



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS-ICE
INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS - IFAM
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 04

SOETÂNIA SANTOS DE OLIVEIRA

**MODELAGEM E JOGOS AVALIATIVOS COMO FERRAMENTAS PARA O
APRENDIZADO DO EFEITO FOTOELÉTRICO EM SITUAÇÕES DO COTIDIANO
DOS ALUNOS**

MANAUS - AM

2024

Soetânia Santos de Oliveira

Modelagem e jogos avaliativos como ferramentas para o aprendizado do efeito fotoelétrico em situações do cotidiano dos alunos

Dissertação apresentada ao Polo 04 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Amazonas e do Instituto Federal do Amazonas como requisito à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador: Dr. Antonio Xavier Gil

Manaus - AM
2024

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

O48m Oliveira, Soetânia Santos de.
Modelagem e jogos avaliativos como ferramentas para o aprendizado do efeito fotoelétrico em situações do cotidiano dos alunos / Soetânia Santos de Oliveira. – Manaus, 2024.
119 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2024.
Orientador: Prof. Dr. Antonio Xavier Gil.

1. Ensino de física. 2. Efeito fotoelétrico. 3. Aprendizagem significativa. 4. Jogos avaliativos. I. Gil, Antonio Xavier. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 530.07



Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo 4

Ata da 63ª Defesa de Dissertação

Aos nove dias do mês de março, do ano de dois mil e vinte e quatro, às 09h00, por webconferência, ocorreu a Defesa da Dissertação da mestrandia **Soetânia Santos de Oliveira** intitulada: **“MODELAGEM E JOGOS AVALIATIVOS COMO FERRAMENTAS PARA O APRENDIZADO DO EFEITO FOTOELÉTRICO EM SITUAÇÕES DO COTIDIANO DOS ALUNOS”**, do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 4 das Instituições de Ensino Superior: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) e Universidade Federal do Amazonas (UFAM). A Banca Examinadora foi composta pelo Prof. Dr. Antônio Xavier Gil (UFAM), Profa. Dra. Caroline Mendonça Araújo Paixão (CNAM) e Prof. Dr. Octávio Daniel Rodriguez Salmon (UFAM). O Professor Doutor Antônio Xavier Gil, Presidente, deu início aos trabalhos, convidando os membros a comporem a Banca Examinadora. O Presidente fez a leitura dos procedimentos para defesa de dissertação, e convocou a mestrandia para fazer a exposição de seu trabalho que, em seguida, foi arguido pelos membros da Banca Examinadora. Após a arguição, a Banca Examinadora reuniu-se privativamente e decidiu pela aprovação do trabalho. Ao final, os presentes foram chamados para tomarem conhecimento do resultado da avaliação, o Presidente da banca comunicou a interessada que feitas às devidas correções na dissertação, conforme sugestão da banca Examinadora, o discente é obrigado a entregar, na secretaria do polo 4, até sessenta (60) dias após a data da defesa, duas (02) vias impressa e encadernada no formato capa dura, e uma via(01) digital em formato PDF, para os trâmites necessários à concessão do diploma, conforme Resolução Nº.47 – CONSUP/IFAM de 13 de julho de 2015. Nada mais havendo a tratar, foi lavrado a presente Ata que, após lida e aprovada, será assinada pelos presentes.

Prof. Dr. Antônio Xavier Gil
Presidente - UFAM

Documento assinado digitalmente

CAROLINE MENDONCA ARAUJO PAIXAO
Data: 11/03/2024 22:33:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Caroline Mendonça Araújo Paixão Membro Externo - CNAM

Documento assinado digitalmente

OCTAVIO DANIEL RODRIGUEZ SALMON
Data: 14/03/2024 18:31:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Octávio Daniel Rodriguez Salmon Membro Externo - UFAM

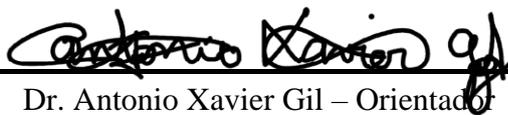
Soetânia Santos de Oliveira

Modelagem e jogos avaliativos como ferramentas para o aprendizado do efeito fotoelétrico em situações do cotidiano dos alunos

Dissertação apresentada ao Polo 04 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Amazonas e do Instituto Federal do Amazonas como requisito à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física.

Aprovada em 09 de março de 2024.

BANCA EXAMINADORA



Dr. Antonio Xavier Gil – Orientador
Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente



CAROLINE MENDONÇA ARAÚJO PAIXÃO

Data: 28/03/2024 15:28:16-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Caroline Mendonça Araújo Paixão – Examinador(a) 1
Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM)

Documento assinado digitalmente



OCTAVIO DANIEL RODRIGUEZ SALMON

Data: 27/03/2024 18:54:28-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Octávio Daniel Rodrigues Salmon – Examinador(a) 2
Universidade Federal do Amazonas

*À minha família, pelo apoio
incondicional em todos os
momentos, dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela alegria de viver e continuar aprendendo constantemente.

Aos meus pais, Maria de Lourdes S. Oliveira e Francisco Carlos de Oliveira, por terem apoiado todas as decisões que tomei e por estarem sempre ao meu lado.

Aos meus irmãos, Suetônio e Suênio, pelo incentivo e por se fazerem sempre presentes.

Ao meu orientador, Dr. Antonio Xavier Gil, pelas orientações valiosas.

Aos amigos e familiares que torceram pelo meu sucesso e compreenderam minha ausência em alguns momentos.

Aos amigos que fiz ao longo do curso de Mestrado, por compartilharem tantos momentos de aprendizagem, angústia, alegria e boas risadas, em especial a José Carlos, José Victor e Tiago.

A E.E. Ângelo Ramazzotti, em especial a gestora Ivana Borges, aos colegas e a turma do 2º 3 Matutino 2023, por acolherem e contribuírem com a realização do meu projeto.

A Universidade Federal do Amazonas (UFAM), ao Instituto Federal do Amazonas (IFAM) e ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, pela oportunidade de realizar este curso.

Aos professores do MNPEF polo 04, cujo empenho em transmitir conhecimento de forma clara facilitou bastante meu aprendizado ao longo do curso.

Aos membros da banca examinadora, pela colaboração na melhoria e engrandecimento deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro - código de financiamento 001 - e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão de bolsa.

Enfim, muitas foram as pessoas que me ajudaram, direta e indiretamente, na realização deste trabalho, citar todas não seria possível, porém deixo aqui registrada a minha profunda gratidão a todas elas.

*“Você fará melhor se fizer com que
outras pessoas queiram aprender.”*

Katherine Johnson.

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo principal analisar de que maneira a utilização de modelagem e jogos podem contribuir na aprendizagem do efeito fotoelétrico no ensino médio em situações do cotidiano. E, traz como contribuição científica a proposta de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa que visa tornar as aulas de física mais dinâmicas e atrativas aos alunos. A pesquisa está fundamentada na aprendizagem significativa de David Ausubel, uma vez que para seu efetivo desenvolvimento foram cumpridas etapas que envolvem a utilização do conhecimento prévio dos alunos para consolidação do conhecimento científico e de material didático potencialmente significativo. A sequência didática foi desenvolvida ao longo de quatro aulas, nas quais o conteúdo foi trabalhado com a realização de simulações utilizando a plataforma PhET, a exibição de vídeo sobre o EFE, e a utilização de jogos educativos. A coleta de dados foi realizada em dois momentos, na primeira e na última aula, com aplicação do jogo avaliativo e, o tratamento dos dados foi realizado através da análise comparativa dos resultados iniciais e finais obtidos. Tal análise revelou que houve aumento no desempenho dos alunos após aplicação da sequência didática, o que pode ser interpretado como uma efetividade ou resultado de uma aprendizagem significativa. Além disso, aproximadamente 90% dos alunos aprovaram a metodologia utilizada. Desta maneira, defende-se que a UEPS aplicada é efetiva para lecionar o Efeito Fotoelétrico e suas aplicações no novo ensino médio, e com isso, espera-se contribuir para melhorar o processo de ensino-aprendizagem de Física.

Palavras-chave: efeito fotoelétrico, ensino de física, jogos avaliativos, modelagem, aprendizagem significativa.

ABSTRACT

The main objective of this research is to analyze how the use of modeling and games can contribute to the learning of the photoelectric effect in high school in everyday situations. It brings as a scientific contribution a proposal of a Potentially Significant Teaching Unit that aims to make physics classes more dynamic and attractive to students. The research is based on David Ausubel's significant learning, since for its effective development steps were fulfilled that involve the use of students' previous knowledge to consolidate scientific knowledge and potentially significant didactic material. The didactic sequence was developed over four classes, in which the content was worked with the realization of simulations using the PhET platform, the exhibition of a video about EFE, and the use of educational games. Data collection was carried out in two moments, in the first and last classes, with the application of evaluative game, and the data treatment was carried out through the comparative analysis of the initial and final results obtained. This analysis revealed that there was an increase in the students' performance after applying the didactic sequence, which can be interpreted as an effectiveness or result of significant learning. In addition, approximately 90% of students approved the methodology used. In this way, it is argued that the applied PSTU is effective to teach the Photoelectric Effect and its applications in the new high school, and as such, it is expected to contribute to improve the teaching-learning process of Physics.

Keywords: photoelectric effect, physics teaching, evaluative games, modeling, meaningful learning.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema do Efeito fotoelétrico.	18
Figura 2 - Montagem experimental do Efeito Fotoelétrico.	19
Figura 3 - Distribuição da frequência (ν) das ondas eletromagnéticas.....	21
Figura 4 - Placas de um mesmo metal (mesma função trabalho) iluminadas por fontes monocromáticas de frequências diferentes.....	22
Figura 5 - Dispositivo LDR.....	24
Figura 6 - Esquema do princípio de funcionamento do sistema de iluminação pública: arranjo do circuito durante (a) o dia e (b) durante a noite.	25
Figura 7 - Esquema de funcionamento da porta de elevadores.....	25
Figura 8 - Esquema de funcionamento de portas automáticas.	26
Figura 9 - Dependência de conhecimentos.....	36
Figura 10 - Potencialidades do experimento investigativo no ensino de física.....	39
Figura 11 - Tela do Simulador do Efeito Fotoelétrico do PhET.	40
Figura 12 - Esboço do Quiz elaborado: (a) tela inicial, (b) tela exibindo o progresso do aluno no jogo, (c) modelo de questão a ser respondida.....	41
Figura 13 - Esboço do jogo avaliativo elaborado: (a) tela inicial, (b) modelo de questão a ser respondida, (c) tela exibindo a nota do aluno ao finalizar o jogo.....	42
Figura 14 - Sequência didática sugerida.....	45
Figura 15 - Cartão resposta para coleta do desempenho (a) inicial e (b) final dos alunos.	46
Figura 16 - Aula 01: (a) e (b) coleta do desempenho inicial, e (c) e (d) atividade com estratégia de experimento investigativo	48
Figura 17 - Explicação dada pelos alunos sobre o fenômeno visualizado na atividade com estratégia de experimento investigativo.	49
Figura 18 - Aula 02: (a) instruções para o uso da plataforma PhET, (b), (c) e (d) realização das simulações pelos alunos.	51
Figura 19 - Resumo produzido pelos alunos sobre os fatores que interferem no EFE ao final da atividade de simulação com o PhET.....	53
Figura 20 - Aula 03: (a) aula expositiva sobre aplicações do EFE no cotidiano, (b) vídeo explicativo sobre o funcionamento dos relés fotovoltaicos instalados nos postes de iluminação pública.	55
Figura 21 - Aula 03: (a) arranjo experimental e (b) experimento demonstrativo.	55

Figura 22 - Aula 03: (a) explicação sobre as regras do Quiz, (b) e (c) alunos jogando com Quiz, (d) professora repassando com os alunos as alternativas corretas do Quiz.	56
Figura 23 - Aula 04: Coleta do desempenho final dos alunos.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CdS	Sulfeto de Cádmio
EFE	Efeito Fotoelétrico
EM	Ensino Médio
FMC	Física Moderna e Contemporânea
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
LDR	Ligth Dependent Resistor
NEM	Novo Ensino Médio
Pisa	Programa Internacional de Avaliação de Estudantes
PhET	Physics Education Technology
TICs	Tecnologias da Informação e Comunicação
UEPS	Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Efeito Fotoelétrico	18
2.1.1 Aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano	23
2.2 Revisão de Literatura.....	26
2.3 Sobre modelagem computacional e jogos educativos	31
3 METODOLOGIA.....	35
3.1 Metodologia de ensino	35
3.2 Metodologia do trabalho.....	37
3.2.1 Ambiente e sujeitos da pesquisa.....	37
3.2.2 Experimento Investigativo.....	38
3.2.3 <i>Software</i> educacional.....	39
3.2.4 Jogo Avaliativo.....	40
3.2.5 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)	42
3.2.5.1 Esquema da sequência didática	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
4.1 Descrição da sequência didática realizada e das observações feitas ao longo das aulas	46
4.2 Análise do desempenho inicial e final dos alunos.....	58
4.3 Análise das percepções dos alunos quanto a sequência didática realizada	62
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
REFERÊNCIAS	68
APÊNDICES	72
1. Roteiro experimental – PhET EFE	72
2. Sequência Didática	74
3. Produto Educacional.....	77

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico ocorrido ao longo dos anos proporcionou a sociedade contemporânea inúmeros benefícios, que vão desde a utilização de transportes e sensores óticos, passando pela telefonia móvel e internet, até a realização de cirurgias à longa distância. Todo esse desenvolvimento interfere diretamente no modo como nós vivemos, pensamos e agimos.

O fato da ciência e da tecnologia estarem intimamente interligadas, e cujas aplicabilidades se fazem cada vez mais presentes em nosso cotidiano, tem estimulado vários professores a tentar popularizar o conhecimento científico, seja através de redes sociais, onde eles explicam os fenômenos científicos associados a tecnologia e, conseqüentemente, à melhoria de vida dos indivíduos e da sociedade como um todo, seja através da utilização de recursos didáticos ou tecnológicos em suas salas de aulas.

Diariamente fazemos uso de tecnologias desenvolvidas graças aos conhecimentos decorrentes de estudos realizados na área da Física Moderna e Contemporânea (FMC), porém poucos fazem essa associação. Daí a importância de se abordar conteúdos de FMC ainda no EM. Nesse contexto, cabe ao professor trabalhar o tema contextualizando-o de modo que o aluno possa relacioná-lo com aplicações usuais do seu cotidiano.

Apesar de ser do início do século passado, de acordo com Silva (2015, p.8), a FMC ainda é pouco difundida nas aulas de Física do EM. A reforma do Novo Ensino Médio (NEM), ao tornar obrigatória a inserção de conteúdos de FMC na grade curricular, buscou mudar essa realidade. Porém, vários obstáculos precisarão ser contornados para que isso ocorra de forma eficiente.

De maneira geral, lecionar física, no Ensino Médio (EM) em particular, é desafiador por vários motivos. Um deles é a necessidade de despertar e manter a curiosidade do aluno durante a aula. Mas como fazer isso diante da falta de recursos e da elevada quantidade de alunos por sala? Realidade enfrentada na maioria das escolas públicas brasileiras. Há também o fato da reforma do NEM ter reduzido consideravelmente o número de aulas a serem ministradas semanalmente. Somado a tudo isso, tem-se o pouco tempo disponibilizado para preparação de aulas, tempo este que é utilizado também para o cumprimento de trabalhos pedagógicos burocráticos, em função da elevada carga horária dos professores em sala.

Outro grande desafio é quebrar a imagem que muitos alunos têm que a Física é uma disciplina em que eles estudarão um monte de fórmulas e as usarão apenas para passar nas provas. De acordo com Moreira (2021, p.2), no ensino da Física é mais importante dar atenção aos conceitos físicos do que às fórmulas. Mas, as fórmulas contêm conceitos. E, não faz sentido

decorar fórmulas sem entender os conceitos que as constituem. Se o Ensino de Física der mais atenção aos conceitos físicos do que ao formalismo matemático estará contribuindo para uma maior compreensão da Física e para o desenvolvimento cognitivo dos estudantes.

Nessa conjuntura, o ensino da FMC torna-se ainda mais desafiador, uma vez que os conceitos abordados podem ser complexos e abstratos. Assim, mesmo diante das dificuldades enfrentadas, é preciso ter em mente a importância de transmitir para o aluno conhecimentos de FMC. Segundo Valadares e Moreira (1998, p. 121), é imprescindível que o aluno do ensino médio conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e pode definir seu futuro profissional.

A importância da inserção do conteúdo de FMC no EM é de grande relevância, uma vez que devemos formar cidadãos que estejam capacitados para agir na sociedade, e sua formação deve ser integral, para que ele possa compreender e intervir na realidade a qual está imerso. Nesse sentido, ao propor um conteúdo que se relacione com o meio em que o aluno está inserido, contribui-se para sua formação intelectual e funcional na sociedade (TERRAZZAN, 1992; PENA, 2006; apud LIMA, 2018, p. 1).

Diante do exposto, propõe-se que os conteúdos de FMC no NEM sejam abordados de forma contextualizada, para que o aluno consiga fazer as relações entre a teoria e a sua aplicabilidade prática, o que estimulará o seu interesse e tornará a sua aprendizagem mais concreta. Assim, dentre os conteúdos estudados em FMC, optou-se por trabalhar o efeito fotoelétrico, uma vez que ele encontra várias aplicações tecnológicas, que estão presentes no dia a dia dos alunos. Além disso, a escolha do tema justifica-se também pelo motivo do fenômeno fazer parte dos conteúdos que devem ser abordados em Física na 2ª série. Nesse contexto, a proposta apresentada fundamenta-se na teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel, e tem a intenção de facilitar a abordagem e a compreensão desse fenômeno por meio da produção de material potencialmente significativo.

No cenário atual a utilização de jogos educativos tem se mostrado uma ferramenta didática bastante promissora. Os jogos educativos surgem como uma opção para motivar e prender a atenção dos alunos durante as aulas e é cada vez maior o número de professores que buscam utilizar esse tipo de ferramenta, a fim de auxiliar e melhorar a compreensão dos alunos sobre determinados assuntos. Então, uma das preocupações dessa pesquisa é a produção de jogos educacionais sobre o efeito fotoelétrico, que conciliem a aprendizagem à diversão, alegria, felicidade e a um momento de aprendizagem mais dinâmico.

