surgiu a sigla PHET (Physics Education Technology).

Vamos realizar a seguinte sequência metodológica executando o simulador Efeito Fotoelétrico (Phet).

Phet Simulations (https://phet.colorado.edu/pt_BR/)

Simulador Efeito Fotoelétrico Phet

Acesse o link abaixo: você poderá realizar o download ou realizar as simulações de forma online.

https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt_BR

O estudante deverá descobrir a frequência mínima que faz com que os elétrons sejam ejetados da superfície de cada metal disponível no catodo. O procedimento deve ser executado da seguinte forma, através do simulador interativo Efeito Fotoelétrico Phet:

1º) Selecione o material que representa o catodo (placa do lado esquerdo da tela) utilizando a variável "alvo" (material): sódio, zinco, cobre, platina, cálcio, magnésio;

2º) Varie gradualmente o cursor que simboliza a frequência da luz que incidirá sobre o metal (catodo) – IV = infravermelho, luz visível e UV = ultravioleta;

3º) Teste se ocorre ou não a ejeção de elétrons da superfície metálica do catodo; acionado o botão "play" (abaixo) você irá observar quando há ou não a ejeção dessa placada metálica - catodo;

4º) Repita a operação até conseguir que os elétrons consigam escapar com a menor frequência possível.

Vídeo tutorial para uso do Simulador Interativo Efeito Fotoelétrico Phet

Atenção: Esta simulação é em Java via CheerpJ são executadas em um navegador na maioria dos dispositivos. Necessário verificar seu computador ou notebook para realizar a simulação de forma efetiva. (obs.: celulares não são recomendados para execução da simulação). Para celulares que usam sistema operacional ISO, há possibilidade realizar o download utilizando a loja App Store, porém não é uma versão gratuita.

P1: O que acontece se alterarmos a frequência incidente sobre o metal? Existe uma energia mínima para o efeito acontecer? Porque?

P2: Se alterar a intensidade da luz o fenômeno ainda irá ocorrer? Será que a velocidade dos elétrons é influenciada pela alteração na intensidade?

P3: Uma luz mais intensa ejetará mais elétrons de uma superfície fotossensível do que uma luz com menor intensidade e de mesma frequência?

P4: Uma luz de alta frequência ejetará um maior número de elétrons do que uma luz de baixa frequência?

Para complementar seus estudos, assista ao vídeo Efeito Fotoelétrico

A proposta de realizar um minicurso permite ao professor a possibilidade de apresentar esta metodologia em diversas situações de ensino: sala de aula, aulas presenciais ou online, síncronas ou assíncronas.

6.1 Análise e comentário das respostas das/dos participantes

A seguir transcrevemos as respostas dos participantes no minicurso a cada pergunta formulada. As perguntas foram propostas para serem respondidas após a realização do experimento virtual “efeito fotoelétrico”, simulador virtual que demonstra esse fenômeno, disponível no sítio do Phet Colorado, e que, alocamos na sala virtual do Google Sala de Aula para acesso dos participantes do minicurso.

Para que os participantes pudessem manipular o simulador interativo de forma autônoma, fizemos um roteiro contendo etapas que eles deveriam seguir para obterem subsídios suficientes no intuito de responderem às questões propostas. Importante ratificar que, ao propor a atividade utilizando o simulador interativo e para que o estudante possa manipular o aparato tecnológico de forma eficiente, é necessário um momento em

aula (presencial ou síncrono, a depender do contexto), em que o professor demonstre as funcionalidades do simulador interativo, bem como demonstre como executá-lo.

As respostas dos estudantes foram transcritas preservando a forma como eles escreveram. Tabulamos a seguir as perguntas e as respostas dadas pelos estudantes participantes do minicurso.

TABELA 3 – Respostas dos estudantes à pergunta 01

Estudante	<i>PI: O que acontece se alterarmos a frequência incidente sobre o metal? Existe uma energia mínima para o efeito acontecer? Por quê?</i>
E1	<i>Se a frequência for alterado, também significa que o material tem uma interação diferente com a matéria ao seu redor, quanto menor a frequência, mais energia vai estar concentrada em pontos de menor comprimento e cada vez mais agindo sobre os átomos. Existe sim, uma energia mínima para conseguir tirar os elétrons da camada de valência e liberar eles, esse mínimo depende de cada material.</i>
E2	<i>ao alterar a onda, é visível que dificulta a passagem de elétrons, uma vez que sua intensidade está no máximo é observada que uma onda infravermelha não conduziu corrente em nenhum dos casos.</i>
E3	<i>Ao alterar a frequência, ocorre uma alteração da energia dos fótons, posto que essas grandezas são inversamente proporcionais - segundo a equação de Planck-. essa mudança determinaria a ocorrência do efeito fotoelétrico, uma vez que cada tipo de metal terá uma energia mínima para que ocorra o efeito fotoelétrico.</i>
E4	<i>Se alterarmos a frequência a velocidade dos elétrons e a quantidade também irão variar. Se a energia for maior que zero ocorrerá o efeito visto que a ocorrência ou não do efeito depende da frequência da onda e não da intensidade.</i>
E5	<i>Muda a frequência. Sim, pois os átomos de cada material reagem a partir de uma frequência específica.</i>
E6	<i>A intensidade de elétrons aumenta. Uma energia mínima não, mas dependendo do UV e IV os elétrons não são liberados.</i>
E7	<i>Não foi possível fazer a simulação no app, pois meu PC deu problema.</i>
E8	<i>Quanto menor a frequência, maior energia. Quanto mais energia, mais os elétrons terão de absorver, até o suficiente para serem desprendidos do material (energia cinética).</i>
E9	<i>Pode acabar não ejetando elétrons. Existe. Porque precisa de uma frequência e um comprimento específico.</i>
E10	<i>sim</i>
E11	<i>O efeito fotoelétrico é observado somente em algumas frequências, as quais são característica específica de um material, somente com os que possuem uma frequência suficientemente pequeno. A energia cada fóton depende de sua frequência (f), portanto, existe uma frequência mínima necessária para arrancar os elétrons do material.</i>

FONTE: O autor (2022)

A pergunta P1 relaciona a frequência com a energia mínima para que ocorra o efeito fotoelétrico. O efeito fotoelétrico depende da frequência da luz incidente, mas não depende da sua intensidade. É necessário que a energia absorvida pelo metal seja suficiente para arrancar o elétron do metal (função trabalho) e para deslocá-lo até a placa coletora (energia cinética). A função trabalho corresponde à energia mínima para liberar os elétrons do metal, dada por: $E = h \cdot f_0$; f_0 é frequência mínima da onda necessária para que os elétrons sejam ejetados da superfície do metal (frequência de corte). Cada metal terá uma frequência mínima que será determinada pela disposição de seus elétrons. A energia da radiação incidente sobre metal necessária para que o fenômeno aconteça depende apenas de sua frequência.

Observamos que os estudantes E1, E3, E4, E8 e E11 foram os que mais se aproximaram da resposta esperada. E10 respondeu somente “sim”. E2, E5, E6 e E9 não foram objetivos em suas respostas, fazendo algumas afirmações conceituais incorretas. O estudante E7 não respondeu por conta de não conseguir realizar a simulação – justificou que o seu computador teve problemas.

TABELA 4 – Respostas dos estudantes à pergunta 02

Estudante	<i>P2: Se alterar a intensidade da luz, o fenômeno ainda irá ocorrer? Será que a velocidade dos elétrons é influenciada pela alteração na intensidade?</i>
E1	<i>Depende, se a intensidade for menor que a mínima não. É sim, caso maior a intensidade, mais rápido os elétrons saem da camada de valência.</i>
E2	<i>Sim, em todos os casos quanto maior a intensidade de luz maior a corrente, assim como se não há presença da intensidade luminosa os elétrons não se movem.</i>
E3	<i>Sim. A alteração da intensidade da luz não afeta a energia com que os elétrons são ejetados e conseqüentemente não muda a velocidade.</i>
E4	<i>Sim, contanto que a intensidade seja maior que zero o fenômeno irá ocorrer. Não, pelo que pude notar as únicas coisas que influencia na velocidade dos elétrons é a frequência e o comprimento de onda.</i>
E5	<i>Sim, o fenômeno ser mais recorrente, se aumentar a intensidade da luz ou menos recorrente, se diminuir a intensidade da luz. Sim, pois quanto mais energia for induzida no material mais elétrons se agitaram.</i>
E6	<i>Sim. Sim</i>
E7	<i>Não foi possível fazer a simulação no app, pois meu PC deu problema.</i>
E8	<i>A intensidade da luz não altera nada.</i>
E9	<i>Sim. Sim, influencia.</i>
E10	<i>se aumentar a intensidade sim, se diminuir o fenomeno não ira acontecer</i>
E11	<i>No efeito fotoelétrico, a intensidade da luz não afeta a energia cinética dos elétrons ejetados, além disso, essas partículas somente são ejetadas do material se a luz incidente tiver uma frequência mínima para vencer a função trabalho do material.</i>

FONTE: O autor (2022)

Para a pergunta 02, o objetivo é bem específico para a resposta esperada. A intensidade da luz incidente sobre o metal não influencia na ocorrência do fenômeno. E, para influenciar na velocidade dos elétrons, é necessário que a energia absorvida seja suficiente para que ocorra a ejeção do elétron (função trabalho) e ainda que haja energia (cinética) para deslocá-lo. Desta forma, analisando os padrões de respostas dos estudantes para a pergunta 02, verificamos que:

Os estudantes E2, E3, E4, E5, E6, E9 e E10 disseram em suas respostas que há influência da intensidade na luz incidente para que ocorra o efeito fotoelétrico; - os estudantes E8 e E11 responderam que não influencia; - E1 acredita que depende do quanto é a intensidade: se maior, não; se menor, sim; o estudante E7 não respondeu por conta de não conseguir realizar a simulação – justificou que o seu computador teve problemas.

TABELA 5 – Respostas dos estudantes à pergunta 03

Estudante	<i>P3: Uma luz mais intensa ejetará mais elétrons de uma superfície fotossensível do que uma luz com menor intensidade e de mesma frequência?</i>
E1	<i>Sim.</i>
E2	<i>sim ejetará, quanto maior a intensidade da luz, maior a quantidade de elétrons.</i>
E3	<i>Não</i>
E4	<i>Sim</i>
E5	<i>Sim, pois a intensidade da luz influencia na velocidade do fenômeno.</i>
E6	<i>Sim</i>
E7	<i>Não foi possível fazer a simulação no app, pois meu PC deu problema.</i>
E8	<i>Não. Se a frequência será a mesma, o resultado será semelhante em ambas.</i>
E9	<i>Não.</i>
E10	<i>sim</i>
E11	<i>Sim</i>

FONTE: O autor (2022)

Para a pergunta 03, a resposta esperada era: “Sim. O número de elétrons ejetados depende de fótons incidentes.

Tivemos os seguintes padrões de respostas:

Os estudantes E1, E4, E6, E10 e E11 responderam somente “Sim”;

Os estudantes E2 e E5, responderam sim, mas justificaram suas respostas. O estudante E2 disse que “...ejetará, quanto maior a intensidade da luz, maior a quantidade de elétrons”; já o estudante E5, disse que “Sim, pois a intensidade da luz influencia na velocidade do fenômeno”.

Os estudantes E3 e E9 responderam somente “Não”.

O estudante E8 respondeu “não” e justificou que “...se a frequência será a mesma, o resultado será semelhante em ambas”;

O estudante E7 não respondeu por conta de não conseguir realizar a simulação – justificou que o seu computador teve problemas.

Pelo padrão de respostas coletados, E2 foi quem mais aproximou da resposta esperada. Os estudantes E1, E4, E6, E10 e E11 responderam parcialmente, porém sem justificar a opção pelo “sim”. E5 respondeu “sim”, mas relacionou os conceitos de velocidade e frequência como sendo semelhantes.

TABELA 6 – Respostas dos estudantes à pergunta 04

Estudante	<i>P4: Uma luz de alta frequência ejetará um maior número de elétrons do que uma luz de baixa frequência?</i>
E1	<i>exato, quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda.</i>
E2	<i>não, uma luz de maior frequência dificulta a passagem de elétrons</i>
E3	<i>Não</i>
E4	<i>Não</i>
E5	<i>Sim, pois a agitação dos elétrons será maior.</i>
E6	<i>Sim</i>
E7	<i>Não foi possível fazer a simulação no app, pois meu PC deu problema.</i>
E8	<i>Sim, é a exposição às altas frequências de ondas eletromagnéticas sob determinado material que determina o fenômeno.</i>
E9	<i>Sim.</i>
E10	<i>sim</i>
E11	<i>Não</i>

FONTE: O autor (2022)

Para a pergunta 04, a resposta esperada era: “Não necessariamente. A energia (e não o número) de elétrons ejetados depende da frequência dos fótons da iluminação. Uma fonte de luz azul, por exemplo, pode ejetar mais elétrons de baixa energia do que uma luz ultravioleta”.

As respostas dos estudantes tiveram o seguinte padrão coletado.

Os estudantes E3, E4 e E11 responderam somente “não”.

Os estudantes E6, E9 e E10 responderam somente “sim”.

O estudante E1 afirmou de forma enfática com sim, justificando que a frequência será maior quanto menor o comprimento de onda.

E2 afirmou que há uma dificuldade de passagem de elétrons no caso de uma luz com maior frequência;

Já o estudante E5 afirmou que “sim”, justificado que “a agitação dos elétrons será maior”.

E8 respondeu que “sim”, dizendo que pelo fato de haver uma exposição do material às altas frequências de ondas eletromagnéticas que resultará no fenômeno do efeito fotoelétrico.

E7 não respondeu por conta de não conseguir realizar a simulação – justificou que o seu computador teve problemas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisarmos as respostas dos participantes do minicurso e confrontarmos com nosso objetivo geral, podemos fazer os seguintes apontamentos.

Os estudantes participantes tiveram um minicurso no qual foi apresentado para eles uma proposta de conteúdo relacionado ao fenômeno do efeito fotoelétrico, sua contextualização histórica e sua aplicabilidade em aparatos tecnológicos. No decorrer do minicurso, apresentamos aos participantes o simulador interativo PhET Efeito Fotoelétrico, onde fizemos simulações virtuais deste fenômeno.

Os estudantes foram levados a realizar uma atividade assíncrona do minicurso onde puderam ter contato com o simulador interativo, seguindo um roteiro de demandas e, ao final responder a um questionário contendo quatro questões abertas.

Hertz foi quem primeiro observou a ocorrência deste fenômeno, de forma experimental, e acidental, porém, a sua experiência, não resultou num conhecimento firmado sobre o tema. Ele não se debruçou sobre sua “descoberta” experimental e buscou aprender com aquela situação – que nos leva a dizer que nem sempre a experimentação leva ao conhecimento.

Fazendo uma análise pormenorizada das perguntas e respostas, percebemos que, na pergunta P01, cinco estudantes, dos onze questionários respondidos, chegaram a uma resposta próxima daquela que colocamos como ideal; desta forma, a realização do experimento interativo teve 55 % de resposta que não figuraram no “conhecimento da verdade”.

Na pergunta P02, 20 % dos participantes tiveram suas respostas convalidadas pela resposta desejada. O índice de 80 % das respostas que não ratificaram o que se pretendia na pergunta, corroborando que não é sempre que a realização da experimentação leva ao aprendizado.

Já na pergunta P03, 45 % das respostas efetuadas após a realização do experimento foram próximas ao que se propunha como sendo ideal. Percebemos que 55 % dos participantes, mesmo realizando o experimento interativo não conseguiram observar o fenômeno informado pelo comando da pergunta, sendo que a realização do experimento não foi eficaz na condução do aprendizado.

A pergunta P04 teve o seguinte panorama: 36 % das respostas se aproximaram do que se desejava como resposta alcançada, enquanto 64 % das respostas realizadas, após

a interação com o experimento virtual chegaram a uma conclusão próxima do que chamamos de resposta esperada.

Verificamos e concluímos que a realização do experimento interativo pode levar ou não ao aprendizado de determinado fenômeno físico. Devemos levar em conta situações diversas de aprendizado que auxiliem ou não na forma de como um experimento pode auxiliar ou não no conhecimento da “verdade”. Não estamos aqui condenando o uso de experimentos em sala de aula: o que buscamos enfatizar que não é necessariamente o uso desse experimento que fará com que o estudante aprenda determinado tema ou fenômeno físico.

Em sala de aula, ou qualquer outro espaço formal ou não formal de educação, devemos perceber que nem todas as ferramentas ou percursos pedagógicos que utilizamos no processo de ensino e aprendizagem conseguem capturar toda a experiência que os estudantes vivenciaram.

Dar um caráter filosófico às aulas de Física permite ao estudante formalizar situações de compreensão dos temas físicos muito além das questões conceituais, auxiliar o estudante a apreender de forma mais eficaz. O caráter “verdade” exposto nesse trabalho enlaça a compreensão do mundo da ciência Física com o mundo da ciência Filosofia. Lisboa e Pessoa Jr. corroboram com essa visão, a saber:

Acreditamos que a prática da filosofia dentro do ensino de física garante uma visão da ciência menos autoritária. Quando ensinamos diariamente a Física e restringimos esse conhecimento a métodos empírico-indutivistas, acabamos por privar os alunos da diversidade de visões que compõe o processo de construção da ciência. Muitas vezes conceitos, teorias e leis físicas são apresentados como fatos com comprovação experimental, e sendo assim, assumem caráter de verdade indiscutível, intensificando de forma significativa uma visão realista ingênua não favorecendo as reflexões do aluno. Resta ainda colocar que a filosofia da ciência tem como pontos principais a investigação dos conceitos das teorias científicas e fomenta a geração de novas ideias. Esse papel da filosofia não é muito bem compreendido pelos físicos, nem todos os físicos concordam que a filosofia tenha importância em seu trabalho. Quando estamos em sala de aula não valorizamos tais diferenças e é essa diversidade de opiniões, que encontramos e evidenciamos nesse trabalho de pesquisa, deveria ser explorada. (LISBOA e PESSOA JR. 2015, p. 51).