Outra ferramenta muito utilizada pelos professores para o ensino de fenômenos físicos, especialmente em escolas que não dispõem de laboratórios de Ciências, são os experimentos

virtuais. Estes, quando bem orientados, podem ser instrumentos muito úteis para o desenvolvimento de conceitos físicos, principalmente em áreas em que a Física Experimental encontra sérios limites para atuação (CAVALCANTE *et al*, 2002, p. 28), como o caso do fenômeno que se propõe trabalhar nessa pesquisa, o efeito fotoelétrico. Assim, além do jogo educativo, será utilizada a plataforma PhET para modelagem do efeito fotoelétrico.

Como base nas considerações apresentadas, o objetivo geral dessa pesquisa é analisar de que maneira a utilização da modelagem e de jogos educativos podem contribuir para o aprendizado do efeito fotoelétrico em situações do cotidiano.

Para se alcançar o objetivo geral, foram traçados alguns objetivos específicos que nortearão o desenvolvimento das atividades, a saber:

- 1) Identificar pesquisas existentes sobre a temática do efeito fotoelétrico e suas aplicações.
- 2) Elaborar uma metodologia com modelagem e jogos avaliativos para o aprendizado do efeito fotoelétrico em situações do cotidiano.
- 3) Elaborar um produto educacional com modelagem e jogos avaliativos para o ensino-aprendizagem da aplicação do efeito fotoelétrico em situações do cotidiano.
- 4) Aplicar a metodologia em sala de aula.
- 5) Analisar os dados coletados para se fazer recomendações.

O texto a seguir está estruturado de modo que no capítulo 2 tem-se a fundamentação teórica, na qual são apresentados conceitos importantes sobre o efeito fotoelétrico, além de uma revisão de literatura sobre os estudos mais relevantes realizados nas últimas décadas acerca da abordagem do efeito fotoelétrico no ensino médio. A metodologia é apresentada no capítulo 3, onde são relatadas tanto a metodologia de ensino como a de trabalho. No capítulo 4 estão as discussões sobre os resultados obtidos. E, por fim, no capítulo 5 estão as considerações finais.

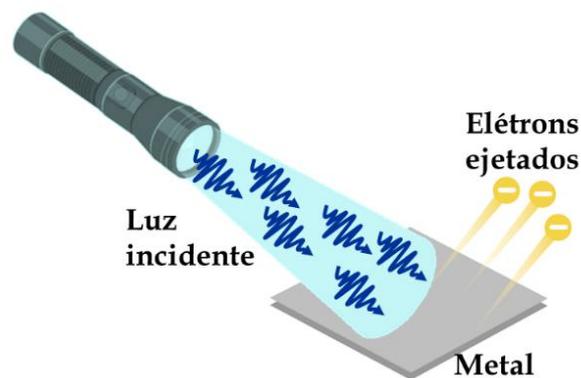
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados esclarecimentos acerca do tema a ser trabalhado, assim como um breve resumo de obras relevantes que tratam sobre o ensino do efeito fotoelétrico a nível de ensino médio.

2.1 Efeito Fotoelétrico

O fenômeno do Efeito Fotoelétrico (EFE), ilustrado na Figura 1, consiste na liberação de elétrons pela superfície de um metal, após absorção da energia proveniente da radiação eletromagnética incidente sobre ele, de tal modo que a energia da radiação é parcialmente transformada em energia cinética dos elétrons expelidos (CARUSO e OGURI, 2016, p. 320).

Figura 1 - Esquema do Efeito fotoelétrico.

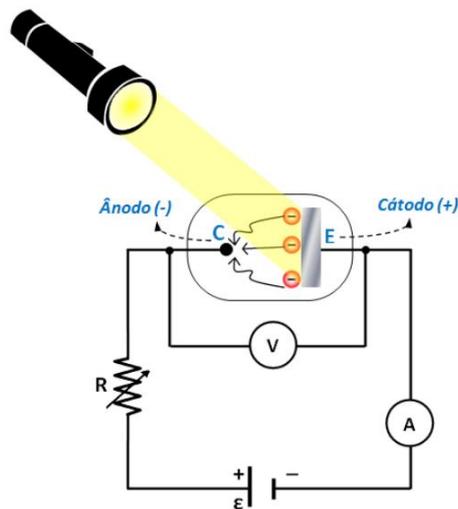


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Entre os anos de 1886 e 1887, o físico Heinrich Hertz confirmou experimentalmente a existência das ondas eletromagnéticas (oscilações formadas por campos elétricos e magnéticos variáveis, que se propagam tanto no vácuo quanto em meios materiais) e, por conseguinte, 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 (COTINGUIBA, 2022, p. 38). Por este motivo seu trabalho é considerado por muitos como sendo a primeira verificação experimental para o que atualmente denominamos efeito fotoelétrico. Porém, segundo Soares (2016, p. 20), embora Hertz tenha observado experimentalmente o fenômeno e tenha fornecido grandes contribuições para seu estudo, ele não se interessou pelo assunto ao ponto de explicá-lo, pois este não era seu intuito.

Após as observações de Hertz, o EFE passou a ser estudado por vários cientistas, utilizando aparatos experimentais projetados especialmente para isso. Na Figura 2 tem-se o esquema da montagem do experimento do EFE, onde (ϵ) é a força eletromotriz - *fem*, (A) é o amperímetro e (R) a resistência. Numa experiência típica, os eletrodos ficam dentro de uma ampola de quartzo evacuada, transparente à luz ultravioleta, estabelecendo-se entre eles uma diferença de potencial (V) e iluminando-se o catodo com luz de determinada frequência (ν) e intensidade (I_0), passando-se então a aferir a corrente elétrica (i) produzida com a utilização de um amperímetro (NUSSENZVEIG, 2002, p. 250).

Figura 2 - Montagem experimental do Efeito Fotoelétrico.



Fonte: JESUS (2011, p. 40).

Em 1902, Philipp Eduard Anton von Lenard, discípulo de Hertz, publica seu trabalho sobre o efeito fotoelétrico, no qual apresenta as leis do efeito fotoelétrico, oriundas das experiências que haviam sido realizadas, concluindo que a velocidade máxima com que os elétrons são ejetados por luz ultravioleta independe da intensidade luminosa (SOARES, 2016, p. 23), ou seja, independe da potência de radiação luminosa emitida pela fonte em uma certa direção (NISKIER e MACINTYRE, 2000, apud OSS, 2019, p.20).

De acordo com Klassen, (2009b, apud SOARES, 2016, p. 24), Lenard começou a investigar a natureza do efeito fotoelétrico ainda mais profundamente e descobriu que mesmo que os elétrons fossem emitidos, pois eram afetados pela intensidade da luz, nada acontecia com a energia cinética. Ele então constatou que a energia dos elétrons dependia do comprimento

de onda da luz incidente. Assim, a luz que possuísse comprimento de onda mais curto ejetava elétrons mais rapidamente.

De acordo com Caruso e Oguri (2016, p. 320), dentre os principais resultados observados por Lenard destacam-se:

- O fato da emissão de elétrons não depender da intensidade da luz incidente;
- Havendo emissão, e mantendo-se constantes a frequência e o potencial retardador, a corrente é proporcional à intensidade da luz;
- A ocorrência da emissão depende da frequência da luz;
- Para cada metal há um limiar de frequência, abaixo do qual não há emissão;
- Para uma determinada frequência, o potencial de corte independe da intensidade da luz;
- A energia cinética dos elétrons e o potencial de corte crescem com a frequência da luz.

Os trabalhos de Lenard de 1902 e 1906 são considerados grandes marcos para a evolução da Física, por contribuírem para os estudos acerca do efeito fotoelétrico (SOARES, 2016, p.24).

Em termos históricos o EFE tem sua raiz na ideia da quantização da energia proposta por Planck em 1900 para explicar o espectro de radiação de corpo negro (denominando de catástrofe do ultravioleta) (GOMES, 2011, p.24). Em 1905, Einstein explica os resultados de Lenard admitindo que a luz é quantizada. Partindo dos seus estudos sobre a constituição atômico-molecular da matéria ele propôs um modelo em que a luz se comportaria como pequenos pacotes de energia, os chamados quanta de luz (SILVA, 2018, p. 8). Assim, a luz de frequência (ν), em sua interação com a matéria, deveria ser constituída por quanta de luz de energia (ϵ) dada por:

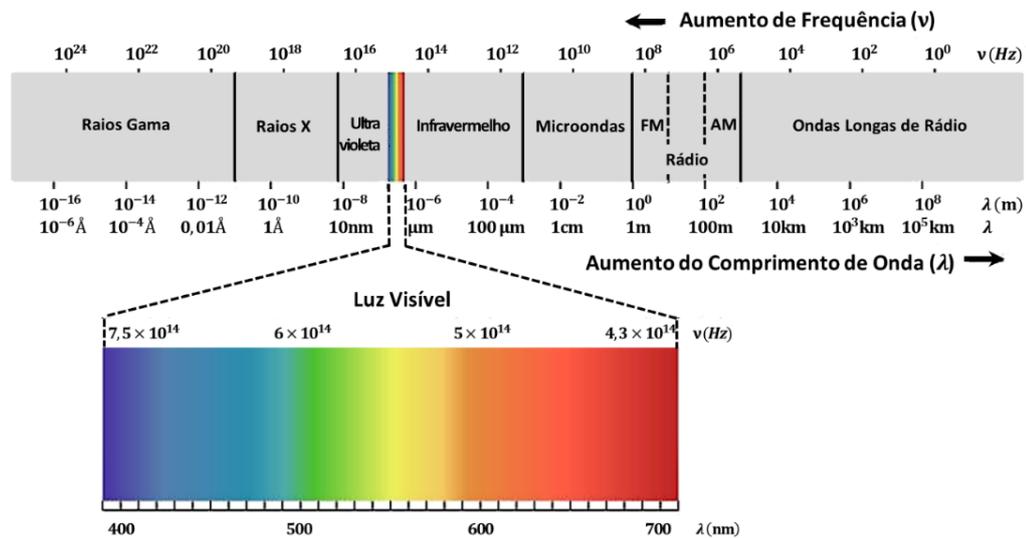
$$\epsilon = h\nu \quad \text{Eq. 1}$$

em que h é uma constante de proporcionalidade denominada constante de Planck, cujo valor é $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s.

A Figura 3 ilustra a distribuições de frequências das ondas eletromagnéticas. Nesta Figura é possível também perceber a relação inversa que existe entre o comprimento de onda (λ) e a frequência (ν). Esta relação inversa entre o comprimento de onda e a frequência é confirmada matematicamente por meio da equação fundamental das ondas ($v = \lambda \cdot \nu$), a partir

da qual verifica-se que quanto maior for o comprimento de onda menor será a frequência e vice-versa ($\lambda = v/\nu$).

Figura 3 - Distribuição da frequência (ν) das ondas eletromagnéticas



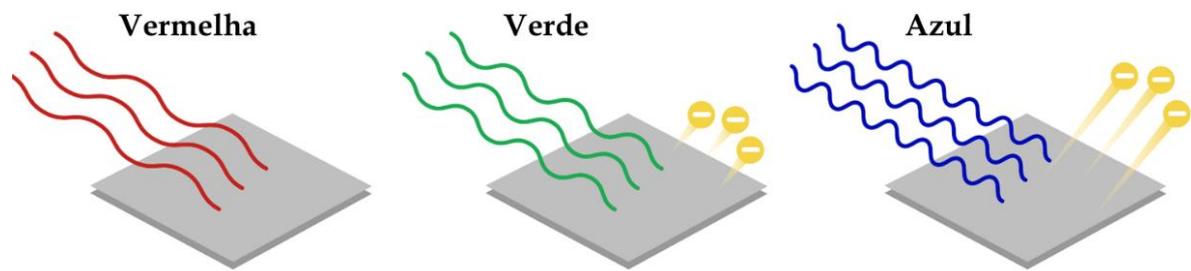
Fonte: <http://dan-scientia.blogspot.com/2010/03/relacao-da-frequencia-com-o-comprimento.html>

Segundo Einstein, ao interagir com o elétron do metal o fóton transmite-lhe toda a sua energia. Porém, para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada função trabalho (ϕ). Assim, a luz com comprimento de onda suficientemente pequeno incidindo em um determinado metal pode provocar a emissão de elétrons desse metal (Figura 4), o que caracteriza o EFE (JESUS, 2011, p. 39). Os elétrons que escapam do metal emergem com uma energia cinética máxima ($K_{m\acute{a}x}$), dada por (CARUSO e OGURI, 2016, p. 320):

$$K_{m\acute{a}x} = h\nu - \phi \quad \text{Eq. 2}$$

Analisando a equação 2, percebe-se que a energia cinética máxima não depende da intensidade da luz e sim de sua frequência, que se for maior que um valor específico de cada material, chamado frequência de corte (ν_0), poderá emitir um fóton (JESUS, 2011, p. 41).

Figura 4 - Placas de um mesmo metal (mesma função trabalho) iluminadas por fontes monocromáticas de frequências diferentes.



Fonte: Adaptado de: <https://pt.khanacademy.org/science/physics/quantumphysics/photons/a/photo-electric-effect>.

A equação anterior (Eq. 2) é compatível com o fato de que, ao se aumentar a intensidade da luz incidente, aumentando o número de fótons incidentes, aumenta-se também o número de elétrons emitidos e, portanto, a corrente, mas não a energia cinética máxima que cada elétron pode adquirir. Sendo assim, o potencial de corte (V), necessário para deter o fluxo de elétrons, é determinado pela condição de que a energia potencial elétrica (eV) deva ser igual à energia cinética máxima do elétron ejetado, ou seja (CARUSO e OGURI, 2016, p. 321),

$$eV = h\nu - \phi \quad \text{Eq. 3}$$

Segundo Jammer (1966, p. 35), as primeiras comprovações para o efeito fotoelétrico foram realizadas por A.L. Hughes no ano de 1912 e, posteriormente, por O.W. Richardson e K.T. Compton. Porém, as equações de Einstein só foram validadas, tendo sua confirmação exata, com os trabalhos por Millikan, desenvolvidos entre os anos de 1914 e 1916 (KUHN, 1978, p. 222). Millikan utilizou essa expressão para determinar a constante de Planck (h) em 1914, após uma sucessão de medidas.

Vale salientar que a comunidade científica levou mais de dez anos para reconhecer a validade do trabalho de Einstein e a necessidade de introduzir rupturas nas teorias clássicas (GUTMANN e OLIVEIRA, 2002, p. 3). Em 1921 Einstein recebeu o Prêmio Nobel de Física devido as suas explicações sobre o efeito fotoelétrico.

Essas informações podem ser compartilhadas com alunos do ensino médio, buscando-se fazer com que eles compreendam a importância que tais descobertas tiveram no processo de desenvolvimento tecnológico, vivenciado pela nossa sociedade.

2.1.1 Aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano

Apesar das polêmicas teóricas suscitada pelas explicações do efeito fotoelétrico, a indústria eletrônica utilizou o fenômeno para desenvolver uma série de componentes sensíveis à luz, os elementos fotossensíveis, baseados em dois processos distintos: emissão fotoelétrica e quebra de ligações covalentes em semicondutores devido à ação dos fótons. Dentre os componentes eletrônicos criados estão válvulas fotomultiplicadoras, válvulas captadoras de imagem e células fotoelétricas (CARUSO e OGURI, 2016, p. 321).

O entendimento sobre o EFE tornou possível sua aplicação em nosso cotidiano, trazendo melhorias e avanços significativos para a sociedade como um todo. Atualmente, existem vários objetos que utilizam como tecnologia o efeito fotoelétrico, como por exemplo, sistemas de alarmes, sistema de iluminação, portas automáticas, painéis solares, TV de LCD (*Liquid Crystal Display*) e Plasma, aparelhos de controle de contagem, máquinas industriais, sensores etc. (SILVA, 2018, p. 12).

Pode-se distinguir o EFE em dois tipos:

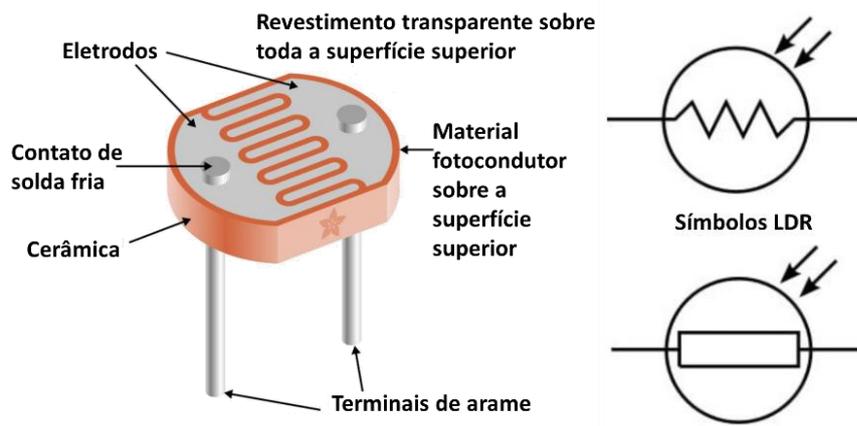
- O EFE externo, ou seja, o EFE propriamente dito, que consiste na emissão de elétrons pela matéria sob a ação da luz; e
- O EFE interno, próprio dos semicondutores¹, que consiste na transformação de energia elétrica, de forma direta, em energia luminosa, sendo este bastante usado nas resistências fotoelétricas.

Graças ao EFE tornou-se possível o cinema falado, assim como a transmissão de imagens animadas (televisão). De acordo com Sousa Jr (2017, p. 2), aparelhos cujos funcionamentos se assentam no aproveitamento do EFE controlam o tamanho das peças melhor do que pode fazer qualquer operário, permitem acender e desligar automaticamente a iluminação de ruas, dos faróis etc. Tudo isso se tornou possível devido à invenção de aparelhos especiais, chamados células fotoelétricas, em que a energia da luz controla a energia da corrente elétrica ou se transforma em corrente elétrica.

Um exemplo de dispositivo cujo funcionamento baseia-se no efeito fotoelétrico são as células fotocondutoras, conhecidas como LDR (*Ligth Dependent Resistor* - Resistência Dependente da Luz, em tradução livre). O LDR é um resistor cuja resistência elétrica varia com a intensidade da luz que incide sobre ele (SILVA, 2016, p. 43). A figura 5 traz uma ilustração de um LDR, assim como os símbolos utilizados para representá-lo.

¹ Semicondutores são materiais de estrutura geralmente cristalina com propriedades elétricas intermediárias entre as dos condutores e as dos isolantes.

Figura 5 - Dispositivo LDR.



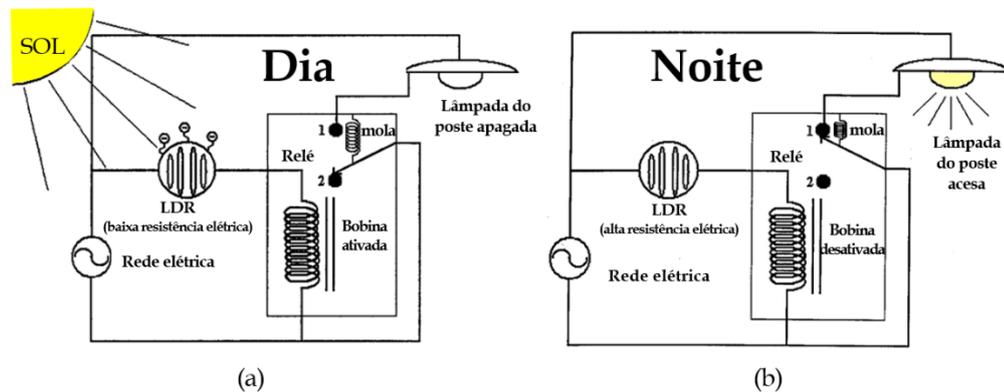
Fonte: Adaptado de: <https://albertoroura.com/controlando-un-led-con-un-ldr-en-arduino/>

O LDR constituído a partir de material semiconductor com alta resistência elétrica em sua constituição, ao ser iluminado tem a sua resistência elétrica reduzida, pois com a incidência de luz, de frequência suficiente, os elétrons absorvem a energia dos fótons, favorecendo à quebra de ligações covalentes², e, conseqüentemente, o aumento da quantidade de elétrons livres. Tal fenômeno melhorará a condutividade do material, diminuindo a resistência e facilitando a fluidez da corrente elétrica no circuito. Na ausência de luz incidente sobre o dispositivo, a resistência do LDR aumentará, em virtude da diminuição da quantidade de elétrons livres na banda de condução do material (SILVA, 2016, p.44-45).

Esta propriedade do LDR é empregada nos dispositivos controladores do sistema de iluminação pública (Figura 6), que produzem corrente elétrica quando expostos à iluminação, e acionam a bobina que produz um campo magnético, desligando o relé e abrindo o circuito da rede, não acendendo a lâmpada, mas à noite, não havendo corrente produzida por incidência de luz, não haverá um campo magnético produzido pela bobina, e o relé não é desligado; desta forma a corrente da rede elétrica acende a lâmpada (VALADARES e MOREIRA, 1998, p. 124-125).

² Em uma ligação covalente os elétrons da camada mais externa (valência) são compartilhados pelos átomos.

Figura 6 - Esquema do princípio de funcionamento do sistema de iluminação pública: arranjo do circuito durante (a) o dia e (b) durante a noite.



Fonte: Adaptado de VALADARES e MOREIRA (1998, p.124-125).

Além do sistema de iluminação pública, o LDR está presente em várias tecnologias do dia a dia, como por exemplo, em sistemas de alarme, detectores de presença, portas automáticas, portas de elevadores, esteiras de supermercado, controles remotos, entre outros. No caso da porta do elevador, por exemplo, um feixe de luz, ao ser interrompido, aciona um sistema automático que impede a porta de fechar. Esta situação é ilustrada na Figura 7.

Figura 7 - Esquema de funcionamento da porta de elevadores.

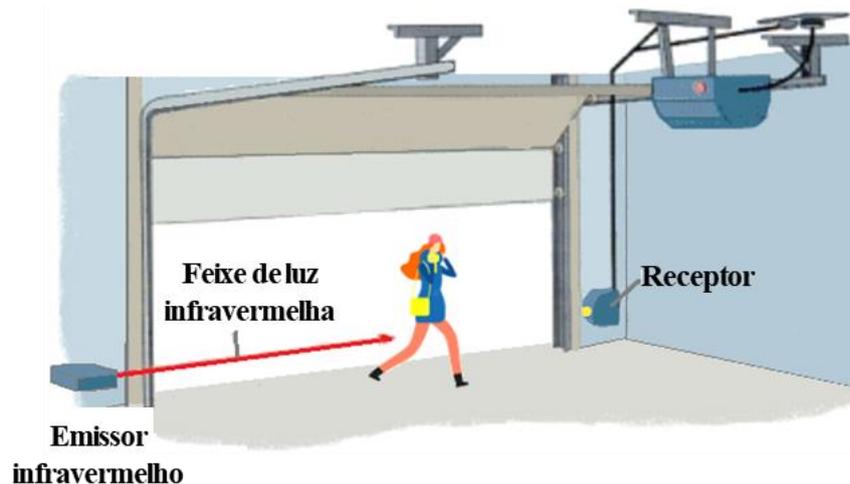


Fonte: Adaptado de: <https://www.facebook.com/Prodesp/posts/2670693089643914/>

As portas automáticas, como aquelas presentes nas entradas de shoppings, têm funcionamento semelhante a porta do elevador (Figura 8). Neste caso, um feixe contínuo de luz infravermelha é emitido em direção a uma placa metálica, que está ligada em um circuito,

fazendo com que o sistema mantenha a porta fechada. Quando uma pessoa passa na frente do feixe bloqueando-o, o circuito para de funcionar. Isso faz com que a porta se abra, voltando à posição de repouso (SOUSA JR, 2017, p. 4).

Figura 8 - Esquema de funcionamento de portas automáticas.



Fonte: Adaptado de SOUSA JR (2017, p. 4)

De acordo com Silva (2016, p. 44), o material mais utilizado na confecção do LDR é sulfeto de cádmio (CdS), pois tem uma sensibilidade à luz semelhante à do olho humano (faixa de luz visível). Para o uso em outras faixas de frequência, diferentes da visível, outros materiais são utilizados, como o arseneto de gálio para o infravermelho. Ainda segundo Silva (2016, p. 46), o funcionamento básico do LDR é o seguinte: quando o resistor é iluminado ou quando tem o feixe de luz que o iluminava interrompido, respectivamente, permite ou impede a passagem de corrente pelo circuito onde está acoplado, provocando o acionando ou a desativação de um sistema eletroeletrônico.

2.2 Revisão de Literatura

Nas últimas décadas vem crescendo a quantidade de professores e pesquisadores que buscam alternativas para tornar as aulas, em particular as de física, mais interessantes e dinâmicas a fim de despertar o interesse dos alunos e quebrar o estigma gerado ao longo dos tempos de que a Física é uma disciplina onde se estudam equações e problemas fictícios que não se aplicam a vivência do aluno. A seguir, faremos um breve relato das pesquisas mais relevantes realizadas no âmbito do ensino da física com ênfase no efeito fotoelétrico e suas aplicações.

Valadares e Moreira (1998) apresentaram sugestões, conceituais e práticas, de como introduzir tópicos de Física Moderna no ensino médio, relacionando-os com o cotidiano dos alunos. Nesse trabalho os autores deram ênfase especial ao efeito fotoelétrico, ao laser e a emissão do corpo negro, destacando algumas de suas aplicações através de experiências simples e acessíveis a escolas com modestos financeiros.

Cavalcante *et al.* (2002), indicaram dois recursos educacionais distintos envolvendo o ensino do efeito fotoelétrico, uma simulação computacional utilizando o site “*Física con ordenador: Curso Interactivo de Física en Internet*”³, e um experimento prático com LEDs (*Light Emitting Diode*). A proposta era determinar um valor aproximado para a constante de Planck. Os autores sugerem, a realização de um debate em sala de aula sobre a dualidade onda-partícula da luz, onde o professor deverá ser o mediador e mostrar as implicações que decorrem de cada observação efetuada ao longo do debate, apontando soluções e dificuldades, objetivando desenvolver competências e habilidades de acordo com os referencias estabelecidas pelos Novos Parâmetros Curriculares Nacionais. Eles propõem ainda uma abordagem interdisciplinar entre professores de física, filosofia e matemática para discutir o comportamento dual da luz.

Costa (2005), com o intuito de orientar os professores de física no Ensino Médio, sugere a realização de uma experiência simples utilizando LEDs de cores distintas, resistências de diferentes valores, um Protoboard e um multímetro. Segundo o autor, o experimento sugerido permite observar o efeito fotoelétrico na sua forma inversa, ou seja, emissão de luz monocromática, e por consequência, determinar a constante de Planck a partir do valor de tensão necessária para acender um LED de uma cor qualquer. Ainda segundo o autor, um ponto forte dessa proposta é que ela pode ser trabalhada de forma interdisciplinar entre professores de física e matemática.

Erthal e Linhares (2005), buscando elementos para subsidiar uma proposta de ensino sobre o tema radiações eletromagnéticas, aplicaram questionários diagnósticos com questões relacionadas a situações do cotidiano dos alunos e constataram um número de erros muito grande em todas as questões, mesmo sendo a maioria delas relacionadas a situações diárias e corriqueiras vividas pelos estudantes. Chama atenção que a questão com menor índice de acertos, apenas 0,91% da amostra e o maior índice de “não sei a resposta”, com 64,54%, ser a que tratava das portas automáticas que abrem e fecham com a nossa aproximação e que está relacionada com a aplicação do EFE. Apesar de grande parte dos participantes já ter se deparado

³ <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/cuantica/fotoelectrico/fotoelectrico.html>

com a situação a qual a questão se relacionava, verificou-se que eles praticamente nunca ouviram falar sobre o EFE. Os resultados levaram os autores a concluir que os alunos do EM possuem uma grande carência sobre conhecimentos relacionados aos diferentes tipos de radiações eletromagnéticas, e sua utilização associada ao uso de tecnologias.

Kovačević e Djordjevich (2006) apresentaram uma analogia mecânica para o EFE, assunto presente no currículo do último ano do ensino médio das escolas da Sérvia e Montenegro. Os autores propuseram um sistema de bolas rígidas e coloridas - em que cada cor correspondia a uma frequência do espectro luminoso, que deslizam sem atrito sobre uma rampa e colidem com outra bola rígida, lançando-a para fora do sistema. A energia inicial de cada fóton (bolas coloridas), bem como a função trabalho do material fotoemissor e a energia cinética máxima dos elétrons emitidos, são analisados em termos de diferença de altura em relação ao ponto mais baixo da rampa.

Como instrumento de integração entre as Físicas Clássica e Moderna, Jesus (2011), propôs a utilização de fascículos onde a Física Moderna é abordada concomitantemente ao ensino da Física Clássica. Os fascículos, produzidos pelo próprio autor, priorizam os conceitos quânticos a um nível compreensível a alunos do Ensino Médio e visam servir de material de apoio para professores e alunos complementando as informações de seus livros a respeito da Física Moderna e viabilizando um contato com a fantástica ciência do século XXI. Dentre os fascículos produzidos, o intitulado Choques Mecânicos, relaciona o fenômeno em escala macroscópica com as interações de partículas, como as presentes no efeito fotoelétrico. No texto encontram-se também referências às aplicações do EFE no cotidiano do aluno.

Silva e Assis (2012), sugeriram a utilização do experimento “Ouça seu controle remoto!”⁴, uma atividade experimental, confeccionada com materiais de baixo custo, para trabalhar o EFE em sala de aula. De acordo com as autoras, essa atividade pode ser utilizada de forma contextualizada, articulando-se esse fenômeno com algumas aplicações tecnológicas vivenciadas pelos alunos no seu cotidiano, de modo a despertar a curiosidade e a motivação dos alunos em aprenderem os conhecimentos trabalhados. Segundo as autoras, além do efeito fotoelétrico, o experimento “Ouça seu controle remoto!” também permite ao professor abordar outros conteúdos, como eletricidade (circuitos elétricos, corrente elétrica, resistores, geradores) e ondas eletromagnéticas (infravermelho e outras formas de radiação).

⁴ Nos *links* a seguir são encontrados os vídeos com a realização do experimento e o seu plano de aula, respectivamente:

<<http://fisicamodernaexperimental.blogspot.com.br/search/label/Radio%20Laser>>

<<http://picjrintelpucsp.blogspot.com.br/2009/11/plano-de-aula-transmissao-de-sinaissem.html>>.

Silva (2015), sugere uma metodologia para trabalhar tópicos de Física Moderna, dentre os quais o EFE. Sua proposta é fundamentada na teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel e na epistemologia de Thomas Kuhn. O autor fez uso de uma sequência didática, na qual aplicando vídeos como organizadores prévios, aulas expositivas, aplicação de pré e pós-testes e confecção por parte dos alunos de mapas conceituais. Segundo o autor, ao longo das aulas, foi percebido um amadurecimento por parte dos alunos quanto a aceitação da teoria, no qual eles consideraram ser mais comuns e de pouco ou nenhuma abstração. O autor cita como um ponto importante para melhoria na compreensão dos alunos com relação aos conceitos de FMC, a contextualização do ensino de física, destacando a importância da FMC na vida do homem atual, além da capacidade do professor de motivar seus alunos.

Visando a inserção de conteúdos de FMC no ensino médio, em especial do estudo da fenomenologia do efeito fotoelétrico, Cabral (2015), propõe um experimento investigativo a partir de circuitos elétricos, no intuito de despertar a curiosidade do estudante. Em seguida, sugere que o tema seja abordado através de uma Sequência Didática (Roteiros de Atividades) com base nas TICs (Tecnologias da Informação e Comunicação), envolvendo vídeos, resenhas, aulas expositivas, mapas de conceitos e roteiros de experimentos virtuais cuidadosamente elaborados em ordem crescente de dificuldades.

Silveira e Girardi (2016), desenvolveram um kit experimental de baixo custo com Arduino para o ensino de Física Moderna no ensino médio, com o qual foi possível demonstrar o EFE e as propriedades elétricas dos plasmas.

Como recursos didáticos que possam auxiliar os professores no ensino do EFE, Silva (2016), sugere duas atividades, uma experimental simulando o sistema de acendimento automático da iluminação pública e uma atividade lúdica, o jogo “Queimada Fotoelétrica”. Segundo o autor a proposta experimental além de ser de baixo custo, conta com a confecção de uma maquete com um design elaborado visando atrair a atenção dos alunos, visto que os postes de iluminação pública estão presentes em todas as partes do país, mostrando aos alunos algo que ocorre no cotidiano, favorecendo assim a motivação para o estudo da disciplina e o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa. Já a atividade lúdica visa possibilitar uma dinâmica que utiliza conhecimentos de FMC, em uma análise quantitativa dos princípios físicos envolvidos no efeito fotoelétrico externo, podendo também ser aplicado de forma mais simples, apenas qualitativamente, possibilitando nos dois casos uma aplicação prática de uma teoria, que ao aluno parece ser abstrata.

Batista *et al.* (2017) construíram uma sequência de aulas sobre o EFE, com alunos da 3ª série do EM, aplicada por meio de duas estratégias de ensino: aula dialogada e atividade

experimental. De acordo com os autores, ao se depararem com conceitos de Física Quântica, os alunos procuraram, em sua maioria, explicar o funcionamento do experimento usando fundamentos de Física Clássica Newtoniana, demonstrando desconhecimento sobre conceitos de Física Moderna. Os resultados da análise dos instrumentos desta pesquisa mostraram que a realização de uma aula dialogada propiciou a interação alunos-professor e alunos-experimento, que viabilizou a participação dos alunos de forma crítica, reflexiva e investigativa, bem como o interesse pela compreensão do conceito utilizado no experimento de forma articulada ao seu cotidiano.

Eberhardt *et al.* (2017), apresentaram um experimento destinado ao ensino de Física Moderna no Ensino Médio, especificamente o EFE, visando instrumentalizar o professor ou servir como inspiração para a proposição de atividades didáticas. A experimentação descrita se funda na exposição de uma lâmpada néon às luzes de diferentes comprimentos de onda emitidas por LEDs variados. A expectativa dos autores é que os professores de física possam contar com mais esta opção experimental para o ensino do EFE, que é um conteúdo que faz parte do contexto da Física Moderna e vem sendo exigido com frequência nos vestibulares e no ENEM.

Silva (2018), utilizou produto educacional “Placa eletrônica didática” para abordar o efeito fotoelétrico e seu uso no século XXI, dando ênfase ao estudo de fotossensores, em especial o fotocondutivo e o fotovoltaico e constatou que o produto educacional desenvolvido foi determinante na dinâmica da aula, bem como no tempo de aplicação da mesma, fazendo com que as interações conteúdo-cotidiano e professor-aluno no ambiente escolar ocorressem de forma espontânea e democrática, proporcionando uma troca de conhecimentos entre professor-aluno e aluno-aluno.

Em sua dissertação de mestrado, Lima (2018), propôs a utilização de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para ensinar o EFE no ensino médio, estando esta baseada nos princípios da teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel. A autora destaca, em suas considerações finais, o fato de que a receptividade dos alunos e a disposição em que se colocaram para aprender, terem sido condicionantes para oportunizar a aprendizagem significativa. Segundo a autora, a sequência de aulas utilizadas foi dinâmica e possibilitou que os alunos compreendessem o EFE sob as perspectivas histórica, teórica e prática, aplicadas em sua vivência.

Em seu trabalho, Batista *et al.* (2021), apresentaram uma abordagem experimental do EFE utilizando materiais (LEDs, multímetro, protoboard, resistores, cabos de conexão) contidos nos kits que foram enviados para as escolas públicas de diversos estados brasileiros em 2013, mas que por falta de manual encontram-se guardados da mesma forma que chegaram

as instituições. De acordo com os autores, o experimento permitiu a determinação simples e de fácil reprodução da constante de Planck, possibilitando que um aluno do EM o realize com clareza, além de permitir que outros conceitos sejam explorados, tornando, assim, mais atraente a aprendizagem desse assunto, no Ensino Médio. Os autores sugerem ainda, a execução de um trabalho coletivo, envolvendo professores de Matemática, Física e Filosofia, apontando alternativas para uma prática docente interligada e sobretudo contextualizada.

Silva e Andrade (2022), apresentaram os resultados de uma pesquisa qualitativa para a definição de experimentos sobre o EFE e a construção de uma sequência didática ser desenvolvida na escola de origem dos autores. A partir das análises realizadas foram selecionadas duas propostas experimentais consideradas mais adequadas às condições da escola, e desenvolvida uma sequência problematizadora, onde os estudantes pudessem associar o fenômeno EFE à situação cotidianas e manipular materiais para realizar uma montagem experimental.

Carvalho (2023), aplicou uma sequência didática em uma turma de Ensino Médio para o ensino do efeito fotoelétrico, utilizando a História da Ciência como ferramenta construtora do conhecimento. De acordo com o autor, foi observado uma melhora significativa na compreensão dos alunos acerca da História da Ciência e na construção do conhecimento científico.