As atividades realizadas contribuíram para uma formação sobre o fenômeno efeito fotoelétrico, caracterizando seu conceito básico e ocorrência nas situações tecnológicas trazidas no minicurso.

E estes resultados apresentados acima, embora tenham sido produzidos pelo desempenho individual de cada participante e com características de teste e envolvimento

destes participantes no caminhar do minicurso, é realçada pelo pequeno número de participantes no estudo.

Importante perceber a proposta aqui apresentada é exequível tanto no contexto de aulas presenciais como numa possibilidade de aulas que utilizam das ferramentas tecnológicas – aulas remotas, como momentos síncronos e assíncronos. A aplicação desse produto educacional excepcionalmente fora realizada de forma online e através de um minicurso em consonância com as resoluções do MNPEF elaboradas no período da Pandemia COVID-19.

Em relação à utilização dos Três Momentos Pedagógicos em consonância com a abordagem temática “Efeito Fotoelétrico”, percebemos que a utilização dessa metodologia auxilia tanto no que se refere ao conceito científico estudado pelas participantes do minicurso, como também busca elementos de suas vivências e realidades, articulando assim o conhecimento científico ao cotidiano.

Podemos assim inferir que a utilização do referencial teórico-metodológico dos Três Momentos Pedagógicos pode significar uma possibilidade de reestruturar o currículo de Física, desenvolvendo a partir de um tema gerador uma forma significativa de fomentar os conceitos científicos com o que temas de desenvolvimento tecnológico que faz parte da vivências de nossos estudantes.

Foi possível perceber também que o desenvolvimento dessa prática metodológica pode trazer situações importantes, tais como: desenvolver a consciência crítica do educando, fazendo com que ele perceba a relação da Ciência e da Tecnologia e o papel da sociedade na tomada de decisões, conduzir o estudante a um sujeito ativo da sua própria aprendizagem.

O desenvolvimento de práticas pedagógicas como a dos Três Momentos Pedagógicos amplia a compreensão da realidade dos estudantes, contribui para uma reconfiguração curricular nas aulas de Física, saindo de uma educação bancária, faz o estudante protagonista de seu processo de aprendizagem, o aproxima das situações cotidianos relacionando o conhecimento cotidiano com o avanço científico e tecnológico.

REFERÊNCIAS

ANGOTTI, A. **Conceitos unificadores e ensino de física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 191-198, 1994.

BASSALO, J. M. F. **Nascimentos da Física (3500 a.C – 1900 a.D.)**. Belém: EdUFPA 1996.

BEM-DOV, Y. **Convite à física**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1996.

CHESMAN, C; ANDRÉ, C. MACÊDO, A. **Física Moderna. Experimental e aplicada**. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

CHIBENI, S. S. O surgimento da Física Quântica. **Notas de aula**. Departamento de Filosofia – IFCH – UNICAMP. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/11641150-O-surgimento-da-fisica-quantica.html>>. Acesso em 15/03/2019.

COX, B. e FOX, J. **O Universo quântico: tudo que pode acontecer realmente acontece**. – 1. Ed. – São Paulo, SP: Editora Fundamento Educacional Ltda, 2016.

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A. **Física**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1992.

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do Ensino de Ciências**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2000.

DELIZOICOV, D., ANGOTTI, J. e PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

DELIZOICOV, D. **Ensino de física e a concepção freireana de educação**. Revista de Ensino de Física, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 85-98, 1983.

DELIZOICOV, D. e MUENCHEN, C. **A construção de um processo didático-pedagógico: aspectos epistemológicos**. Revista Ensaio, Belo Horizonte, v.14, n.3, p.199-215, 2012.

EISEBERG, R. e RESNICK, R. **Física Quântica. Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Rio de Janeiro: Elsevier/Campus, 1979. 35ª reimpressão.

EINSTEIN, A. **Como vejo o Mundo**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1981.

FERREIA, N. S. de A. **As pesquisas denominadas "estado da arte"**. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/es/a/vPsyhSBW4xJT48FfrdCtqfp/abstract/?lang=pt>>. Revisão Educação e Sociedade ano XXIII, nº 79, agosto de 2022. Acesso em: abr. 2020

FLEMING, H. Max Planck e a Ideia do Quantum de Energia. IN: HUSSEIN, Mahir S.; SALINAS, Silvio R. A. **100 anos de física quântica**. – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2001.

FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. 17ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1978

- GOOGLE. **Google Sala de Aula**. Disponível em: <<https://classroom.google.com/h/>>. Acesso em 19 out 2021.
- Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, GREF. **Física 2**. Física térmica. Óptica. 5. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.
- HOLZNER, S. **Física II para leigos**. Rio de Janeiro: Altas Books, 2012.
- KARAM, R. A. S.; CRUZ, S. M. S. C. de.; COIMBRA, D. **Relatividade no ensino médio**. Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 29. n. 1. p. 105-114. 2007.
- KLEPPNER, D. **Relendo Einstein sobre radiação**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 1, p. 87 - 91, (2004). www.sbfisica.org.br
- LISBOA, R A.M. de; PESSOA JR., O. F. **Concepções sobre verdade na ciência: visões filosóficas de professores de física do ensino superior**. Revista de Enseñanza de la Física. v. 27, n. extra. Nov. v2015, 45-52. Disponível em: <http://www.revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/>. Acesso em: 03 nov. 2022.
- LOCQUENEUX, R. **História da Física**. Publicações Europa-América, 1989.
- MENEZES, L. C. **Novo(?) método(?) para ensinar(?) Física(?)**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, V. 2 n. 2. p.85-97, junho 1980.
- NARDI, R. (Org.). **Educação em Ciências**. Da pesquisa à prática docente. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2003.
- NARDI, R. (Org.). **Pesquisas em Ensino de Física**. São Paulo: Escrituras, 1998.
- NARDI, R. BASTOS, F. e DINIZ, R. E. da S. (Orgs.). **Pesquisas em Ensino de Ciências**. Contribuições para a formação de professores. 5. ed. São Paulo: Escrituras, 2004.
- NARDI, R. e ALMEIDA, M. J. P. M. de. (Orgs.). **Analogias, Leituras e Modelos em Ensino de Ciências**. A sala de aula em estudo. São Paulo: Escrituras, 2006.
- NESSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. Ótica. Relatividade. Física Quântica. São Paulo: Editora Blücher, 1998. v. 04.
- NETO, D. D. **Ensino de Física e a Concepção Freiriana da Educação**. Revista Brasileira de Ensino de Física.
- PHET: **Interactive Simulations**. University of Colorado Boulder. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/>. Acesso em: 20 jun 2021.
- SARAIVA-NEVES, M.; CABALLERO, C. e MOREIRA, M. M. **Repensando o Papel do Trabalho Experimental, na Aprendizagem de Física, em Sala de Aula: um estudo exploratório**. Investigações em Ensino de Ciências. v. 11. n. 3. dez. 2006. Instituto de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Brasil.

Semana Nacional de Ciência e Tecnologia. Disponível em:
<<https://semanact.mcti.gov.br/o-que-e-a-semana-nacional-de-ciencia-e-tecnologia/>>.
Acesso em 19 out 2021.

Semana Nacional de Ciência e Tecnologia IFBA campus Irecê. Disponível em:
<<https://www.even3.com.br/snctifbairece/>>. Acesso em 19 out 2021.

SILVA, C. C. (Org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências.** Subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.
Simulador Efeito Fotoelétrico. Disponível em:
<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric/credits>. Acesso em 19 out 2021.

TEIXEIRA, O. P. B.; CINDRA, J. L.; MONTEIRO, M. A. A. e AMARANTE, A. R. S.
Os Recursos Multimídia e o Ensino de Fenômenos Térmicos. XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física.

VALADARES, E. de C. e MOREIRA, A. M. **Ensinando Física Moderna no Segundo Grau: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v. 15, n. 2: p. 121-135, ago. 1998. Disponível em:
<<https://antigo.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6896/7584>>. Acesso em: 11 jul 2022.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia de Pesquisa.** 2. ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2013.