2.3 Sobre modelagem computacional e jogos educativos

A busca por estratégias e recursos didáticos que tornem o ambiente de sala de aula mais atrativo para os estudantes é algo constante na vida dos professores. É certo que a maioria dos professores de física do ensino médio, pelo menos uma vez, já ouviram expressões como “Para que estudar isso se nunca vou aplicar?”, “Onde/quando vou usar esse conceito na minha vida?”, ou ainda “Física é só cálculo”. Escutar expressões como estas são um tanto quanto desanimadoras para o professor. A fim de quebrar o estigma imposto ao longo dos anos à disciplina de física e atenuar a dicotomia entre teoria e aplicação, vários pesquisadores têm sugerido o uso de estratégias de ensino e de recursos didáticos promissores para tornar as aulas mais dinâmicas, divertidas e significativas.

Dentre as diferentes metodologias e ferramentas utilizadas podemos destacar o ensino baseado na investigação, envolvendo simulações computacionais, experimentação prática, vídeos, jogos educativos etc. Para trabalhar o tema de estudo, efeito fotoelétrico, nesta pesquisa utilizaremos com maior frequência a simulação computacional e o jogo educativo. Assim, daremos ênfase a estes dois elementos.

A representação virtual tem sido apontada como uma possibilidade de substituir ou complementar as demonstrações e experimentações (FIOLHAIS e TRINDADE, 2003, apud BULEGON, 2015, p.745) usadas no ensino de Física. Segundo Bulegon (2015, p. 759), realizar uma atividade de aprendizagem com o uso de objetos de aprendizagem do tipo simulação, por mais simples que seja, traz uma renovação, consegue despertar o mais pacato dos estudantes e o faz ver a Física sobre outra ótica.

Para Pietrocola e Brockinton (2003, p. 2), uma simulação é capaz de traduzir o que é “impossível” de ser feito por palavras e, no caso da Física Moderna, pode reproduzir o que não pode ser feito em laboratório. Assim, o aluno mesmo sendo incapaz de fazer ou compreender a sofisticação matemática envolvida em um determinado experimento ou fenômeno, pode usar a simulação e entender a Física ali apresentada.

Embora as atividades experimentais sejam virtuais, as mesmas possibilitam uma transposição didática, pois a utilização dessas ferramentas possibilita aos alunos verem e observarem a representação de um modelo físico do fenômeno podendo gerar uma melhor compreensão dos conceitos e facilitando a interpretação das relações matemáticas (CABRAL 2015, p. 21).

Com relação à utilização de jogos como ferramenta didática, Maurício (2007, p. 3), defende que o jogo é, por excelência, integrador, havendo sempre um caráter de novidade, o que é fundamental para despertar o interesse da criança, e é, portanto, um dos meios propícios à construção do conhecimento.

Para Silva (2012), que trata especificamente de jogos aplicados ao ensino de física, apresentando-o como uma ferramenta didática com grande potencial mobilizador do interesse dos alunos, o aspecto lúdico e divertido do jogo favorece um ambiente de participação e criação, muito diferente da aula tradicional de aulas expositivas e memorização de fórmulas e conceitos, gerando um aspecto positivo para uma melhoria na aprendizagem (apud PAIVA, 2018, p. 37).

Segundo Paiva (2018, p. 37), inúmeros autores, como Piaget, Wallon, Vygotsky, Ausubel, entre outros, tratam sobre a utilização de jogos ou atividades lúdicas como ferramenta didática, defendendo seu uso como elemento importante no processo de ensino e aprendizagem. Para ele, o jogo para ensinar física, portanto, deverá ter como objetivo auxiliar na apresentação do conteúdo, desenvolver a aquisição de habilidades, favorecer o trabalho em equipe, bem como levar o aluno ou aluna, a um momento de aprendizagem e desenvolvimento de conceitos mais complexos e elaborados.

2.4 Contribuições de pesquisas realizadas por outros autores para este trabalho

A seguir tem-se um apontamento das contribuições mais relevantes para o presente projeto obtidas a partir das pesquisas desenvolvidas por outros autores.

Tabela 1 – Contribuições de pesquisas realizadas por outros autores para este trabalho.

Autor(es)	Citação	Contribuição
VALADARES e MOREIRA (1998)	É imprescindível que o aluno do EM conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e pode definir seu futuro profissional.	Escolha do tema do projeto.
	...os autores deram ênfase especial ao efeito fotoelétrico, ao laser e a emissão do corpo negro, destacando algumas de suas aplicações através de experiências simples e acessíveis a escolas com modestos financeiros.	
	Esta propriedade do LDR é empregada nos dispositivos controladores do sistema de iluminação pública, que produzem corrente elétrica quando expostos à iluminação...	Esclarecimento sobre as aplicações do EFE no cotidiano e funcionamento de objetos que o utilizam como tecnologia.
SILVA (2016)	O LDR é um resistor cuja resistência elétrica varia com a intensidade da luz que incide sobre ele.	
SOUSA JR (2017)	No caso da porta automática, um feixe contínuo de luz infravermelha é emitido em direção a uma placa metálica, que está ligada em um circuito, fazendo com que o sistema mantenha a porta fechada.	
SILVA (2018)	Atualmente, existem vários objetos que utilizam como tecnologia o EFE. Sistema de alarmes, sistema de iluminação, portas automáticas, painéis solares ...	
SILVA (2015)	Sugere uma metodologia para trabalhar tópicos de Física Moderna, dentre os quais o EFE. Sua proposta é fundamentada na teoria de aprendizagem significativa de D. Ausubel e na epistemologia de T. Kuhn.	Escolha da teoria de ensino aplicada no projeto.

Autor(es)	Citação	Contribuição
LIMA (2018)	Propôs a utilização de uma UEPS para ensinar o EFE no ensino médio baseada na aprendizagem significativa de D. Ausubel.	
ERTHAL e LINHARES (2005)	... aplicaram questionários diagnósticos com questões relacionadas a situações do cotidiano dos alunos...	Referência para elaboração de questionário sobre o tema.
CABRAL (2015)	... propõe um experimento investigativo a partir de circuitos elétricos, no intuito de despertar a curiosidade do estudante	Referência para aplicação de experimento investigativo.
BULEGON (2015)	...realizar uma atividade de aprendizagem com o uso de objetos de aprendizagem do tipo simulação, por mais simples que seja, traz uma renovação, consegue despertar o mais pacato dos estudantes e o faz ver a Física sobre outra ótica.	Referência para utilização de simulação computacional.
PIETROCOLA e BROCKINTON (2003)	...uma simulação é capaz de traduzir o que é “impossível” de ser feito por palavras e, no caso da Física Moderna.	
MAURÍCIO (2007)	Defende que o jogo é, por excelência, integrador, havendo sempre um caráter de novidade, o que é fundamental para despertar o interesse da criança, e é, portanto, um dos meios propícios à construção do conhecimento.	Referência para utilização de jogos educativos.
SILVA (2012)	... jogos aplicados ao ensino de física, apresentando-o como uma ferramenta didática com grande potencial mobilizador do interesse dos alunos.	
PAIVA (2018)	... o jogo para ensinar física, portanto, deverá ter como objetivo auxiliar na apresentação do conteúdo, desenvolver a aquisição de habilidades, favorecer o trabalho em equipe...	

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Vale salientar que todos os trabalhos citados nessa pesquisa agregaram conhecimento, o que foi fundamental para desenvolvimento desta. No entanto, as referências listadas acima serviram de base para o planejamento do projeto, contribuindo para sua elaboração e execução.

3 METODOLOGIA

Este capítulo trata da metodologia utilizada ao longo da pesquisa. Nele apresentaremos as metodologias de ensino e de trabalho. Esta última reúne os seguintes subtópicos: ambiente e sujeitos da pesquisa, experimento investigativo, *software* educacional, jogo avaliativo e sequência didática.

3.1 Metodologia de ensino

De acordo com Carvalho (1989, p. 3), um dos aspectos fundamentais do ensino de Física é conhecer como os alunos percebem e compreendem o mundo físico que os cerca. Isto, em outras palavras, significa conhecer como eles veem e explicam os fenômenos fundamentais e qual é a lógica usada por eles na formação espontânea dos conceitos. Ainda segundo Carvalho (1989 p.3), a construção do conhecimento científico tem como um dos principais campos de pesquisa o processo de mudança conceitual, levando em consideração o processo histórico da construção desse conceito e a teoria que explique como ele é construído. Tais pensamentos corroboram com a teoria de aprendizagem desenvolvida por David Ausubel.

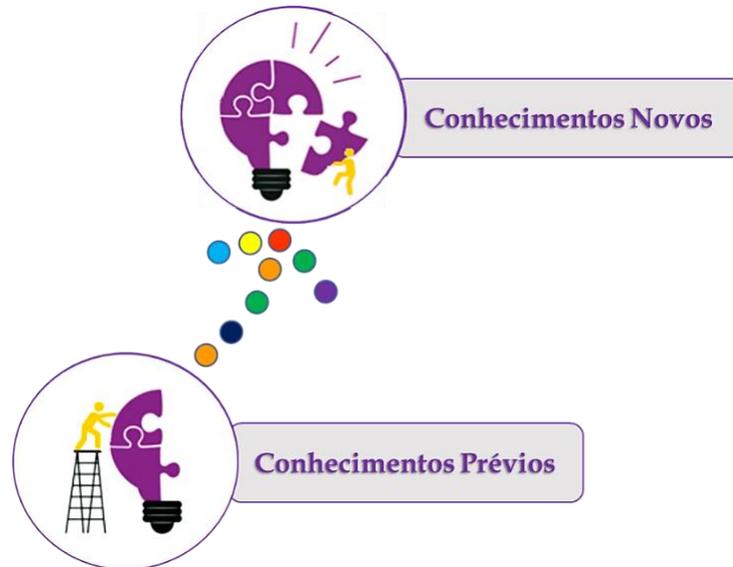
A metodologia a ser utilizada neste projeto fundamenta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, uma vez que para seu efetivo desenvolvimento serão cumpridas etapas que envolvem simulações computacionais e jogos, portanto, um material didático atrativo para os alunos, e cuja aplicação proporcionará a interação entre os alunos e a utilização do conhecimento prévio que eles têm sobre o tema para, então, haver a consolidação do conhecimento científico.

A aprendizagem baseia-se na “ampliação” da estrutura cognitiva do estudante, através da incorporação de novas ideias a ela. E, dependendo do relacionamento que existe entre as ideias que já se encontram na estrutura cognitiva e as novas que estão sendo incorporadas, pode ocorrer um aprendizado que varia do mecânico ao significativo (CABRAL, 2015, p. 46). Portanto, é interessante fazer a diferenciação entre as aprendizagens significativa e mecânica.

Assim, para Ausubel aprendizagem significativa é aquela onde o indivíduo aprendente consegue associar uma nova proposta (ou informação) com um conhecimento já ancorado por ele. Na concepção de Ausubel, a aprendizagem precisa ter um significado, ou seja, um sentido para o aluno, e a nova informação deve interagir com os conhecimentos já existentes naquilo que o autor chama de estrutura cognitiva do aluno. Tais conhecimentos são chamados de

subsunçores⁵ ou ideia âncora (Figura 9). Deste modo, a nova informação irá “ancorar-se” as informações que o aluno já possui, lhe dando maior estabilidade cognitiva (MOREIRA, 2012, p. 3).

Figura 9 - Dependência de conhecimentos.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

No que se refere à aprendizagem mecânica (ou automática), Ausubel a define como sendo a aprendizagem de novas informações com pouca ou nenhuma interação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva (MOREIRA, 2015, p.162). Porém, Lima (2018, p. 10), ressalta que, na visão ausubeliana a aprendizagem mecânica pode ser um mecanismo importante para se chegar a uma aprendizagem significativa, isso, quando a nova informação não tiver na estrutura cognitiva do aprendiz nenhum subsunçor.

Ausubel recomenda a utilização de organizadores prévios para facilitar a aprendizagem significativa. Tais organizadores podem ser compreendidos como um material a ser utilizado antes do que realmente se pretende trabalhar, podendo servir de suprimento na ausência de subsunçores ou como facilitador para a aprendizagem do novo conhecimento.

Para ocorrência da aprendizagem significativa duas condições básicas tornam-se essenciais. A primeira delas é que o material a ser aprendido deve ser potencialmente significativo, e a segunda é que o aprendiz deve estar predisposto a aprender. No entanto, como exposto em Moreira (2015, p. 164), esta condição implica que, independentemente de quão

⁵ A palavra subsunçor não existe em português; trata-se de uma tentativa de aporuguesar a palavra subsumer. Seria mais ou menos equivalente a inseridor, facilitador ou subordinador (MOREIRA, 1999, p. 153).

potencialmente significativo seja o material a ser aprendido, se a intenção do aprendiz for simplesmente a de memorizá-lo, arbitrária e literalmente, tanto o processo aprendizagem como seu produto serão mecânicos (automáticos).

Nesse contexto, o uso dos simuladores computacionais serve de auxílio na aprendizagem devendo levar em consideração o que acontece primeiramente de forma mecânica se o estudante não dispõe de uma concepção prévia para o conteúdo que lhe é fornecido. Por isso, acreditamos que a simulação poderá fazer o papel de subsunçor, proporcionando uma aprendizagem significativa (GOMES, 2011, p. 44, apud CABRAL, 2015, p. 48).

No que se refere à utilização de jogos como ferramenta de aprendizagem, Ausubel afirma que o jogo educativo permite ao indivíduo estabelecer interrelação entre conceitos novos e os já existentes, gerando novas experiências e aprendizagens cognitivas. Por meio do jogo o aprendiz pode desenvolver habilidades e domínio sobre situações de aprendizagem de forma humanizada e significativa (SILVA, 2012, apud PAIVA, 2018, p. 36).

Segundo Araújo (2018, p. 6), a Teoria da Aprendizagem de Ausubel apresenta um papel importante na atualidade, pois é preciso ser objetivo, facilitar o entendimento do aluno, criar mecanismos de aprendizagem que conectem as informações com o conhecimento pré-existente, principalmente levando em consideração a realidade em que o sujeito está inserido. Por fim, pode-se afirmar que a aprendizagem significativa é relevante para alunos, professores e todo ambiente escolar.

3.2 Metodologia do trabalho

3.2.1 Ambiente e sujeitos da pesquisa

A pesquisa foi aplicada na Escola Estadual Ângelo Ramazzotti, localizada na região centro-sul de Manaus. A escola conta com quatorze salas de aula, funcionando nos turnos matutino e vespertino. As atividades desenvolvidas ao longo da pesquisa foram realizadas na Sala *Maker*, espaço recentemente inaugurado e que conta com a estrutura computacional necessária para a aplicação do produto educacional.

A Lei nº 13.415/2017 alterou a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional estabelecendo mudanças na estrutura do ensino médio. Uma das mudanças é a obrigatoriedade da inclusão de temas de FMC distribuídos nas grades das três séries do novo ensino médio. O tema escolhido faz parte de grade curricular da 2ª série. Portanto, a pesquisa foi desenvolvida com uma turma do 2º ano do NEM. A pesquisa foi aplicada oportunamente quando se estava

trabalhando o conteúdo sobre partículas elementares. De acordo com a nova grade curricular do NEM, o EFE deve ser trabalho dentro desse tema.

A turma escolhida foi o 2º 03 Matutino/2023, que contava com 39 alunos matriculados, dos quais 36 frequentavam regularmente as aulas. Um dos critérios para a escolha dessa turma foi a assiduidade dos alunos. Outro fator relevante foi que, para o período pretendido para aplicação do projeto em sala de aula, os tempos de aula da turma não coincidiram com nenhum feriado escolar, tendo assim uma continuidade semanal. Lembrando que no NEM é ministrada apenas uma aula de física por semana.

3.2.2 Experimento Investigativo

Despertar o interesse dos alunos tem sido um desafio constante enfrentado pelos professores. Várias pesquisas têm mostrado que na sociedade atual torna-se cada vez mais importante a utilização de diferentes estratégias para melhorar o ensino-aprendizagem, especialmente de em áreas como o ensino da Física, que segundo Gomes (2019, p. 47), por ser uma ciência experimental e que muitas vezes se refere ao campo microscópico, necessita de especial atenção para melhorar os aspectos relacionados à aprendizagem.

De acordo com Cabral (2015, p. 41), o experimento investigativo representa uma estratégia onde os alunos participam mais ativamente do processo de construção do saber. A ideia é fazer com que os alunos explorem todas as etapas de investigação dos conceitos, interpretação e possíveis soluções para o problema oferecendo-lhes oportunidades de analisar situações problemas relativas ao seu cotidiano, e com isso formular hipóteses, testá-las e tirar suas próprias conclusões. Nesse contexto, o papel do docente é levantar o debate e inspirar questionamentos que levem o aluno a argumentar sobre o fenômeno, e assim, refletindo sobre essas argumentações o aluno poderá construir os conceitos que a prática proporciona.

Na Figura 10 podem ser visualizadas as potencialidades do experimento investigativo no ensino de física de acordo com o exposto em Cabral (2015, p. 40).

Figura 10 - Potencialidades do experimento investigativo no ensino de física.



Fonte: CABRAL (2015, p. 40).

3.2.3 Software educacional

O avanço tecnológico vivenciado ao longo dos anos vem modificando de forma significativa o cotidiano das pessoas. Muitas dessas tecnologias foram desenvolvidas graças a aplicações de conceitos estudados em Física Moderna, como é o caso das aplicações do EFE. Assim, o uso da modelagem computacional e de jogos têm se mostrado ferramentas eficientes no auxílio da aprendizagem, não só na compreensão de conceitos, mas também por despertar o interesse dos alunos pelas aulas de física.