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL MNPEF

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

JORGE RAPHAEL RODRIGUES DE OLIVEIRA COTINGUIBA

**O EFEITO FOTOELÉTRICO: UMA DEMONSTRAÇÃO DE QUE
A EXPERIÊNCIA NÃO LEVA AO CONHECIMENTO DA “VERDADE”**

Material instrucional vinculado à dissertação de Mestrado apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, no Polo 62, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Orientador: Prof. Dr. Valmir Henrique de Araújo.

Vitória da Conquista – Ba

Julho 2022

1. APRESENTAÇÃO

Este produto educacional é parte integrante de uma dissertação que pesquisou o fenômeno do Efeito Fotoelétrico, na perspectiva de Hertz, Lenard e Einstein, tendo como aporte teórico-metodológico a dos Três Momentos Pedagógicos. O produto educacional, doravante denominado Texto de Apoio Didático, e parte integrante e obrigatória da dissertação do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, requisito essencial que deverá ser apresentado com um texto coerente e objetivo que o torne exequível para outros professores

Por sugestão da Coordenação do MNPEF, o tópico escolhido para desenvolvimento da pesquisa da dissertação e do produto educacional deverá ser um tema relacionado ao ensino de Física Moderna e Contemporânea. O tema escolhido - Efeito Fotoelétrico – contemplando assim a sugestão do Programa.

Ressaltamos ainda que a execução deste produto educacional pode ser realizada tanto no contexto de aulas presenciais como numa possibilidade de aulas que utilizam das ferramentas tecnológicas – aulas remotas, como momentos síncronos e assíncronos. A aplicação desse produto educacional excepcionalmente fora realizada de forma online e através de um minicurso em consonância com as resoluções do MNPEF elaboradas no período da Pandemia COVID-19.

Em relação à utilização dos Três Momentos Pedagógicos e a abordagem temática “Efeito Fotoelétrico”, percebemos que a utilização dessa metodologia auxilia tanto no que se refere ao conceito científico estudado pelas participantes do minicurso, como também busca elementos de suas vivências e realidades, articulando assim o conhecimento científico ao cotidiano.

Podemos assim inferir que a utilização do referencial teórico-metodológico dos Três Momentos Pedagógicos pode significar uma possibilidade de reestruturar o currículo de Física, desenvolvendo a partir de um tema gerador uma forma significativa de fomentar os conceitos científicos com o que temas de desenvolvimento tecnológico que faz parte da vivências de nossos estudantes.

Foi possível perceber também que o desenvolvimento dessa prática metodológica pode trazer situações importantes, tais como: desenvolver a consciência crítica do educando, fazendo com que ele perceba a relação da Ciência e da Tecnologia e o papel da sociedade na tomada de decisões, conduzir o estudante a um sujeito ativo da sua própria aprendizagem.

O desenvolvimento de práticas pedagógicas como a dos Três Momentos Pedagógicos amplia a compreensão da realidade dos estudantes, contribui para uma reconfiguração curricular nas aulas de Física, saindo de uma educação bancária, faz o estudante protagonista de seu processo de aprendizagem, o aproxima das situações cotidianas relacionando o conhecimento cotidiano com o avanço científico e tecnológico.

Elaboramos uma sala de aula virtual que foi utilizado como estrutura para a realização e aplicação do produto educacional. “O produto educacional como texto didático de apoio também se configura como um texto científico porque se trata de uma narrativa escrita com base no conhecimento científico estruturado a partir de conceitos, leis, teorias, e evidências experimentais.” (Iramaia Jorge Cabral de Paulo, p. 4). (O TEXTO DIDÁTICO DE APOIO COMO UM PRODUTO EDUCACIONAL UMA OPÇÃO VIÁVEL. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/sobre-dissertacoes-e-produtos>. Acesso em 11 jul 2022).

Toda elaboração a aplicação da proposta foi realizada no período caracterizado pelo advento da Pandemia COVID – 19, entre os anos de 2020 a 2022, o que se tornou um desafio ainda mais contundente em virtude de uma adaptação de um contexto de aulas presenciais para a possibilidade de realização da proposta em formato de aulas online.

Para compor nosso produto educacional utilizamos de uma simulação interativa que propõe a manipulação e observação de como ocorre o fenômeno do Efeito Fotoelétrico. Este simulador interativo denominado *efeito fotoelétrico* está disponível no sítio do Phet Colorado de forma gratuita para ser utilizado online ou através de *download*.

Com esse conjunto de ferramentas fizemos a elaboração e montagem de um minicurso no qual tinha por finalidade a demonstração da ocorrência e aplicação do efeito fotoelétrico nos dispositivos tecnológicos, tais com placas de energia solar (fotovoltaicas), lâmpadas LED e alguns outros dispositivos.

As atividades de execução deste produto educacional foram realizadas através de momentos síncronos e assíncronos e fizemos um formato seguindo o seguinte esquema: realização de um minicurso intitulado Efeito Fotoelétrico: de sua “descoberta” inusitada até suas aplicações tecnológicas; este momento do minicurso foi realizado de forma síncrona, utilizando o Google Meet.

Posteriormente os estudantes foram convidados a participar de uma sala de aula virtual, criada no Google Sala de Aula. Esta sala de aula virtual foi elaborada previamente e disponibilizamos nela os seguintes materiais: textos e vídeos sobre o tópico Efeito Fotoelétrico, o simulador interativo Phet Efeito Fotoelétrico juntamente com um roteiro

para instruir os participantes na manipulação do simulador. Um questionário-teste onde os participantes puderam responder as questões de acordo com que fora apreendido no minicurso, nos textos e vídeos disponibilizados na sala de aula virtual; disponibilizamos também uma sessão denominada “biblioteca”, na qual foram alocados diversos vídeos sobre temas relativos ao estudo dualidade onda-partícula e mais alguns vídeos sobre o efeito fotoelétrico.

A utilização da metodologia dos Três Momentos Pedagógicos é estruturada no minicurso conforme o seguinte esboço:

- problematização inicial: este momento é feito realizando algumas questões norteadoras que fomentem a discussão de um determinado tema durante o encontro.

2. PROPOSTA E ELABORAÇÃO DO MINICURSO FIRMADO NA METODOLOGIA DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

O minicurso durou vinte horas, com sessões de atividades síncronas e assíncronas. As atividades síncronas foram registradas em vídeo e as atividades assíncronas foram registradas através de questionários.

Utilizamos a abordagem didática dos três momentos pedagógicos (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1992; DELIZOICOV e ANGOTTI, 2000; DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2011). como fundamento teórico-metodológico.

A utilização da dinâmica conhecida como Três Momentos Pedagógicos utilizada em situações de ensino, principalmente no Ensino das Ciências da Natureza busca oportunizar práticas dialógicas e problematizadoras.

Essa dinâmica apresenta suas possibilidades de uso e se estrutura a partir das ideias presentes na obra de Paulo Freire. As ideias de educação freiriana deram origem aos Três Momentos Pedagógicos que são estruturados com base em três pressuposto: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1992; DELIZOICOV e ANGOTTI, 2000; DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2011).

Podemos inferir que a proposta dos Três Momentos Pedagógicos é ressignificar o ensino de Física em contraponto ao que propõe o currículo do ensino de Física no Ensino Médio.

O minicurso “Efeito Fotoelétrico: da sua ‘descoberta’ inusitada até suas aplicações tecnológicas” foi estruturado contendo atividades síncronas e assíncronas, abrigado em

uma sala virtual do Google Sala de Aula, e sua metodologia esteve amparada pelo referencial teórico-metodológico dos Três Momentos Pedagógicos.

No momento inicial do minicurso, síncrono, foi apresentado aos participantes uma proposta de aula temática tendo como tema gerador o Efeito Fotoelétrico, iniciando esta parte com uma situação problematizadora ou Problematização Inicial, o primeiro momento da prática pedagógica denominada “Três Momentos Pedagógicos”.

A problematização inicial é uma apresentação de questões e/ou situações para discussão com os alunos. Este momento visa relacionar o conteúdo com situações reais que os alunos conhecem, mas, provavelmente, não dispõe de conhecimentos científicos suficientes para interpretar corretamente e de forma completa o fenômeno físico apresentado. O critério para escolha das questões deverá estar necessariamente relacionado com o conteúdo de Física.

Isto decorre do fato de que, na problematização inicial, as perguntas a serem elaboradas devem estar limitadas no que os estudantes possuem de conhecimento e compreensão das situações e fenômenos que os cercam.

A finalidade deste primeiro momento pedagógico é a apresentação de questões e/ou situações para discussão com os estudantes. O objetivo deste momento é fomentar a dialogicidade em sala de aula (Freire, 1978, p. 50). Através da questão problematizadora é que levantamos questões e pontos importantes para as discussões que serviram como ponto de partida para a execução do minicurso.