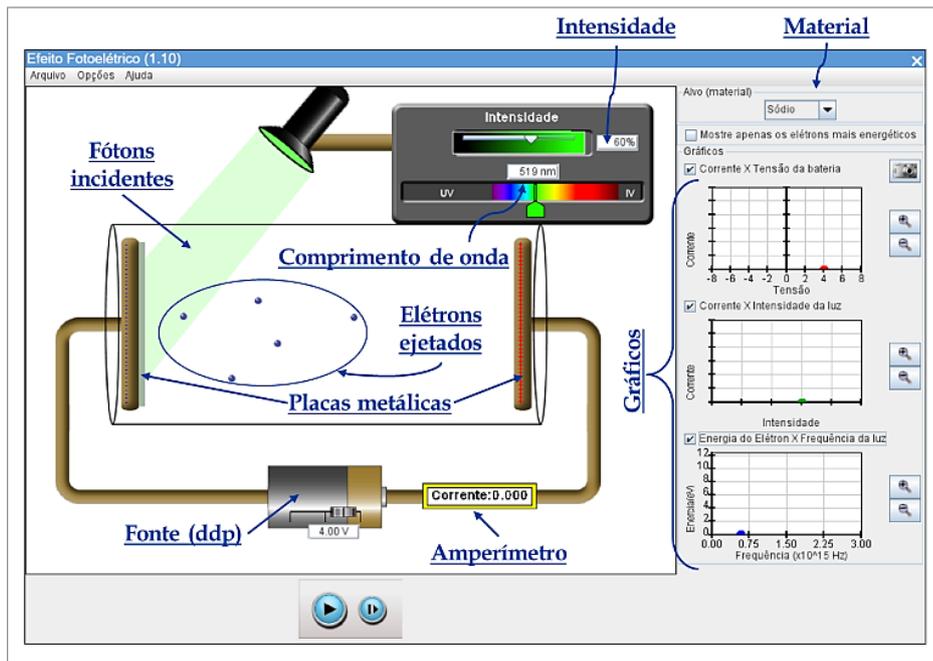
Softwares educacionais, a exemplo do PhET (*Physics Education Technology*)⁶, têm sido apontados como uma poderosa ferramenta no ensino de conteúdos conceitualmente difíceis, uma vez que oferecem a possibilidade de alterar valores e manusear as variáveis de forma interativa. De acordo com Bulegon (2011, p. 35), essa interação potencializa a aprendizagem, tornando-a mais significativa para os alunos.

Nesta pesquisa optamos por utilizar o simulador PhET para trabalhar o EFE. Diante do contexto social e econômico em que está inserida a escola onde a pesquisa foi realizada, a utilização desse simulador se mostra uma excelente solução para apresentar o EFE de forma dinâmica em sala de aula.

⁶ Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/

O PhET apresenta algumas vantagens que foram cruciais para nossa escolha, dentre as quais destacamos o fato deste ser um *software* livre, ter uma versão em português, além de oferecer um simulador sobre o conteúdo de EFE (Figura 11), onde se pode visualizar gráficos, a luz como onda e fótons, além de apresentar fácil manuseio.

Figura 11 - Tela do Simulador do Efeito Fotoelétrico do PhET.



Fonte: Adaptado de FREITAS (2017, p. 9).

Desenvolvido pela Universidade do Colorado em 2002, o PhET oferece diversas simulações relacionadas ao ensino de física, biologia, química e matemática. Este produto busca auxiliar os professores de Física a trabalharem os conceitos propostos nos livros didáticos apenas de forma conceitual, por meio de uma abordagem experimental com o uso de simulação (FREITAS, 2017, p. 8).

3.2.4 Jogo Avaliativo

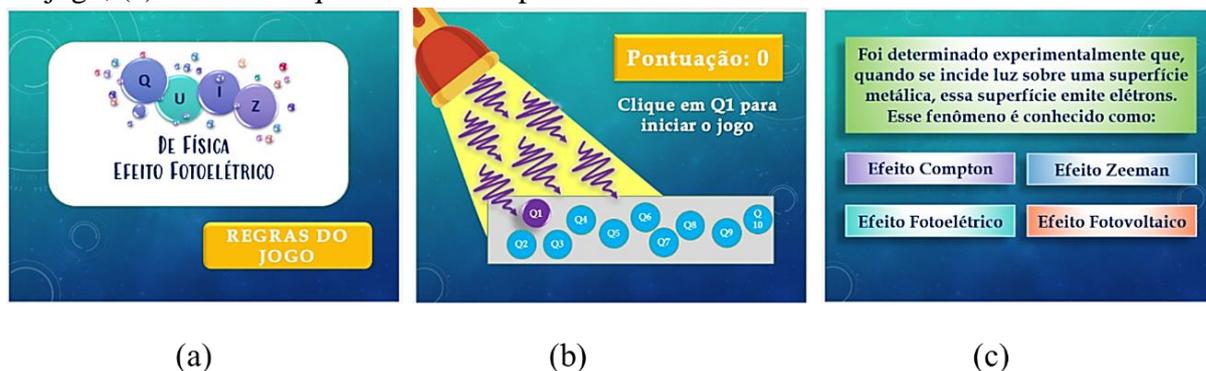
Como mencionado anteriormente, a busca por recursos que tornem as aulas mais dinâmicas e, conseqüentemente, a aprendizagem mais significativa, é uma constante na vida dos professores. Todos os dias o professor trava uma batalha com várias fontes de distração para o aluno, sejam elas conversas paralelas sobre assuntos que em nada acrescentam à aula, seja o uso do celular para acessar as redes sociais, jogos online etc. Com isso vem a necessidade

de os professores estarem sempre inovando em sua sala de aula a fim de torná-las mais agradáveis.

Sendo o jogo um convite tentador a diversão para jovens e um recurso didático poderoso usado no auxílio à aprendizagem, propõe-se nesta pesquisa a construção de jogos educativos utilizando o editor de apresentação *Powerpoint 2016* e os recursos nele disponíveis. Crivelli e Gama (2015, p. 1), acreditam ser viável a utilização do *PowerPoint* como uso de ferramenta pedagógica para atividades educacionais, uma vez que proporcionam ao educador desenvolver suas próprias aulas de forma mais atrativa.

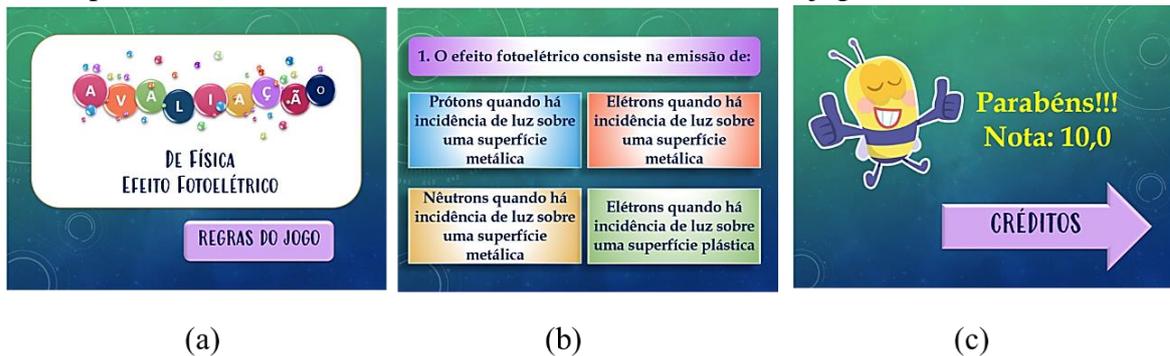
O editor *PowerPoint* foi desenvolvido com a finalidade de permitir a criação de slides e apresentações de imagens, multimídias e seus recursos básicos. No entanto, os recursos do editor possibilitam uma gama de projetos, incluindo a criação de jogos educativos, uma vez que permite a utilização de botão de ação, navegação através de hiperlinks, sons, efeitos etc. Utilizando os recursos disponíveis no *PowerPoint*, foram desenvolvidos dois jogos educativo. Inicialmente foi criado um Quiz contendo dez questões sobre o efeito fotoelétrico. Posteriormente, mais um jogo foi desenvolvido, desta vez um jogo avaliativo contendo cinco questões sobre o assunto, cada questão valendo dois pontos. Alguns trechos desses jogos podem ser visualizados nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Esboço do Quiz elaborado: (a) tela inicial, (b) tela exibindo o progresso do aluno no jogo, (c) modelo de questão a ser respondida.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 13 - Esboço do jogo avaliativo elaborado: (a) tela inicial, (b) modelo de questão a ser respondida, (c) tela exibindo a nota do aluno ao finalizar o jogo.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para Gomes (2019, p. 67), a utilização de jogos avaliativos em sala de aula pode proporcionar situações de ensino-aprendizagem que aumentam a construção do conhecimento, introduzindo atividades lúdicas e interessantes para os alunos, desenvolvendo a capacidade de iniciação, imaginação e motivação.

Os jogos educativos apresentam muitas vantagens, uma delas é proporcionar situações com as quais os alunos realizem um esforço espontâneo e voluntário para alcançar os objetivos propostos. Segundo Rosada (2013, p. 11), a importância dos jogos no ambiente escolar resulta na interação dos alunos e respeito entre o ganhador e perdedor, resultando numa prática educativa e recreativa como instrumento educacional, desenvolvendo assim o raciocínio lógico, físico e mental.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais também incentivam o uso dos jogos e apontam como uma das vantagens proporcionadas por esse recurso, o desafio proposto ao discente, o que faz com que os alunos sintam mais interesse e prazer em aprender os conteúdos trabalhados na disciplina (BRASIL, 2006). Nesse sentido, os jogos podem funcionar como recursos fundamentais para a melhoria da qualidade do ensino nas escolas, o que se refletirá em uma sociedade com indivíduos capazes de buscar soluções, enfrentar desafios, criar estratégias e serem críticos. (ABREU e ANDRADE, 2020, p. 118).

3.2.5 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são sequências didáticas baseadas em uma teoria de aprendizagem, especificamente a da aprendizagem significativa de David Ausubel, partindo da premissa que só há ensino quando se tem aprendizagem, sendo a aprendizagem o fim e o ensino o processo para alcançá-la (SOUSA, 2023, p.52).

A sequência didática do tipo UEPS foi desenvolvida em cinco etapas: 1) Jogo Avaliativo para coleta das concepções iniciais dos alunos; 2) Exibição de um vídeo de experimento do EFE, com estratégia de experimento investigativo. Tal recurso conta com algumas potencialidades que podem ser visualizadas na Figura 10, nesta etapa foram explorados os conteúdos conceituais; 3) Utilização do *software* educacional PhET do EFE, com estratégia de ensino por descobertas através da modelagem, onde os alunos utilizaram a modelagem computacional no *software* de simulação PhET do EFE, mudando as variáveis e descobrindo novos resultados que o fenômeno físico proporcionar, nesta etapa foram explorados os conteúdos procedimentais; 4) Aula expositiva e dialogada sobre o EFE e suas aplicações e utilização de jogo sobre o EFE com estratégia de ensino por jogos lúdicos, nesta etapa foram explorados os conteúdos atitudinais; 5) Jogo Avaliativo para coleta das concepções finais dos alunos.

As cinco etapas da sequência didática (Figura 14) foram realizadas ao longo de quatro aulas de 48 minutos cada. As aulas foram conduzidas de modo a levar o aluno a relacionar o tema estudado com situações vivenciadas por ele diariamente. A seguir, será apresentada a descrição do que foi realizado em cada aula.

3.2.5.1 Esquema da sequência didática

A sequência didática ocorreu com base na seguinte estrutura:

Aula 01 (duração: 48 min)

1ª Etapa: Coleta das concepções iniciais dos alunos.

Neste primeiro momento foi utilizado um jogo avaliativo para a coleta das concepções iniciais dos estudantes (10 min). Os alunos responderam as questões contidas no jogo e preencheram um cartão resposta com a alternativa que acreditavam ser a correta para cada questão, recebendo assim uma nota inicial. Antes, porém, foi explicado aos alunos do que se tratava o projeto.

2ª Etapa: Apresentação do projeto e experimento investigativo.

No segundo momento, foi exibido um vídeo demonstrando um experimento sobre o efeito fotoelétrico (10 min). Ao término do mesmo foi realizada a divisão dos grupos e um levantamento dos questionamentos (18 min), com discussão e revisão no final sobre o EFE (10min).

Aula 02 (duração: 48 min)

3^a Etapa: Realização de simulações utilizando a plataforma PhET.

No terceiro momento, a professora inicialmente demonstrou como utilizar a plataforma PhET (05min), dando as instruções necessárias para seu manuseio. Em seguida, os alunos, organizados em grupos, realizaram as modelagens, seguindo um roteiro de atividade⁷ previamente elaborado pela professora e anotaram os resultados (20 min). Ao final da atividade, os grupos apresentaram suas conclusões a partir dos resultados observados (15 min). O fechamento da atividade foi dado pela professora, sanando-se as dúvidas e explicando sobre o EFE (8 min).

Aula 03 (duração: 48 min)

4^a Etapa: Aula expositiva e dialogada e utilização de jogo educativo.

No quarto momento, após aula expositiva sobre as aplicações do EFE no cotidiano, os alunos participaram brincando em um jogo educativo sobre o EFE (de 10 a 15 min), e depois a professora esclareceu as dúvidas dos alunos sobre as questões corretas e/ou incorretas (15min), e a aula seguiu tratando sobre como o EFE mudou o nosso modo de vida (18 min).

Aula 04 (duração: 48 min)

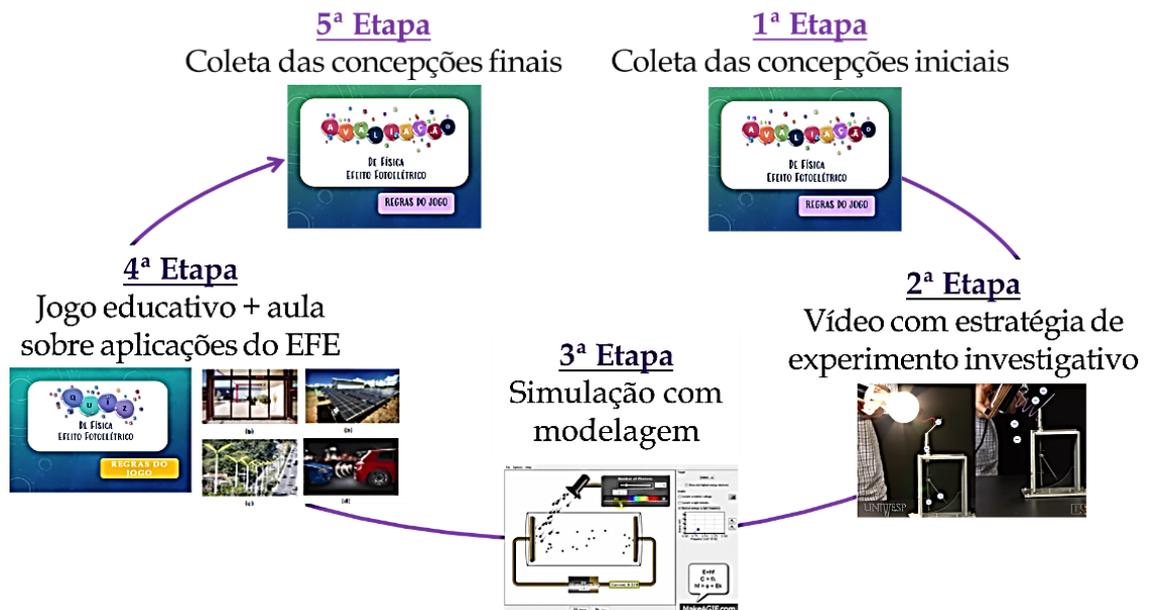
5^a Etapa: Coleta das concepções finais dos alunos.

Neste quinto momento, os alunos jogaram novamente o jogo avaliativo para realização de avaliação de aprendizagem (48 min). De posse das respostas dos alunos, uma comparação entre o desempenho inicial e final dos alunos foi realizada, a fim de verificar se houve melhorias ou não após aplicação da sequência didática.

Por fim, o esquema metodológico da sequência didática, utilizando-se os jogos educativos desenvolvidos pela autora, pode ser visto na Figura 14.

⁷ Disponível no Apêndice: 1. Roteiro experimental – PhET EFE

Figura 14 - Sequência didática sugerida.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão apresentados e analisados os resultados obtidos com a aplicação da metodologia descrita anteriormente. A pesquisa foi realizada ao longo de quatro aulas de 48 minutos cada. Como a carga horária de física para as turmas de 2º ano do NEM é de apenas 1h aula por semana, o projeto foi desenvolvido ao longo de um mês.

4.1 Descrição da sequência didática realizada e das observações feitas ao longo das aulas

As aulas foram planejadas buscando-se utilizar estratégias que levassem os alunos a fazerem *links* entre o fenômeno do efeito fotoelétrico e suas aplicações no cotidiano. A seguir, tem-se a descrição do que foi realizado em sala e as observações feitas a cada aula.

Aula 01. Coleta das concepções iniciais dos alunos e experimento investigativo

Na primeira aula os alunos foram direcionados à sala *Maker*, e em seguida a professora explicou do que se tratava sua pesquisa. Feito isso, foi realizada a coleta do desempenho inicial dos alunos sobre o tema a ser trabalhado, isto é, o EFE e suas aplicações. Os alunos receberam um cartão resposta (Figura 15), e foram instruídos a, quando lhes fosse solicitado, preenchê-lo com as respostas que acreditavam serem as corretas.

Figura 15 - Cartão resposta para coleta do desempenho (a) inicial e (b) final dos alunos.

Projeto EFE - MNPEF Prof. Soetânia Oliveira Desempenho inicial				
Aluno(a):				
Questões	A	B	C	D
Q1				
Q2				
Q3				
Q4				
Q5				

(a)

Projeto EFE - MNPEF Prof. Soetânia Oliveira Desempenho final				
Aluno(a):				
Questões	A	B	C	D
Q1				
Q2				
Q3				
Q4				
Q5				

(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A coleta do desempenho inicial dos alunos (Figuras 16 a e b) foi realizada através de um jogo avaliativo com perguntas objetivas sobre o EFE e sua utilização em nosso cotidiano. O jogo foi desenvolvido utilizando o *software PowerPoint*, e instalado nos computadores disponíveis na Sala *Maker*. A ideia inicial era que, nesse primeiro momento, cada aluno pudesse jogar, mas como nosso tempo e o número de computadores disponíveis eram limitados, optou-

se por exibir as perguntas do jogo avaliativo no Datashow e os alunos foram instruídos a registrar suas respostas em um cartão (Figura 15a). Ao final, os cartões foram recolhidos e a partir deles obteve-se as concepções iniciais dos alunos sobre o EFE e suas aplicações. Vale salientar que a mudança na estratégia inicial se fez necessária devido a pequena quantidade de computadores disponíveis no ambiente, dos quinze instalados apenas oito estavam funcionando. Outra questão é o fato da carga horária de física para a 2ª série no NEM ser de apenas 1h aula por semana.

Em seguida, foi realizada a apresentação do projeto e a divisão da turma em grupos. Os alunos foram divididos em grupos com média de 5 alunos em cada. Logo após, foi realizada uma atividade com estratégia de experimento investigativo. Para isso, foi exibido um trecho de um vídeo⁸ onde o professor Me. Cláudio Furukawa demonstra o EFE. A princípio, esse trecho do vídeo foi exibido sem áudio. Na sequência, foi solicitado aos grupos que formulassem e registrassem por escrito explicações sobre o fenômeno visualizado no vídeo (Figura 16 c e d). Os alunos tiveram cerca de 15 a 20 minutos para realizar essa atividade. Com as respostas em mãos, foi proposto uma discussão sobre o fenômeno observado, onde os grupos apresentaram brevemente suas suposições. Posteriormente, o vídeo foi passado na íntegra e com áudio de modo que eles tiveram acesso a explicação sobre o fenômeno que havia sido visualizado, o efeito fotoelétrico. Por fim, a professora fez uma revisão sobre o tema abordado no vídeo, corrigindo algumas percepções equivocadas sobre o EFE e pôde esclarecer as dúvidas que ficaram após a exibição do vídeo.

⁸ O vídeo pode ser encontrado no *link*: <https://www.youtube.com/watch?v=VVka6Mp5vyA>

Figura 16 - Aula 01: (a) e (b) coleta do desempenho inicial, e (c) e (d) atividade com estratégia de experimento investigativo



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Na Tabela 2 tem-se a análise realizada com base nas respostas dadas pelos alunos de forma escrita para a atividade com estratégia de experimento investigativo.

Tabela 2 - Análise das respostas para atividade com estratégia de experimento investigativo.

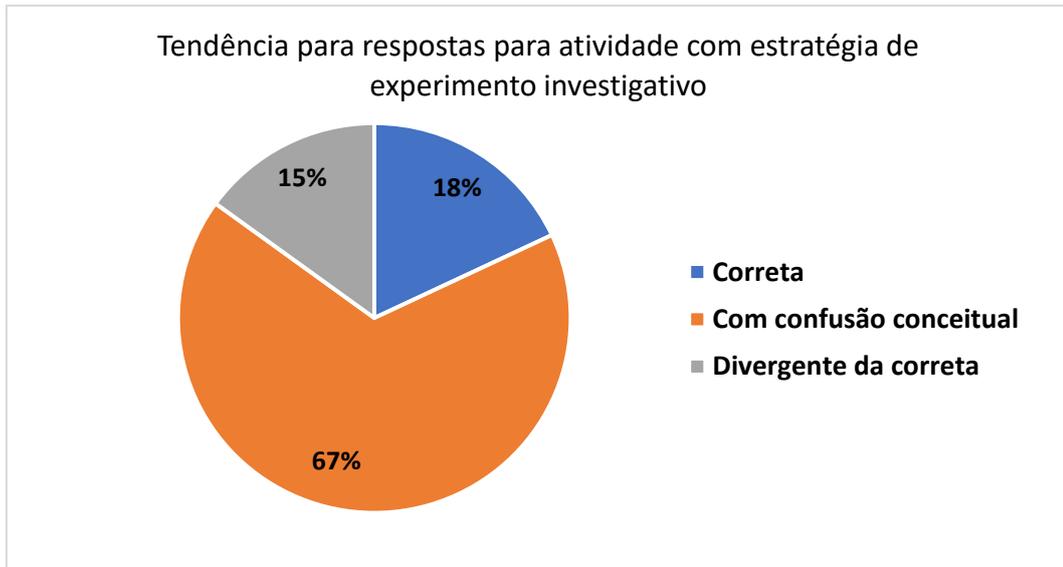
Tendência para resposta	Porcentagem de alunos
Correta	18%
Com confusão conceitual	67%
Divergente da correta	15%

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Nota-se que as respostas obtidas na atividade com estratégia de experimento investigativo, revelam que apenas 18% dos alunos tenderam a dar uma resposta correta para o fenômeno observado. Para 67% dos alunos, há uma certa confusão com relação a conceitos

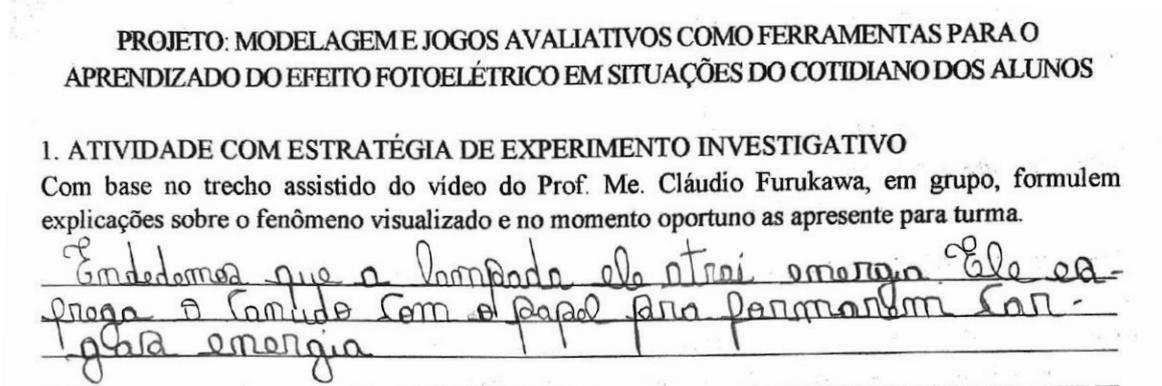
básicos, como por exemplo, os conceitos de carga elétrica e energia elétrica. Os outros 15% dos alunos apresentaram respostas divergentes da correta, vide Gráfico 1. Na Figura 17 tem-se uma das respostas dadas pelos alunos.

Gráfico 1 - Respostas para atividade com estratégia de experimento investigativo.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 17 - Explicação dada pelos alunos sobre o fenômeno visualizado na atividade com estratégia de experimento investigativo.



Legenda: Entendemos que a lâmpada atrai energia. Ele esfrega o canudo com o papel para formarem cargas de energia.

Fonte: Material produzido pelos alunos (2023)

Tendo esta turma passado pelo processo de ensino na modalidade de educação a distância (EaD) durante o período de pandemia da COVID-19, é provável que tenham ficado lacunas em seu aprendizado, o que justificaria as confusões conceituais. Este resultado

corroborar com os dados apresentados recentemente pelo Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (Pisa).

De acordo com os resultados da pesquisa do Pisa, divulgados em dezembro de 2023, para o período de 2022 cerca de 45% dos estudantes no Brasil podem no mínimo reconhecer a explicação correta para fenômenos científicos conhecidos e podem usar esse conhecimento para identificar, em casos simples, se uma conclusão é válida com base nos dados fornecidos. Quando fizeram o teste Pisa em 2022, 54% dos estudantes de 15 anos no Brasil estavam matriculados na primeira série do ensino médio. (BRASIL, 2023).

Outra situação observada foi o fato de alguns alunos quererem que a professora lhes desse as explicações para que eles pudessem dar suas respostas sem muitos esforços, revelando o imediatismo tão presente nessa geração.

Aula 02. Realização de simulações utilizando a plataforma PhET

Na segunda aula foram realizadas as simulações computacionais usando a plataforma PhET. Os primeiros minutos de aula foram usados para que a professora demonstrasse como funcionavam os comandos da plataforma e orientasse os alunos a realizarem as simulações. Alguns registros dessa aula podem ser visualizados na Figura 18.

Para a realização dessa atividade, os alunos mantiveram a formação dos grupos estabelecida na primeira aula e, foram instruídos a seguir um roteiro de atividade (Apêndice 1) previamente elaborado pela professora contendo o passo a passo para realizar a simulação. A cada etapa havia um questionamento para o qual eles deveriam registrar suas respostas, e assim ao final da atividade formular suas próprias conclusões sobre os resultados observados. O intuito aqui era conduzi-los a identificar as relações entre as grandezas envolvidas, a exemplo da relação entre a frequência da luz incidente e a quantidade de elétrons ejetados.

A atividade continha sete questões distribuídas ao longo de cinco passos. No primeiro passo eles deveriam ajustar a intensidade e o comprimento de onda para 100% e 720nm (correspondente à cor vermelha), respectivamente, mantendo o material da placa em sódio. Em seguida deveriam responder, com base em suas observações, se o EFE havia ocorrido. A maioria dos alunos respondeu corretamente que para essas condições não ocorria o EFE. Apenas um dos grupos respondeu equivocadamente que sim.

No passo seguinte, eles teriam que ajustar o comprimento de onda para 530nm (correspondente à cor verde) mantendo as condições anteriores quanto a intensidade e o material, e responder se o EFE foi ou não observado. Todos os grupos responderam corretamente que sim, para estas condições, o EFE podia ser observado.

Figura 18 - Aula 02: (a) instruções para o uso da plataforma PhET, (b), (c) e (d) realização das simulações pelos alunos.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

No terceiro passo, os alunos deveriam ajustar o comprimento de onda para 450nm (correspondente à cor azul), manter o material da placa em Sódio e a intensidade em 100%, e então responder sobre a quantidade de elétrons ejetados em comparação aquela observada no passo 2 (cor verde). A maioria dos alunos respondeu que houve um aumento no número de elétrons ejetados e que estes apresentavam maior velocidade em comparação ao passo anterior. No entanto, alguns alunos responderam que quanto menor a frequência, maior a ejeção de elétrons. Tais respostas sugerem que ou estes alunos confundiram os conceitos de comprimento de onda e frequência, ou eles não atentaram para a relação inversa entre essas grandezas (maior comprimento de onda, menor frequência e vice-versa). De qualquer forma, esta confusão pode tê-los levado ao equívoco, pois a quantidade de elétrons ejetados é proporcional ao aumento da frequência e, portanto, a diminuição do comprimento de onda. Isso foi corrigido com a revisão feita pela professora ao final da aula.

Em seguida, eles deveriam responder o que aconteceria se a intensidade fosse reduzida de 100% para 20%. Todos os grupos responderam que a quantidade de elétrons ejetados diminui. Porém, poucos fizeram menção a continuidade da ocorrência do EFE.

O roteiro experimental segue com a orientação para que os alunos ajustem o comprimento de onda para 230nm (região do ultravioleta - UV), mantendo o material da placa em Sódio e a intensidade em 100%. Em seguida, eles deveriam reduzir a intensidade de 100% para 60%, e depois para 20%. Após isso, os alunos deveriam comparar à quantidade de elétrons ejetados em relação àquela observada no passo 3 (cor azul). A maioria, cerca de 53% dos alunos, respondeu que a quantidade de elétrons ejetados aumentou em relação ao observado no passo anterior. Nessa questão, observou-se que as respostas traziam algumas falas equivocadas, como por exemplo, dizer que uma cor produz elétrons com maior intensidade que outra.

No último passo, a instrução era manter a intensidade em 100% e o comprimento de onda em 230nm, e verificar o que ocorreria ao variar o material da placa. Para essa questão, a maioria dos alunos responderam que a quantidade de elétrons ejetados variava para cada tipo de metal, sendo mais intensa para alguns metais e menos para outros, e que no caso da platina nem chegava a ocorrer o EFE.

Por fim, eles deveriam escrever um breve relato sobre os fatores que interferem no efeito fotoelétrico tomando como base os resultados observados durante a simulação. Neste caso, a maioria, ou seja, 66% dos alunos relataram corretamente que tanto o comprimento de onda (frequência), como o material da placa interferem no EFE. Alguns alunos também fizeram menção a intensidade da luz no que diz respeito a quantidade e a velocidade de elétrons ejetados, associando esse fator a ocorrência do EFE. Porém, isso foi retificado no final da aula quando a professora refez os passos do roteiro experimental, sanando as dúvidas, explicando sobre o EFE, a relação entre as grandezas físicas e a ocorrência ou não desse fenômeno, e com isso corrige interpretações equivocadas que alguns alunos tiveram ao longo da simulação.

Na Figura 19, pode-se visualizar um dos resumos produzidos pelos alunos ao final da atividade de simulação com o PhET. Para não tornar a leitura maçante, optamos por exibir apenas uma das respostas dadas pelos alunos, tendo em vista que, em sua maioria, os grupos responderam de forma semelhante.

Figura 19 - Resumo produzido pelos alunos sobre os fatores que interferem no EFE ao final da atividade de simulação com o PhET.

Questão 7: Tome como base as observações realizadas do passo 1 ao 5 e faça um breve relato sobre os fatores que interferem no efeito fotoelétrico.

O fatores que interferem no efeito foto elétrico mostrados nas questões são o comprimento de onda da luz, a intensidade da luz e o material de que é feita a placa que recebe a luz.

Legenda: Os fatores que interferem no efeito fotoelétrico mostrado nas questões são o comprimento de onda da luz, a intensidade da luz e o material de que é feito a placa que recebe a luz.

Fonte: Material produzido pelos alunos (2023).

A seguir apresentamos na Tabela 3 o resumo das tendências para respostas dos alunos às questões realizadas na atividade de modelagem computacional utilizando a plataforma PhET.

Tabela 3 - Análise das respostas para atividade de modelagem computacional com o PhET.

Questões do roteiro experimental	Tendência para resposta (porcentagem de alunos)		
	Correta	Com confusão conceitual	Divergente da correta
Q1 - Sobre a ocorrência do EFE	84%	-	16%
Q2 - Sobre a ocorrência do EFE	100%	-	-
Q3 - Sobre a quantidade de elétrons ejetados	16%	84%	-
Q4 - Sobre a diminuição de intensidade luminosa	63%	25%	12%
Q5 - Sobre a variação de comp. de onda e intensidade	53%	31%	16%
Q6 - Sobre a variação de material da placa metálica	56%	10%	34%
Q7 - Sobre os fatores que interferem no EFE	66%	22%	12%

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

De forma geral, percebe-se que para as questões levantadas na atividade de modelagem computacional a maioria dos alunos tenderam para dar respostas corretas. A exceção se dá para a questão Q3, para a qual os alunos tenderam a dar respostas com algum tipo de confusão conceitual. Porém, como dito anteriormente, tais equívocos foram corrigidos pela professora no momento oportuno.

Já no decorrer da aula, constatou-se que um tempo de aula, ou seja, 48 minutos, é pouco para realizar uma atividade como esta. É provável que com mais tempo para realização da atividade, os alunos conseguissem assimilar melhor os resultados verificados com a simulação, e com isso produzir, a partir de suas observações, textos mais concisos e claros.

Como sugestão para aplicações futuras, o roteiro experimental pode ter o número de passos e questões reduzido. Adicionalmente, dependendo da quantidade de alunos, o ideal é ter alguém para auxiliar a orientá-los durante a atividade além do professor. Outra ideia para a execução dessa atividade, caso a escola não disponha de computadores suficientes, é o próprio professor realizar a simulação, enquanto os alunos acompanham o passo a passo da atividade através da projeção desta em um Datashow. Deste modo, os alunos terão mais tempo para responder os questionamentos, mantendo sua atenção apenas na observação dos resultados simulados.

Aula 03. Aula expositiva sobre o EFE e suas aplicações e utilização de jogo educativo

A terceira aula foi uma aula expositiva e dialogada para apresentar as aplicações do EFE em nosso cotidiano (Figura 20a). Na oportunidade, foram explicados o funcionamento do LDR, do sistema de iluminação pública, a abertura e fechamento de portas automáticas, sistemas de alarme etc.

Logo no início da aula, foram mostradas imagens sobre dispositivos presentes no dia a dia dos alunos, cujo funcionamento está baseado em aplicações do EFE. E ao questioná-los sobre como esses dispositivos funcionavam, as respostas sempre vinham com um “é um sensor” ou “deve ter um acionamento remoto”. A cada explicação sobre uma aplicação do EFE no cotidiano, era observado a surpresa dos alunos ao descobrirem a ligação entre o que eles estavam estudando e sua utilização tecnológica em objetos presentes em seu dia a dia.

Nessa aula, a fim de ilustrar o funcionamento básico do sistema de iluminação pública foi exibido um vídeo⁹ demonstrando o funcionamento do relé fotoelétrico quando há incidência de luz sobre este (Figura 20b). Essa alternativa foi utilizada diante da impossibilidade de manter o ambiente da sala de aula com iluminação suficientemente baixa para ativação/desativação do relé fotoelétrico. Adicionalmente, um arranjo experimental composto por uma lâmpada, um soquete com célula fotoelétrica e fios condutores (Figura 21a) foi utilizado para demonstrar na prática a aplicação do EFE para o funcionamento de sensores. Este foi o ponto auto da aula, onde observou-se que um experimento demonstrativo, por mais simples que seja, pode

⁹ Fonte: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=QIHSIRFTP74>

enriquecer bastante a aula e despertar o interesse dos alunos. Alguns momentos dessa aula podem ser vistos nas Figuras 20 e 21.

Posteriormente, os alunos relataram terem observado os relés fotoelétricos instalados nos postes de iluminação pública na volta para casa, e lembrarem da aula ao passarem por portas automáticas.

Figura 20 - Aula 03: (a) aula expositiva sobre aplicações do EFE no cotidiano, (b) vídeo explicativo sobre o funcionamento dos relés fotovoltaicos instalados nos postes de iluminação pública.

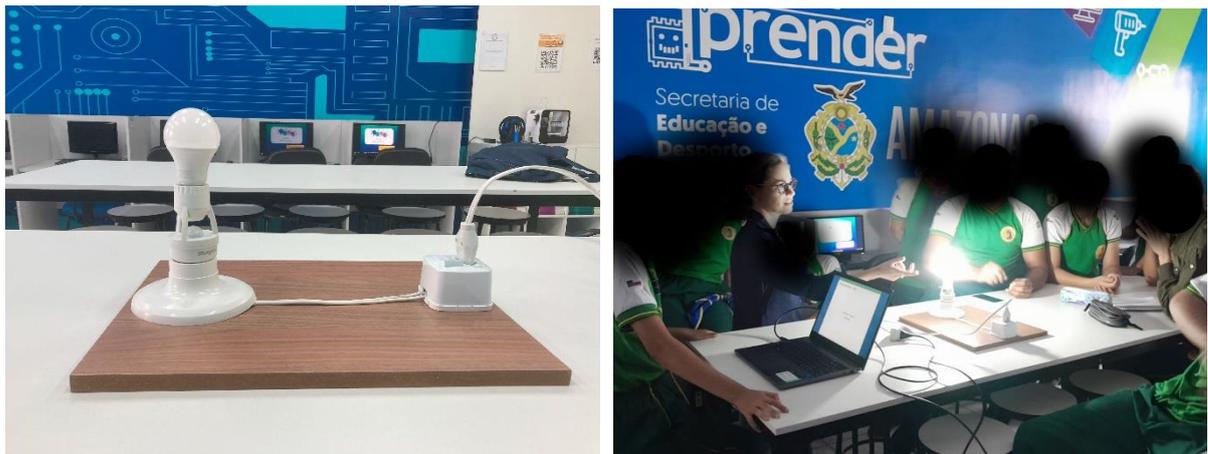


(a)

(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 21 - Aula 03: (a) arranjo experimental e (b) experimento demonstrativo.