Nossa questão problematizadora foi a seguinte: *“O que são fotocélulas e onde são utilizadas? Como são acionadas as lâmpadas nas redes de iluminação pública? Os painéis fotovoltaicos são aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico? Como é o funcionamento das placas que são utilizadas na energia solar?”*

A problematização inicial é um momento necessário para a abordagem dos Três Momentos Pedagógicos, sendo o momento da dialogicidade em que obteremos os pressupostos essenciais para a aplicação dos momentos seguintes.

No outro momento, passamos a estudar e debater a tema Efeito Fotoelétrico através do uso da História das Ciências e sua Evolução. Como foram realizados os estudos de Hertz, Lenard e Einstein sobre esse fenômeno, sua teorização e suas aplicações tecnológicas conhecidas. Este é o segundo momento pedagógico, conhecido como “Organização do Conhecimento”, que tem por finalidade estudar o conhecimento físico inerente àquele tema e necessário para a compreensão do tema central e da problematização inicial.

Este momento é conduzido pelo professor de forma a apresentar as questões científicas presentes no tema, suas aplicações tecnológicas e, além disso, aprofundar as definições, conceitos, relações, leis que foram apresentadas anteriormente. O segundo momento pedagógico está associado aos aspectos metodológicos no desenvolvimento dos conteúdos.

Utilizamos também de uma parte experimental através do simulador “efeito fotoelétrico” disponível no sítio Phet Colorado com intuito de estabelecer uma relação complementar teoria/experiência, com base nas simulações roteirizadas e fundamentada na história das Ciências.

Na sequência proposta, chegamos ao terceiro momento pedagógico estabelecido para conclusão do programa executado no minicurso – a “aplicação do conhecimento”. Nesta parte da aula, fizemos uma abordagem sistemática do conhecimento apresentado e incorporado pelos participantes. Também temos nesta terceira etapa o processo de avaliar e interpretar as situações iniciais que determinaram o estudo do tema gerador – o efeito fotoelétrico – e de outras situações que não estavam ligadas ao contexto inicial, mas foram surgindo durante a ministração do minicurso.

3. A ESTRUTURA DA SALA DE AULA VIRTUAL DO GOOGLE SALA DE AULA

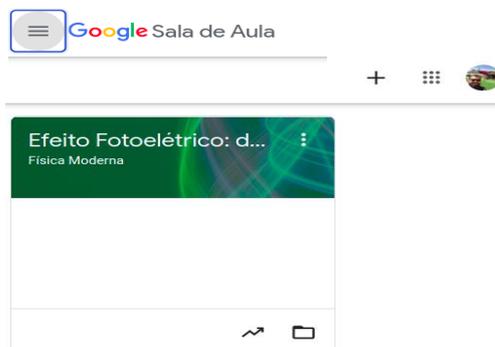
A criação de uma turma no Google Sala de Aula foi umas das formas mais eficaz para produção de conteúdo para utilização no minicurso Efeito Fotoelétrico.

A plataforma Google Sala de Aula possui uma forma intuitiva para a criação de uma turma. Podemos elencar os seguintes passos, a saber:

- Toque em Google Sala de Aula .
- Toque em Adicionar + > **Criar turma**.
- Digite o nome da turma.
- Para incluir uma breve descrição, a série ou o horário da turma, toque em **Seção** e digite os detalhes (Opcional).
- Para incluir a localização da turma, toque em **Sala** e digite os detalhes. (Opcional)
- Para incluir a matéria, toque em **Matéria** e digite o nome. (Opcional)
- Toque em **Criar**.

O Google Sala de Aula cria automaticamente o código que você pode usar para convidar alunos para a turma. O código está sempre disponível na parte superior do mural da turma.

Fig. 5 – Google Sala de Aula turma “efeito fotoelétrico”



Fonte: <https://classroom.google.com/h>

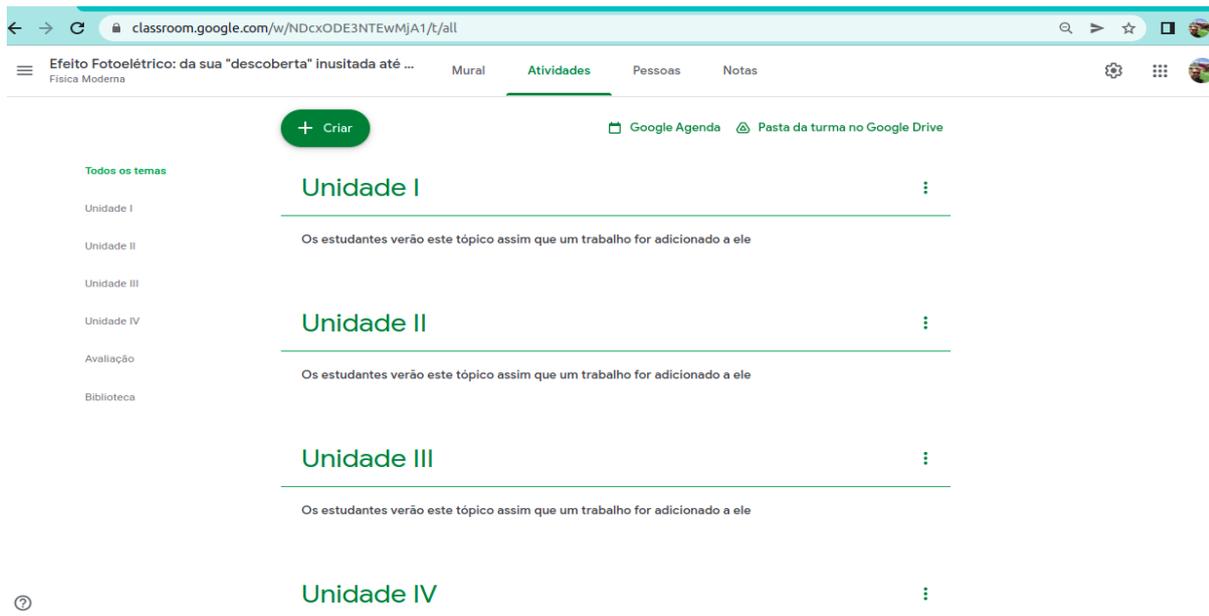
Fig. 6 – Google Sala de Aula turma “Efeito Fotoelétrico”



Fonte: <https://classroom.google.com/c/NDcxODE3NTEwMjA1>

No Google sala de aula, o minicurso possui um formato dividido em quatro partes. Essas partes foram criadas na aba “atividades”, onde fixamos as seções denominadas “unidades”; criamos quatro unidades: unidade I, unidade II, unidade III e unidade IV. Essa divisão serve apenas para fins didáticos, de maneira nenhuma constitui-se de blocos estanques. O que se espera é que o desenvolvimento do minicurso dependa do participante, principalmente nos momentos assíncronos.

Fig. 7 – Sessões do Google Sala de Aula – temas “unidades”



Fonte: <https://classroom.google.com/w/NDcxODE3NTEwMjA1/t/all>

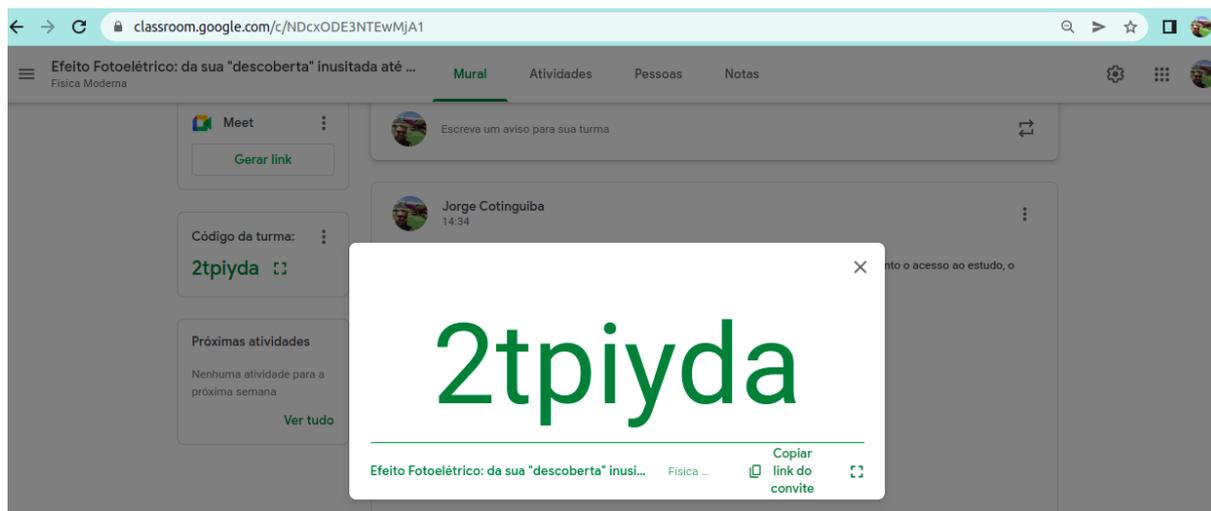
Também disponibilizamos mais duas outras seções denominadas “avaliação” e “biblioteca”, respectivamente. A seção “avaliação” traz o formulário denominado “questionário”. Já a seção “biblioteca” é um espaço onde arrolamos referências bibliográficas, material complementar em formato pdf e diversos outros recursos importantes para consulta e utilização por parte dos participantes.

Fig. 8 – Google Sala de Aula – temas “Avaliação” e “Biblioteca”



Fonte: <https://classroom.google.com/w/NDcxODE3NTEwMjA1/t/all>

Fig. 9 – Google Sala de Aula – código da turma



Fonte: <https://classroom.google.com/c/NDcxODE3NTEwMjA1>

4. USO DO SIMULADOR INTERATIVO EFEITO FOTOELÉTRICO PHET COLORADO

O sítio Phet Colorado é uma plataforma de experimentos e simulações interativas virtuais onde contém uma vasta coleção de softwares das áreas de Física, Química, Biologia e Matemática, disponibilizados de forma gratuita. O cadastro é acessível e o usuário poderá contribuir com doações para manutenção do sítio.

Fig. 01 – página da internet do PhET

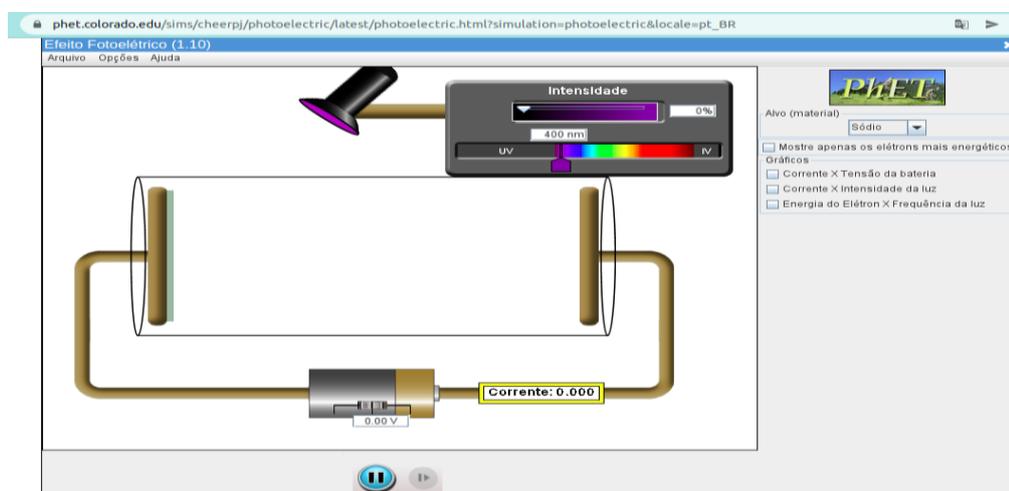


Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/

Fundado em 2002 pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, o projeto PhET Simulações Interativas da Universidade do Colorado em Boulder cria simulações interativas gratuitas de matemática e ciências. As Sims PhET baseiam-se em extensa pesquisa em educação e envolvem os alunos através de um ambiente intuitivo, estilo jogo, onde eles aprendem através da exploração e da descoberta.

Neste sítio, encontramos o simulador virtual “efeito fotoelétrico” que demonstra de maneira interativa como ocorre o fenômeno efeito fotoelétrico. O simulador pode ser acessado de forma “online”, ou, fazer o download para seu computador.

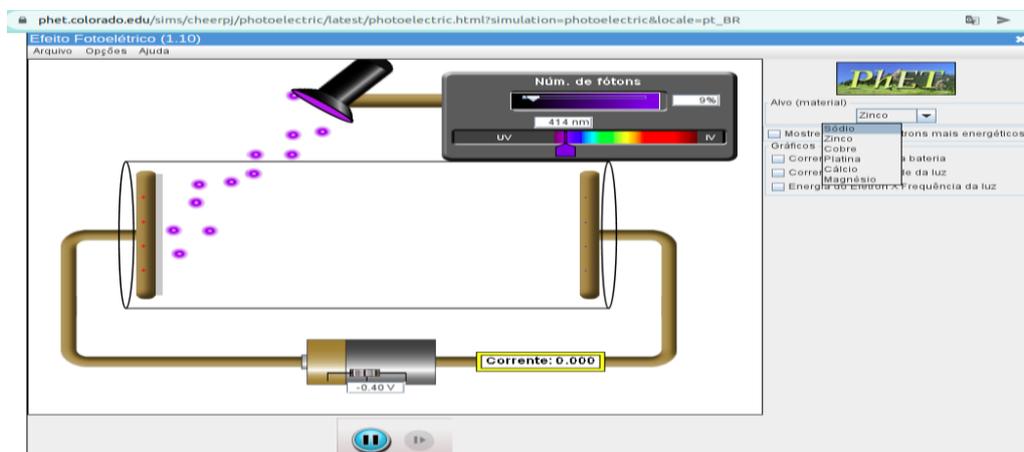
Fig. 02 – Simulador interativo Efeito Fotoelétrico



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric

O aparato tecnológico consiste no seguinte esquema:

Fig. 03 – Simulador interativo Efeito Fotoelétrico



Fonte:

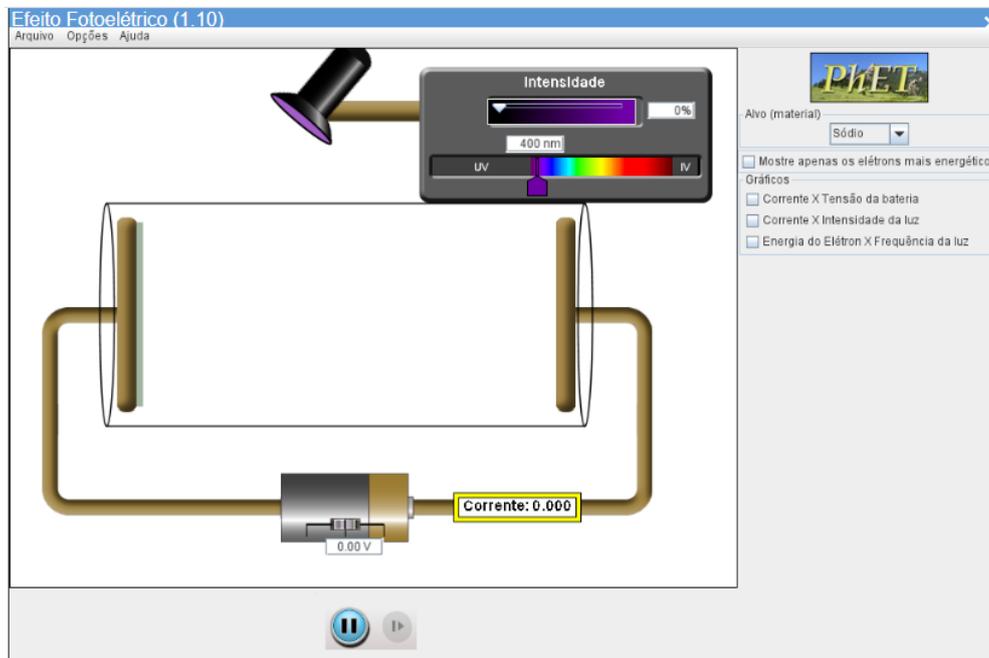
https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt_BR

Várias combinações e arranjos podem ser feitas através deste simulador interativo. É essencial a orientação do professor para que os estudantes possam compreender o conceito do fenômeno e suas características. O uso de metodologias educacionais pode auxiliar nesse caminho. Optamos pela metodologia referenciada pelos Três Momentos Pedagógicos por apresentar uma proposta de ressignificação do currículo nas aulas Física, em contraponto com a “educação bancária” (Freire), com ênfase numa dialogicidade dentro da sala de aula.

Foi elaborado um roteiro para o participante utilizar na execução do simulador interativo Phet Colorado Efeito Fotoelétrico e, posteriormente, responder ao questionário proposto. Todo esse conteúdo bem como a simulação foram alocados no Google Formulário e, conseqüentemente, disponibilizado de forma acessível para os participantes/estudantes no Google Sala de Aula.

A metodologia proposta para esta pesquisa baseia-se na manipulação do software Efeito Fotoelétrico, disponível no disponível no sítio *PhET interactive simulation*.

Fig. 4 - Simulador PhET Efeito Fotoelétrico



Fonte:

https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt_BR

Os educandos interagirão com esse simulador com o objetivo de realização de experimentos virtuais orientado.

A simulação do software Efeito Fotoelétrico consistirá na reprodução dos experimentos realizados por Hertz, Lenard e Einstein com o objetivo de demonstrar que não é sempre que a experimentação leva ao conhecimento ou ao aprendizado de um determinado fenômeno.