(a)

(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

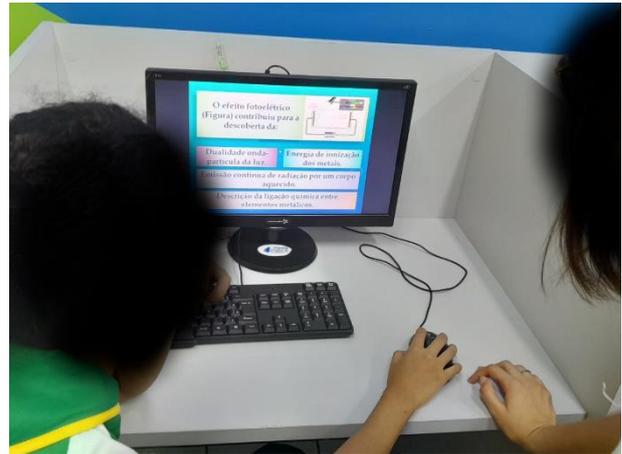
Finalizadas as explicações sobre as aplicações do EFE no cotidiano, um tempo da aula foi reservado para que os alunos testassem o conhecimento adquirido através de um jogo educativo (Quiz), elaborado pela autora, contendo dez questões de múltipla escolha sobre o

tema abordado na aula (Figura 22). Os alunos puderam jogar em grupo, discutindo as alternativas, e neste caso, a professora pôde auxiliá-los quando surgia alguma dúvida. Ao final, a professora repassou o quiz explicando cada questão e apontando as respostas corretas.

Figura 22 - Aula 03: (a) explicação sobre as regras do Quiz, (b) e (c) alunos jogando com Quiz, (d) professora repassando com os alunos as alternativas corretas do Quiz.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Aula 04. Coleta das concepções finais dos alunos

Por fim, na quarta e última aula foi realizada a avaliação da aprendizagem (Figura 23). Para isso, utilizamos novamente o jogo avaliativo aplicado na primeira aula. Vale salientar que ao final de cada aula a professora enviava aos alunos, por meio de aplicativo de mensagem instantânea, um resumo da aula para que eles pudessem revisar o conteúdo abordado em sala.

Assim como na primeira aula, quando foi realizada a coleta do desempenho inicial, as perguntas do jogo avaliativo foram exibidas no Datashow e os alunos foram instruídos a registrar suas respostas em um cartão (Figura 15b). Dessa forma, foi realizada a coleta do

desempenho final dos alunos. Esclarecendo novamente que isso se fez necessário devido a disponibilidade de computadores para realização da atividade. Logo em seguida, os alunos foram convidados de forma individual a jogarem, e com isso verificarem a nota obtida ao final do jogo. Os cartões resposta eram recolhidos à medida que os alunos finalizavam o jogo. Tais respostas foram comparadas àquelas obtidas na coleta inicial para verificar se houve melhorias, o que será discutido no tópico seguinte.

Figura 23 - Aula 04: Coleta do desempenho final dos alunos



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Após todos os alunos terem realizado a avaliação com o jogo avaliativo, este ficou a disposição para que quem quisesse pudesse jogar novamente. O interessante foi observar o quanto o jogo desperta o interesse dos alunos, ao ponto de formarem filas para jogar novamente, e mesmo aqueles alunos que tiraram notas relativamente boas (superiores à média) quiseram jogar novamente. Outra coisa interessante de se observar foi a troca de informações e as

discussões sobre as alternativas que eles acreditavam estarem corretas ou não. Aproveitando o a curiosidade dos alunos quanto as respostas corretas, os últimos minutos da aula foram usados pela professora para repassar o jogo e explicar quais as alternativas estavam corretas e o porquê.

Durante vários momentos ao longo do desenvolvimento desta pesquisa os alunos trabalharam em grupo, o que possibilitou a socialização entre eles e o compartilhamento de ideias. Novak (1981, apud ZOMPERO e LABURÚ, 2010, p. 15) enfatiza que em um fenômeno educativo algo é aprendido trocando significados com alguém, interagindo, seja com colegas, professores, através de livros, computadores, dividindo conhecimento e multiplicando ideias. Desse modo, a elaboração de atividades de ensino que possam ser realizadas em grupos, proporcionando a participação e cooperação entre os alunos, contribui positivamente para a aprendizagem significativa, por conta da troca de significados que se estabelece em tais situações (ZOMPERO e LABURÚ, 2010, p. 15).

4.2 Análise do desempenho inicial e final dos alunos

Os resultados analisados foram obtidos a partir do registro do desempenho dos alunos antes (concepção inicial) e após a aplicação da sequência didática (concepção final).

Para efeito de análise foram eliminados os dados dos alunos que faltaram a primeira aula, dia em que foi realizada a coleta do desempenho inicial, bem como os dados de alunos que faltaram a duas ou mais aulas. Portanto, foram utilizados apenas dados de alunos que acompanharam pelo menos 75% das aulas. Isso foi feito para que a análise fosse mais confiável. Após aplicação desse critério de análise, dos 36 alunos que frequentam regularmente as aulas, 27 deles estavam aptos a terem seus dados analisados, ou seja, 75% da turma.

A partir das respostas registradas pelos alunos nos cartões respostas antes e após a aplicação da sequência didática, foi possível fazer uma análise comparativa da frequência de acertos por questões. Estas frequências são apresentadas no Gráfico 2, onde é possível observar o número de acertos, e logo acima das barras a porcentagem correspondente a essa quantidade.

As questões do jogo avaliativo eram em sua maioria de múltipla escolha, com quatro alternativas de respostas, apenas uma questão apresentava duas alternativas, do tipo falso ou verdadeiro. Para conhecimento, as questões abordadas no jogo avaliativo foram as seguintes:

- Q1. O efeito fotoelétrico consiste na emissão de: (múltipla escolha);
- Q2. O efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo corpuscular para a luz. (verdadeiro ou falso);
- Q3. Qual das alternativas abaixo NÃO utiliza o efeito fotoelétrico? (múltipla escolha);

Q4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende: (múltipla escolha);

Q5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada: (múltipla escolha).

Analisando o Gráfico 2 é possível observar que a frequência de acertos após aplicação da sequência didática (desempenho final dos alunos, barra azul) melhorou significativamente para todas as questões. Isto é evidenciado se verificarmos, por exemplo, que o número de acertos para as questões Q3, Q4 e Q5 triplicou em comparação com o resultado inicial (desempenho inicial, barra laranja), o que pode ser interpretado como um indício de aprendizado.

Perceba que a questão Q1, que tratava sobre a definição do fenômeno do EFE, é a que apresenta a menor diferença entre os resultados. Mesmo assim, observa-se um aumento de 8% entre os acertos pré e pós sequência didática.

Para a questão Q2, a frequência de acertos praticamente dobrou em comparação com o resultado inicial. A princípio, a maioria dos alunos acreditava que o EFE não poderia ser explicado satisfatoriamente com a adoção do modelo corpuscular da luz. Porém, com o desenvolvimento das aulas essa ideia inicial foi mudada e a maioria dos alunos conseguiu associar corretamente o modelo corpuscular a explicação para o EFE.

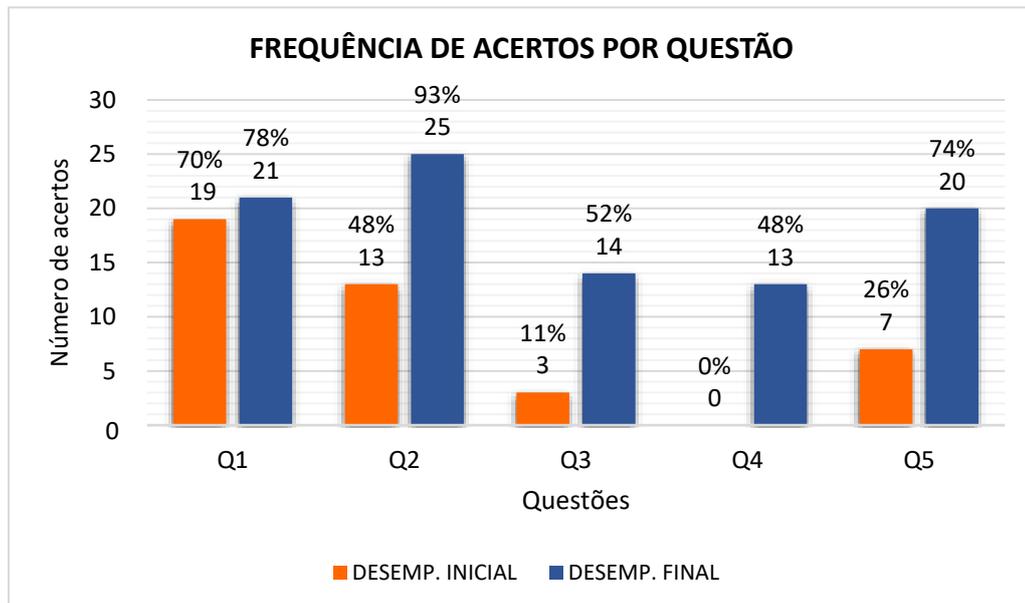
De modo geral, nota-se que as questões Q3 e Q4 foram as que apresentaram menor frequência de acertos em relação as demais, tanto antes como após a realização das aulas. No entanto, comparando os resultados iniciais e finais, percebe-se que houve um aumento significativo na quantidade de acertos, sugerindo que houve uma melhoria na compreensão deste conteúdo. Para a questão Q3, que tratava da aplicação do EFE no cotidiano do aluno, inicialmente mais da metade da turma, cerca de 63%, escolheu como resposta a alternativa que continha “porta do elevador” como sendo aquela que não utiliza o EFE para o seu funcionamento. Este resultado corrobora com o obtido por Erthal e Linhares (2005), que afirmam que os alunos do EM possuem uma grande carência sobre conhecimentos relacionados aos diferentes tipos de radiações eletromagnéticas, e sua utilização associada ao uso de tecnologias.

Inicialmente, apenas três alunos responderam corretamente à questão Q3, o que remete a uma taxa de acertos de 11%. Na avaliação final, 52% dos alunos responderam corretamente que, dentre as alternativas apresentadas, o aquecedor elétrico é o que não utiliza o EFE para o seu funcionamento revelando, portanto, um aumento de 40% na frequência de acertos após a aplicação da sequência didática.

No caso da questão Q4, que versava sobre a energia cinética dos elétrons ejetados, a frequência de acertos saiu de zero para 48%, ou seja, inicialmente nenhum aluno conseguiu responder corretamente à questão, após a sequência didática treze alunos conseguiram fazer corretamente a associação entre a energia cinética dos elétrons ejetados e a frequência da radiação incidente.

Uma das hipóteses para os resultados obtidos para as questões Q3 e Q4 após aplicação da sequência didática, pode estar relacionada a uma provável falta de atenção a leitura do enunciado das questões, pois quando a professora estava repassando o jogo, explicando quais as alternativas eram as corretas e o porquê, os alunos relatavam algum tipo de confusão quanto a interpretação da questão ou a não observância para algumas palavras, como por exemplo, na questão Q3 que alguns alunos relataram não terem observado a palavra NÃO, mesmo ela estando em destaque no enunciado.

Gráfico 2 - Frequência de acertos por questão antes (desempenho inicial: barra laranja) e após (desempenho final: barra azul) aplicação da sequência didática.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

De modo geral, percebe-se um aumento na frequência de acertos em todas as cinco questões após a realização da sequência didática. Tomando como base a média ponderada da quantidade de acertos do desempenho inicial (6 acertos) e final (18 acertos), fica evidente que a frequência de acertos da turma triplicou após aplicação da metodologia utilizada, sugerindo sua eficácia para o ensino sobre o EFE e suas aplicações no cotidiano do aluno. O que nos leva

a crer que tanto o material didático como a metodologia utilizados mostram-se potencialmente significativo para esse processo de ensino-aprendizagem.

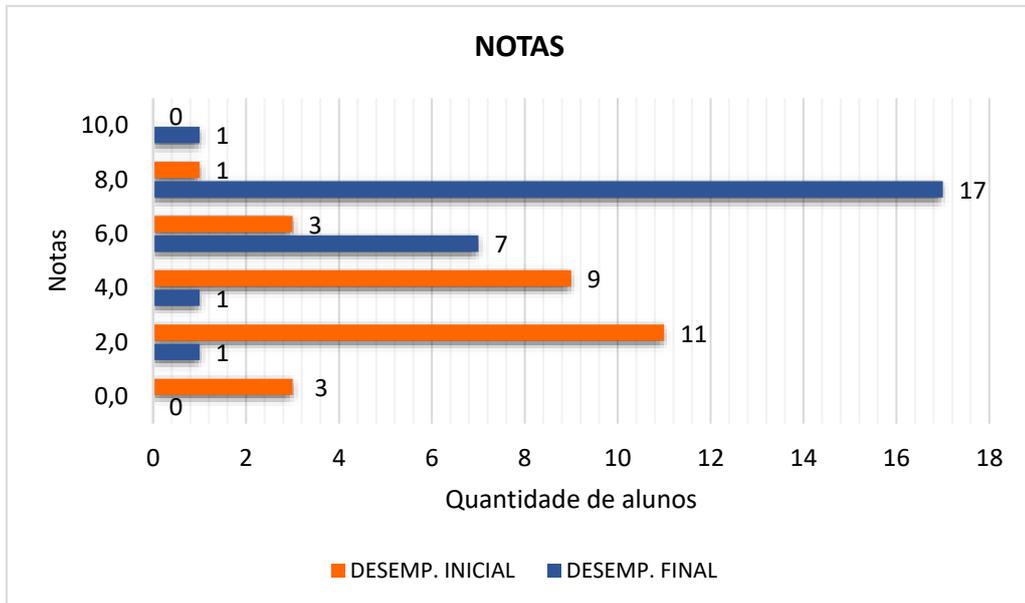
O Gráfico 3 traz o desempenho dos alunos a partir das notas obtidas ao jogarem o jogo avaliativo no momento da coleta das concepções inicial (barra laranja) e final (barra azul). De modo geral, perceber-se uma crescente nas notas obtidas após as aulas em comparação com aquelas obtidas de início.

Verifica-se também que inicialmente a maioria da turma, cerca de 85% dos alunos, ficou com notas abaixo da média (no estado do Amazonas a média é 6,0). Valor este que foi reduzido a 7% quando observadas as notas obtidas na coleta das concepções finais.

Nota-se ainda que de início as notas predominantes estavam entre 2,0 e 4,0, o que significa que a maioria dos alunos acertou entre uma e duas questões. Após a realização e acompanhamento das aulas ministradas, 93% dos alunos obtiveram notas igual ou superior à média, com predomínio da nota 8,0, indicando que eles responderam corretamente quatro das cinco questões contidas no jogo avaliativo. Lembrando que os alunos tiveram contato apenas duas vezes como o jogo avaliativo, na primeira aula, para coleta inicial de dados, e na última aula para avaliação final de aprendizagem após a aplicação do projeto.

Os alunos que não conseguiram atingir nota superior ou igual à média (6,0), puderam jogar novamente e tentar recuperar essa nota. Na ocasião, dos seis alunos que ficaram com notas abaixo da média, apenas dois não conseguiram recuperar, porém as notas obtidas foram superiores as iniciais.

Gráfico 3 - Notas por quantidade de alunos antes (desempenho inicial: barra laranja) e após (desempenho final: barra azul) aplicação da sequência didática.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Confirmando o que Lima (2018) constatou em sua pesquisa, a receptividade dos alunos e a disposição em aprender, foram fundamentais para oportunizar uma aprendizagem significativa e, conseqüentemente, para obtenção de tais resultados. Estes resultados, sugerem que a sequência didática aplicada é potencialmente significativa para o ensino do EFE no NEM.

4.3 Análise das percepções dos alunos quanto a sequência didática realizada

Após o encerramento do projeto foi solicitados aos alunos que respondessem a um questionário online sobre suas percepções com relação ao projeto, cujas perguntas foram as seguintes:

1. Você gostou da sequência de aulas (sequência didática) realizadas para o estudo do Efeito Fotoelétrico - EFE?
2. O que você achou da atividade de modelagem (simulação computacional) usando a plataforma PhET?
3. O que você achou da aula expositiva com experimento sobre as aplicações do EFE no cotidiano?
4. Você imaginava que o EFE estava tão presente no seu dia a dia (por exemplo em placa solar, porta automática, iluminação pública, sensores etc.)?
5. Em uma escala de 1 a 5, onde o 1 é “Não gostei nenhum pouco” e o 5 é “Gostei bastante”, quanto você gostou de fazer avaliação utilizando o jogo educativo?

6. Na sua opinião quais os pontos positivos do projeto (aulas e avaliação) para o ensino do EFE.
7. Aponte melhorias que você acredita serem necessárias.

As questões 1, 4 e 5 eram objetivas e a partir delas foram gerados gráficos que serão apresentados e discutidos a seguir. As demais questões eram dissertativas, porém eles deveriam dar respostas curtas.

De forma geral, segundo as respostas obtidas para questão 1 (Gráfico 4), 97% dos participantes aprovaram a sequência didática aplicada em sala de aula para o estudo do EFE. Quanto as questões 2 e 3, em sua maioria os alunos usaram termos como interessante, muito legal e boa para expressarem o que acharam das aulas. Em seus relatos, alguns alunos falaram que a forma como as aulas foram conduzidas tornou mais fácil o aprendizado do conteúdo. Eles deram especial ênfase a aula expositiva com demonstração experimental. Muitos alunos apontaram a importância da aula expositiva, pois, segundo eles, mostrou o quanto usamos a tecnologia do EFE aplicado no dia a dia. O que nos leva a crer que relacionar conteúdo ensinado em sala de aula e sua aplicação prática no dia a dia dá significado ao que é aprendido, tornando assim aprendizagem do assunto mais atraente. Adicionalmente, alguns alunos manifestaram a vontade de ter mais aulas desse tipo.

Gráfico 4 - Percepção dos alunos sobre o projeto: Respostas para questão 1.