Para abrigar todos esses elementos que fazem parte do minicurso, utilizamos como base a ferramenta do Google Sala de Aula denominada “turmas”. Criamos uma turma virtual para utilização pelos participantes como aporte – nesta sala de aula virtual abrigamos diversos elementos que foram utilizados pelas participantes do minicurso: textos, vídeos, formulários com questionário, objeto educacional de aprendizagem (software efeito fotoelétrico do PhET), além de contar com a ferramenta “mural”, que pode ser utilizada para informes, avisos, e diversas outras situações.

4.1 Roteiro didático

Efeito Fotoelétrico: da sua "descoberta" inusitada até suas aplicações tecnológicas

Questionário 01.

Este formulário é parte integrante da dissertação intitulada "O EFEITO FOTOELÉTRICO: UMA DEMONSTRAÇÃO DE QUE A EXPERIÊNCIA NÃO LEVA AO CONHECIMENTO DA "VERDADE", como requisito de obtenção do título de mestre no Programa Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB/MNPEF Polo 62.

Será garantido o anonimato das respostas.

E-mail: _____

Nome completo: _____

Qual sua formação? (múltipla escolha)

- nível médio em andamento*
- nível médio completo*
- nível superior em andamento*
- nível superior completo*
- EJA (educação de jovens e adultos)*

Qual sua série (se nível médio ou EJA) ou curso (se nível superior)_____

Qual seu município/estado?_____

Simulador Efeito Fotoelétrico do Phet

Phet Simulations que é um projeto desenvolvido pela University of Colorado (Universidade do Colorado). Inicialmente o Phet Simulations oferecia apenas simulações de Física e com isso surgiu a sigla PHET (Physics Education Tecnology).

Vamos realizar a seguinte sequência metodológica executando o simulador Efeito Fotoelétrico (Phet).

Phet Simulations (https://phet.colorado.edu/pt_BR/)

Simulador Efeito Fotoelétrico Phet

Acesse o link abaixo: você poderá realizar o download ou realizar as simulações de forma _____ online.

https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt_BR

O estudante deverá descobrir a frequência mínima que faz com que os elétrons sejam ejetados da superfície de cada metal disponível no catodo. O procedimento deve ser executado da seguinte forma, através do simulador interativo Efeito Fotoelétrico Phet:

1º) Selecione o material que representa o catodo (placa do lado esquerdo da tela) utilizando a variável "alvo" (material): sódio, zinco, cobre, platina, cálcio, magnésio;

2º) Varie gradualmente o cursor que simboliza a frequência da luz que incidirá sobre o metal (catodo) – IV = infravermelho, luz visível e UV = ultravioleta;

3º) Teste se ocorre ou não a ejeção de elétrons da superfície metálica do catodo; acionado o botão "play" (abaixo) você irá observar quando há ou não a ejeção dessa placada metálica - catodo;

4º) Repita a operação até conseguir que os elétrons consigam escapar com a menor frequência possível.

Vídeo tutorial para uso do Simulador Interativo Efeito Fotoelétrico Phet

Atenção: Esta simulação é em Java via CheerpJ são executadas em um navegador na maioria dos dispositivos. Necessário verificar seu computador ou notebook para realizar a simulação de forma efetiva. (obs.: celulares não são recomendados para execução da

simulação). Para celulares que usam sistema operacional ISO, há possibilidade realizar o download utilizando a loja App Store, porém não é uma versão gratuita.

4.2 Questões propostas

Antes de iniciarmos o minicurso, apresentamos aos estudantes uma breve ementa de nossa proposta, definindo também um caminho que seguimos para realização da proposta baseada nos *três momentos pedagógicos*, enfatizando também a participação de cada um deles no desenvolvimento da proposta quando das atividades assíncronas no Google Sala de Aula.

O questionário fora aplicado na finalização do minicurso, apresentando um grupo de questões sobre tema proposto. Dentre suas finalidades, destacamos a que visa verificar se a dinâmica conhecida como “os três momentos pedagógicos” utilizada na metodologia do minicurso sobre o tema Efeito Fotoelétrico oportunizou práticas dialógicas e problematizadoras.

Fora utilizado o recurso do Google Formulários para a construção do questionário. As perguntas que foram realizadas estão elencadas abaixo:

P1: O que acontece se alterarmos a frequência incidente sobre o metal? Existe uma energia mínima para o efeito acontecer? Por quê?

P2: Se alterar a intensidade da luz o fenômeno ainda irá ocorrer? Será que a velocidade dos elétrons é influenciada pela alteração na intensidade?

P3: Uma luz mais brilhante ejetará mais elétrons de uma superfície fotossensível do que uma luz mais fraca de mesma frequência?

P4: Uma luz de alta frequência ejetará um maior número de elétrons do que uma luz de baixa frequência?

Além dessas perguntas, o formulário possui também perguntas relacionadas à identificação dos participantes como: *nome completo, e-mail, formação, série, município/estado.*

Fig. 10 – Recorte do Google Formulário



Fonte: <https://forms.gle/dCVgm1tac31qebBi7>

REFERÊNCIAS

- DELIZOICOV, D. e ANGOTTI, J. A. **Física**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1992.
- DELIZOICOV, D. e ANGOTTI, J. A. **Metodologia do Ensino de Ciências**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2000.
- DELIZOICOV, D., ANGOTTI, J. e PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- EISEBERG, R. e RESNICK, R. **Física Quântica**. Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 1979.
- FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. 17ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1978
- GOOGLE. **Google Sala de Aula**. Disponível em: <<https://classroom.google.com/h/>>. Acesso em 19 out 2021.
- HOLZNER, S. **Física II para leigos**. Rio de Janeiro: Altas Books, 2012.
- KARAM, R. A. S.; CRUZ, S. M. S. C. de.; COIMBRA, D. **Relatividade no ensino médio**. Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 29. n. 1. p. 105-114. 2007.
- NETO, D. D. **Ensino de Física e a Concepção Freiriana da Educação**. Revista Brasileira de Ensino de Física.
- PAULO, I. J. C. de. **O texto didático de apoio como um produto educacional uma opção viável**. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/sobre-dissertacoes-e-produtos>. Acesso em 11 jul 2022.
- PhET Colorado. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/>. Acesso em 19 out 2021.
- SARAIVA-NEVES, M.; CABALLERO, C. e MOREIRA, M. M. **Repensando o Papel do Trabalho Experimental, na Aprendizagem de Física, em Sala de Aula: um estudo exploratório**. Investigações em Ensino de Ciências. v. 11. n. 3. dez. 2006. Instituto de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Brasil.
- Simulador Efeito Fotoelétrico. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric/credits>. Acesso em 19 out 2021.
- TEIXEIRA, O. P. B.; CINDRA, J. L.; MONTEIRO, M. A. A. e AMARANTE, A. R. S. Os Recursos Multimídia e o Ensino de Fenômenos Térmicos. XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física.
- VALADARES, E. de C. e MOREIRA, A. M. **Ensinando Física Moderna no Segundo Grau: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v. 15, n. 2: p. 121-135, ago. 1998. Disponível em: <<https://antigo.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6896/7584>>. Acesso em: 11 jul 2022.

APÊNDICES

Textos elaborados pelo autor vinculados à Sala de Aula Virtual do Google Sala de Aula:

- Efeito Fotoelétrico – texto I
- Efeito Fotoelétrico – texto II
- Efeito Fotoelétrico – texto III

Efeito Fotoelétrico

Como ocorre o fenômeno?

No início do século XX já se sabia que superfícies metálicas poderiam emitir elétrons quando expostas a uma radiação eletromagnética de frequência suficientemente alta, dependendo do material, tal como mostrado na Figura 1:

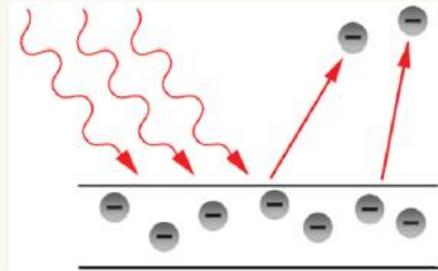


Figura 1: Representação do efeito fotoelétrico
Fonte: Adaptado de Wikimedia Commons

"Descoberta"

O fenômeno foi descoberto, em 1887, pelo físico alemão Heinrich Hertz (Figura 2), quando notou que a luz ultravioleta incidindo em um eletrodo facilitava a descarga produzida, e ficou conhecido como efeito fotoelétrico.



Figura 2: Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894)
Fonte: Mundo Educação/UOL

A explicação de Einstein

Entretanto, como já era observado desde a descoberta de Hertz, a explicação para o fenômeno não estava de acordo com a teoria ondulatória da luz, proposta pela Física Clássica.

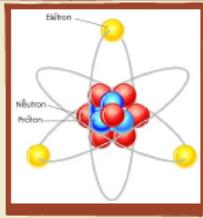
O curioso fenômeno, que não podia ser explicado pelo eletromagnetismo de Maxwell, seria solucionado no quarto grande trabalho de Einstein, em 1905. Utilizando a teoria de Planck, sugeriu que a energia chegava aos elétrons do metal em "pacotes" discretos e não continuamente, como proposto na visão ondulatória clássica.

A denominação **fóton** foi introduzida, em 1926, pelo físico norte-americano Gilbert Lewis (1875-1946).

Efeito Fotoelétrico – texto II

Efeito Fotoelétrico - a explicação de Einstein

Albert Einstein - aos 26 anos produziu cinco artigos e uma tese de doutorado - trabalhos que mudaram para sempre a Física. Tamanho foi seu feito que o ano de 1905 ficou conhecido como Ano Miraculoso (Annus Mirabilis)



elétron
nêutron
próton

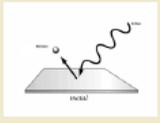
Elétrons que saltam

Naquele início de século, o chamado efeito fotoelétrico, no qual a luz (radiação eletromagnética) arranca elétrons de certos metais, ainda intrigava os físicos. Abaixo de certa frequência da luz incidente, por maior que fosse a intensidade luminosa, elétrons não conseguiam escapar do metal. Quando se aumentava a intensidade da radiação, esperava-se, como previa a teoria, que elétrons mais energéticos saltassem. Porém, notava-se apenas um aumento na quantidade de partículas ejetadas, todas dotadas de mesma energia. Já quando aumentava a frequência da luz incidente, indo da luz visível para o ultravioleta, os elétrons também se tornavam mais energéticos. A explicação para isso tudo escapava à física da época.

Partículas de luz

Tentativas teóricas já haviam sido feitas para solucionar a disparidade entre teoria e experimento. Mas foi o artigo "Sobre um ponto de vista heurístico relativo à produção e à transformação da luz", de 17 de março - portanto, o primeiro concluído naquele ano - que resolveu o problema. Nele, Einstein adotou uma hipótese aparentemente simples: a luz é formada por partículas, os quanta de luz, que passaram, em 1926, a serem chamados fótons.





E como seria, então?

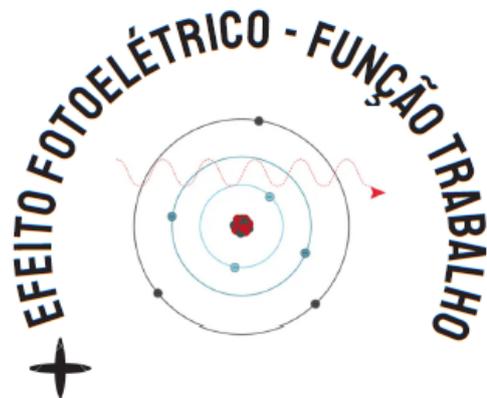
A energia da radiação vem, portanto, em pacotes (fótons). Com isso, o efeito fotoelétrico ganhou uma explicação que podia ser testada experimentalmente: aumentar a intensidade da luz significa apenas aumentar o número de fótons de mesma energia que incidem sobre o metal. Aumentar a frequência da luz torna os fótons mais energéticos, pois sua energia, pela proposta de Einstein, é proporcional à frequência - e isso faz com que os elétrons ganhem mais energia nas colisões com os fótons que os ejetam.

Ideia mais revolucionária

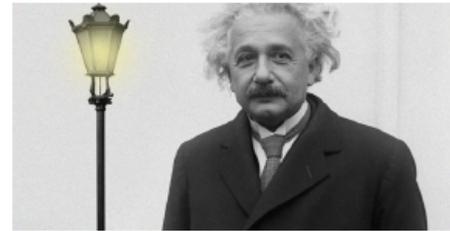
A ideia de que a luz tem natureza corpuscular foi classificada por Einstein como a "mais revolucionária" de sua vida. Em 1915, o físico norte-americano Robert Millikan (1868-1953), ao contrário do que pretendia inicialmente, chegou a resultados que confirmavam a previsão de Einstein sobre o efeito fotoelétrico. Foi principalmente por essa previsão quantitativamente correta que Einstein ganhou o Nobel de 1921 - o prêmio não cita "quanta de luz", cuja realidade era ainda controversa. Porém, as dúvidas começaram a serem dizimadas em 1923 com a descoberta do efeito Compton - no qual a luz, ao se chocar contra um elétron, comporta-se como um corpúsculo, perdendo energia - e com os experimentos conduzidos, dois anos depois, pelos físicos alemães Hans Geiger (1882-1945) e Walther Bothe (1891-1957) e também com os resultados dos norte-americanos Arthur Compton (1892-1962) e Alfred Simon (1872-1961).



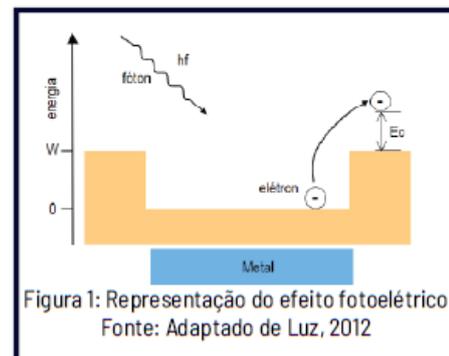
Efeito Fotoelétrico – texto III



Para entendermos o problema do efeito fotoelétrico, consideraremos que os elétrons, apesar de poderem se movimentar livremente no interior do metal, estão presos ao metal como se estivesse dentro de um poço de potencial gravitacional, como vemos na Figura 1:



Albert Einstein (1879 - 1955)
Fonte: Revista Super Interessante



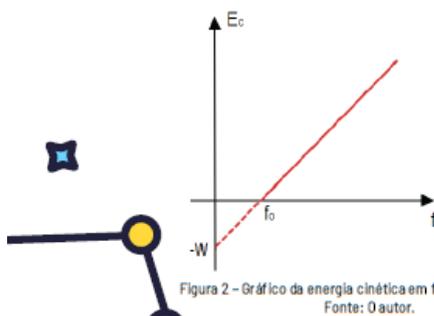
Na superfície da placa metálica, a atração já não é tão forte e, para arrancar um elétron do metal, precisa receber uma quantidade mínima de energia, que chamaremos de função trabalho W do material dessa placa. Neste caso:

- Se a energia do fóton, dada por $E = h \cdot f$, for maior que a função trabalho W do metal, o elétron pode ser arrancado, e sair com uma energia cinética E_c :

$$E_c = h \cdot f - W$$

- Caso contrário, se a energia do fóton for menor que a função trabalho W do metal, o elétron não pode ser arrancado.

Na Figura 2 temos a representação da energia cinética em função da frequência da luz. Perceba que o efeito fotoelétrico precisa de uma quantidade mínima de energia, obtida para valores de frequência iguais ou maiores que f_0 .



Vale destacar que um aumento na intensidade de luz incidente na placa aumenta a quantidade de elétrons arrancados.

Porém, se a luz incidente não possuir frequência mínima necessária, mesmo com alta intensidade de luz, o efeito fotoelétrico não será verificado.

Apesar de ser conhecido mundialmente por seu trabalho sobre a teoria da relatividade, Einstein recebeu o Nobel de Física em 1922, em especial, por seus estudos da lei do efeito fotoelétrico.

ANEXOS

Vídeos disponibilizados na sala de aula virtual

Unidade I – Efeito Fotoelétrico – histórico. Disponível em: <https://youtu.be/UdrSl3-hjLs>

Unidade II – Tema 01 – Luz / Experimentos – Efeito Fotoelétrico. Disponível em: <https://youtu.be/VVka6Mp5vyA>

Unidade III – Efeito Fotoelétrico II – Física Moderna #05. Disponível em: <https://youtu.be/Le7wq8YcnuQ>

Unidade IV –

a) Efeito Fotoelétrico – Brasil Escola. Disponível em: https://youtu.be/9PvZ8GYuz_U

b) Efeito Fotoelétrico - Vídeo tutorial sobre o simulador interativo PhET Colorado Efeito Fotoelétrico. Disponível em: <https://youtu.be/XFMCn9F0Dr0>

Biblioteca

a) Photoelectric effect. Disponível em:

<https://mediaplayer.pearsoncmg.com/assets/6QSbx0Ry8smqeuZ3S04HRHZksYt040YW>

b) A luz é uma onda ou partícula? O que isso tem a ver com a Física Quântica? Disponível em: <https://youtu.be/oNB7dUo-t6I>

c) Dualidade onda-partícula. Disponível em: <https://youtu.be/2vRyLAPxyEs>

d) Texto complementar: Ensinando Física Moderna no Segundo Grau: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. Eduardo de Campos Valadares e Alysson Magalhães Moreira.