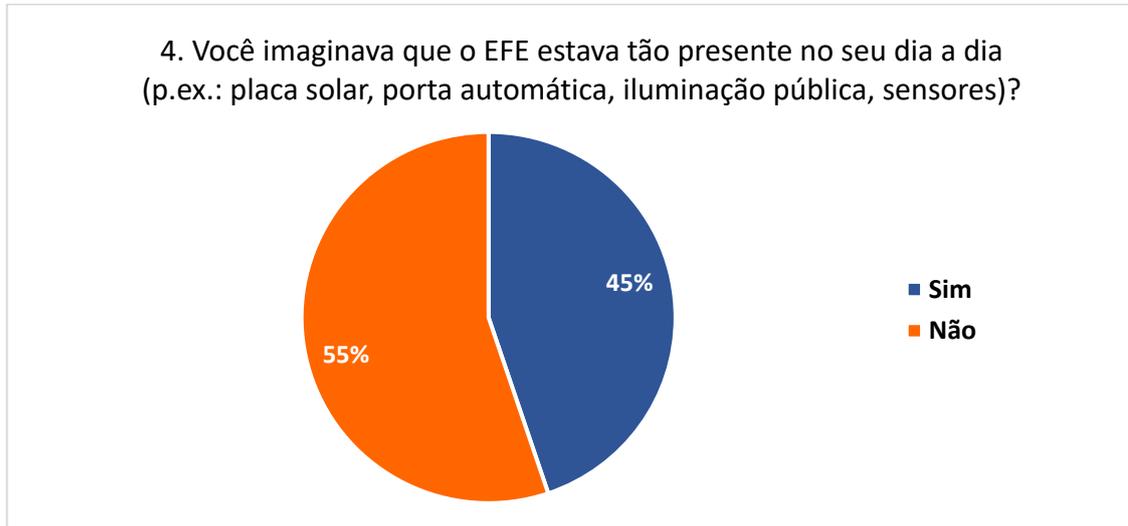


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As respostas as questões 4 e 5 podem ser visualizadas, respectivamente, nos Gráficos 5 e 6. Quando questionados sobre a utilização do EFE em seu cotidiano (questão 4), a maioria dos alunos, cerca de 55%, afirmou não ter conhecimento sobre isso. Na questão 5 os alunos tinham a opção de escolher em uma escala de 1 a 5 qual o conceito referente ao quanto eles

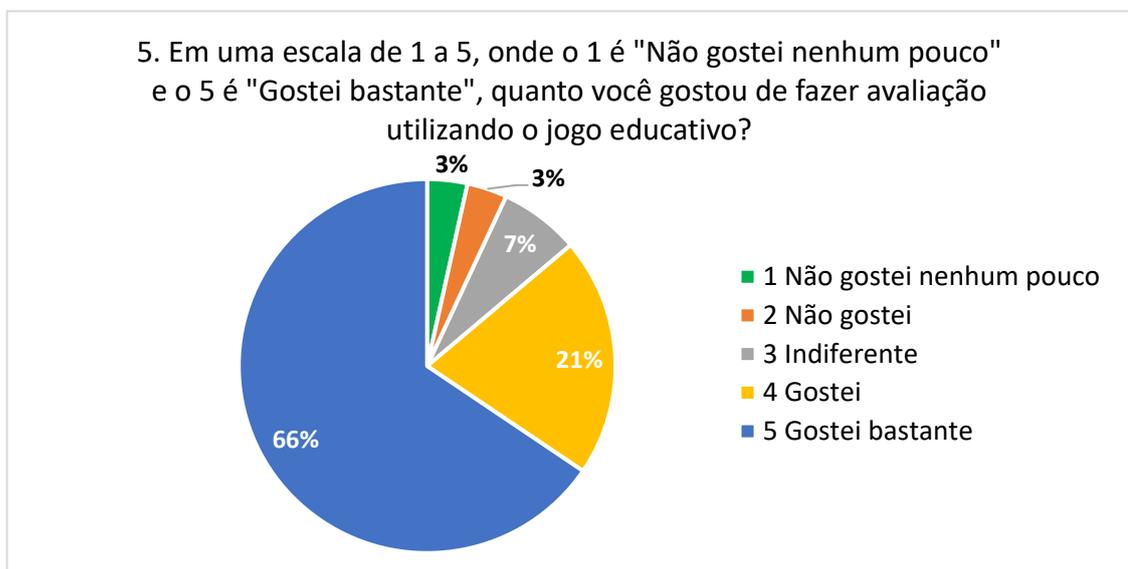
gostaram de realizar a avaliação através do jogo avaliativo. De acordo com as respostas, mais de 80% da turma gostou dessa forma de avaliação, apenas 6% dos alunos afirmaram não terem gostado.

Gráfico 5 - Percepção dos alunos sobre o projeto: Respostas para questão 4.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Gráfico 6 - Percepção dos alunos sobre o projeto: Respostas para questão 5.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Com relação as questões sobre os pontos positivos (questão 6) e os negativos (questão 7), de forma geral, a maioria dos alunos apontaram como pontos positivos a quebra da rotina de aulas com quadro e pincel, a utilização dos computadores (simulações), de vídeos,

experimentos e jogos que tornaram as aulas mais dinâmicas, interessantes e deixam a aprendizagem mais divertida, entre outros.

De acordo com as percepções dos alunos, dentre os pontos que devem ser melhorados estão a quantidade de computadores disponíveis e o tempo curto para realização de algumas atividades, como a simulação, por exemplo.

Adicionalmente, a maioria dos alunos que responderam ao questionário sobre suas percepções quanto a sequência didática realizada, expressaram a vontade de terem mais aulas com prática experimental, e a criação de novos jogos para avaliação de outros conteúdos. Em tese, isso nos leva a crer que a sequência didática aplicada nesta pesquisa atingiu os objetivos propostos inicialmente, pois despertou o interesse dos alunos e tornou o processo de aprendizagem divertido.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral desse estudo foi analisar de que maneira a utilização da modelagem e de jogos educativos podem contribuir para o aprendizado do efeito fotoelétrico em situações do cotidiano. Nesse contexto, a realização de aulas utilizando metodologias diferentes das costumeiras, de modo a sair um pouco da rotina do tradicional quadro e pincel, fez diferença na forma como os alunos encararam o aprendizado do conteúdo de física, sendo este um dos possíveis fatores que levaram aos resultados positivos obtidos.

A utilização de vídeos com estratégia de experimento investigativo, fez com que os alunos interagissem, trocando ideias sobre as causas prováveis para ocorrência do fenômeno físico que estava sendo estudado. As respostas obtidas a partir dessa atividade, revelaram algumas lacunas no aprendizado de conceitos que deveriam ter sido estudados nos anos anteriores, especialmente nos últimos anos do ensino fundamental II, a exemplo do conceito de carga elétrica.

A modelagem computacional tem se mostrado uma ferramenta bastante eficiente no auxílio da aprendizagem. A realização de atividade utilizando este recurso mostrou que os alunos conseguiram identificar a ocorrência do fenômeno do efeito fotoelétrico, e que em sua maioria os alunos tenderam a responder de forma correta as questões levantadas durante atividade. Porém, no decorrer da atividade observou-se que é necessário ajuste no roteiro experimental para se manter o tempo previsto no planejamento, ou seja, uma aula. Mesmo sendo nativos digitais, ao longo da atividade os alunos demonstraram certa dificuldade no domínio computacional básico, por exemplo, ao manusear o mouse para ajustar o comprimento de onda na plataforma PhET. Outro fator observado, foi a dificuldade que os alunos têm para se expressar através da escrita. Estes fatores geraram reclamações por parte dos alunos, e podem ter interferido no desempenho deles ao realizarem essa atividade.

Outro agravante percebido durante a realização da atividade de simulação, foi a quantidade insuficiente de computadores disponíveis, realidade da maioria das escolas públicas brasileiras. Assim, visando contornar as dificuldades relatadas, desde que estas tenham sido constatada anteriormente a realização da atividade, propõem-se como sugestão para trabalhos futuros, que o professor realize a modelagem enquanto os alunos acompanham e respondem as questões propostas no roteiro experimental. Lembrando que o roteiro experimental poderá ser adequado conforme o objetivo de ensino de cada professor.

A prática da experimentação em sala de aula mostra que, por mais simples que seja o experimento realizado, os alunos apreciam bastante esse tipo de atividade e, portanto, é algo

que deve estar presente sempre que possível no cotidiano das aulas. Fato este enfatizado no questionário sobre as percepções dos alunos ao responderem sobre a atividade experimental em sala de aula.

Com relação aos jogos, tanto o quiz como o jogo avaliativo, foram muito bem aceitos pelos alunos. Era notório o interesse deles em testar seu conhecimento através dos jogos. Tanto que ao escalonar o quanto gostaram de realizar a avaliação com um jogo avaliativo, a grande maioria aprovou essa forma de avaliação, ou seja, 87% dos alunos, dos quais 66% disseram ter “gostado bastante”. Essa aceitação nos sugere que o jogo torna sim o processo de aprendizado mais divertido, e que a avaliação não precisa necessariamente ter o rigor de uma prova escrita para que o professor possa avaliar o aluno.

Outro fato que deve ser considerado como parte importante para o sucesso desta pesquisa é que os alunos se mostraram receptivos a aprendizagem a cada aula ministrada, o que nos leva a supor que a maneira como a sequência didática foi pensada e desenvolvida cumpre com o seu objetivo de tornar as aulas mais dinâmicas, atrativas e divertidas, mantendo os alunos atentos ao que se lecionava durante a maior parte da aula.

Diante dos resultados apresentados, percebe-se que os objetivos propostos inicialmente foram alcançados, pois a sequência didática aplicada ao longo desta pesquisa proporcionou resultados satisfatórios na aprendizagem dos alunos. Portanto, nota-se que a efetividade alcançada ao se trabalhar o EFE a partir da sequência didática escolhida, leva a afirmação de que ela pode ser tratada como uma Unidade de Ensino Potencial Significativa (UEPS). Porém, é preciso destacar que o tempo disponível para trabalhar o conteúdo é importantíssimo, pois ele é fator preponderante na escolha das atividades que poderão ser realizadas para que a aprendizagem seja realmente significativa.

De forma geral, os resultados apresentados podem ser interpretados como um indício de aprendizagem significativa, uma vez que a metodologia utilizada, além de envolver material didático atrativo e a interação entre os alunos, fez uso do conhecimento prévio que eles tinham sobre o tema de forma a ampliá-lo através da incorporação de novas ideias. Vale ressaltar que, de acordo com Ausubel, na aprendizagem significativa o aluno consegue associar uma nova informação a um conhecimento já ancorado por ele. Portanto, a aprendizagem precisa ter um sentido para o aluno, e a nova informação deve interagir com os conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva deste.

REFERÊNCIAS

- ABREU, E. E.; ANDRADE, F. J. **Formação Continuada De Professores Para Criação De Jogos Didático No PowerPoint**. *E-Book: Objetos virtuais de aprendizagem na formação e prática docente*. Ideia, João Pessoa, 2020.
- ARAÚJO, W. M. **Teorias Da Aprendizagem** (Piaget, Vygotsky, Wallon, Ausubel, Comportamental Cognitiva) - Aula 6: Especialização em Metodologia do Ensino de Física. 2018.
- AUSUBEL, D. P. **A Aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes. 1982.
- BATISTA, D. C.; BATISTA, M. C.; FUSIANO, P. A. SANTOS, O. R. Atividade experimental para o ensino de física: Efeito fotoelétrico. **Caderno de Física da UEFS**, 19 (01): 1403.1-15 2021. Disponível em: <http://dfisweb.uefs.br/caderno/vol19n1/S4Artigo03EfeitoFotoeletrico.pdf>. Acesso 21 jan 2023.
- BATISTA, K. C. P.; ASSIS, A.; TRAVAIN, S. A. Efeito fotoelétrico - Uma abordagem experimental para o Ensino de Física Moderna. *In: XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XI ENPEC Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Anais[...]*. Florianópolis, 2017.
- BRASIL, **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)**. Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2006.
- BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). **Notas sobre o Brasil no Pisa 2022**. Brasília, DF: Inep, 2023. Disponível em: https://download.inep.gov.br/acoes_internacionais/pisa/resultados/2022/pisa_2022_brazil prt.pdf. Acesso 16 dez 2023.
- BULEGON, A. M. **Contribuições dos objetos de aprendizagem, no ensino de física, para o desenvolvimento do pensamento crítico e da aprendizagem significativa**. 2011. Tese (Doutorado em Informática na Educação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- CABRAL, J. C. **Efeito Fotoelétrico: uma abordagem a partir do estudo de circuitos elétricos**. 2015. Dissertação (Mestrado profissional em Física) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- CARVALHO, A. M. P. **Física: proposta para um ensino construtivista**. São Paulo: EPU, 1989.
- CARVALHO, R. B. G. Uma proposta para o ensino do efeito fotoelétrico a partir de uma contextualização histórica. **Revista Científica Semana Acadêmica**. Fortaleza, CE. Edição 230. V.11. 2023. <http://dx.doi.org/10.35265/2236-6717-230-12438>.
- CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna: Origens clássicas e fundamentos quânticos**. 2ª ed. Rio de Janeiro, LTC, 2016.
- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; SOUZA, D. F.; MUZINATTI, J. Uma aula sobre o Efeito fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. **Física na escola**, v.3, n.1, 2002. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol3/Num1/a08.pdf>. Acesso em: 03 jan 2023.

- COSTA, B. H. M. Uma Aula sobre o Efeito Fotoelétrico para o Ensino Médio. **Projeto de Instrumentação para o Ensino de Física** - Instituto de Física/UFRJ. Rio de Janeiro, 2005.
- COTINGUIBA, J. R. R. O. **O efeito fotoelétrico: uma demonstração de que a experiência não leva ao conhecimento da “verdade”**. 2022. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2022.
- CRIVELLI, L. O. F.; GAMA, A. S. A Produção De Jogos No PowerPoint: Explorando Possibilidades Com Alunos Portadores De Necessidades Especiais. **Revista Funec Científica - Educação**, v.1, n.1, p. 15-29, 2015.
- EBERHARDT, D.; ROCHA FILHO, J. B.; LAHM, R. A.; BAITELLI, P. B. Experimentação no ensino de Física Moderna: efeito fotoelétrico com lâmpada néon e LEDs. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 928-950, dez. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n3p928>.
- ERTHAL, J. P. C.; LINHARES, M. P. A física das radiações eletromagnéticas e o cotidiano dos alunos do ensino médio: construção de uma proposta de ensino. *In: V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Bauru. **Anais[...]**. Bauru, 2005.
- FIOLHAIS, C.; TRINDADE, J. Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 259-272, 2003.
- FREITAS, F. F. O Uso da Plataforma PhET para o Ensino do Efeito Fotoelétrico. 2017. **Produto educacional** (Mestrado Profissional Em Ensino De Ciências) - Universidade Federal De Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
- GOMES, L. B. A. **Uso de jogos no ensino de Física: da aprendizagem à avaliação**. TCC (Graduação em Física) – UFF, Niterói, 2019.
- GOMES, V. C. **O Uso De Simulações Computacionais Do Efeito Fotoelétrico No Ensino Médio**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.
- GUTMANN, F.; OLIVEIRA, N. Roteiro experimental: Estrutura da Matéria I: Experimento 1 – Efeito Fotoelétrico. UFBA, 2002.
- JAMMER, M. **The Conceptual Development of Quantum Mechanics**, McGraw-Hill, New York, 1966.
- JESUS, M. A. **A Inserção Da Física Moderna No Ensino Médio: Uma Proposta Metodológica**. 2011. Monografia (Graduação em Física) – Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes, 2011. Disponível em: https://repositorio.unifaema.edu.br/bitstream/123456789/428/5/Marco%20Aur%c3%a9lio%20de%20Jesus_TCC.pdf. Acesso 16 jan 2023.
- LIMA, A. F. **Proposta de uma UEPS para ensinar o efeito fotoelétrico no Ensino**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- KLASSEN, S. The photoelectric effect: Reconstructing the story for the physics classroom. **Science & Education**, v.18, p. 593-607, 2009b.
- KOVAČEVIĆ, M. S.; DJORDJEVIĆ, A. A mechanical analogy for the photoelectric effect. **Physics Education**, London, v. 41, n. 6, p. 551-555, nov. 2006.
- KUHN. T. **Black body theory and the quantum discontinuity 1894-1912**. The University of Chicago Press. Chicago & London, 1978.

- MAURÍCIO, J. T. Aprender Brincando: O Lúdico na Aprendizagem. 2007, p. 3. Disponível em: <http://www.profala.com/arteducesp140.htm>. Acesso: 21 jan 2023.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Editora da UnB. 1999.
- MOREIRA, M. A. O que é afinal Aprendizagem significativa? 2012. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>> Acesso: 27 out 2021.
- MOREIRA, M.A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: E.P.U, 2015.
- MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 43, e20200451, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451>.
- NISKIER, J.; MACINTYRE, A. J. **Instalações Elétricas**. 6ª. Edição. LTC. Rio de Janeiro, 2000.
- NOVAK, J. D. **Uma teoria de educação**. São Paulo, Pioneira, 1981.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**, v.4, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 2002.
- OSS, D. M. **Diretrizes para aquisição de luminárias led utilizadas em iluminação pública**. TCC (Engenharia Elétrica) - Universidade de Caxias do Sul, Bento Gonçalves, 2019.
- PAIVA, A. K. **Dominó didático de física: uma estratégia para o estudo de conceitos de física no ensino médio**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
- PENA, F.L.A. Por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e ideias de física moderna e contemporânea na sala de aula? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.28, n.1, p.1-2, 2006.
- PIETROCOLA M.; BROCKINGTON, G. Recursos computacionais disponíveis na internet para o ensino de física moderna e contemporânea. *In*: IV Encontro nacional de pesquisa em educação em ciências. Bauru. **Anais[...]**. Bauru, 2003.
- SILVA, A. C. A.; ANDRADE, R. R. D. Efeito Fotoelétrico: Um Fenômeno, Vários Experimentos. *In*: 7º Conapesc: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências. Campina Grande. **Anais Eletrônicos**. Campina Grande 2022.
- SILVA, D. D. A. **Confecção e aplicação de uma placa fotoeletrônica como ferramenta para mediar projetos pedagógicos sobre o efeito fotoelétrico no século XXI**. 2019. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
- SILVA, H. A. **O uso do jogo no Ensino de Física com foco nas competências e Habilidades do novo ENEM**. Dissertação (Mestrado Ensino de Ciências e Matemática) - CEFET/RJ, 2012.
- SILVA, L. F.; ASSIS, A. Física moderna no ensino médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 29, n. 2: p. 313-324, ago. 2012. DOI: 10.5007/2175-7941.2012v29n2p313
- SILVA, P. G. A. **Física Moderna para o Ensino Médio: Relato de uma experiência**. 2015. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – UFRPE, Garanhuns, 2015.
- SILVA, R. S. **Física moderna e contemporânea na educação básica: propostas de atividades experimental e lúdica para ensino do efeito fotoelétrico**. 2016. Monografia (Licenciatura em Física) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2016.

SILVEIRA, S.; GIRARDI, M. Desenvolvimento de um kit experimental com Arduino para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 39, nº 4, e4502, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0287>.

SOARES, J. M. S. **Análise da história do efeito fotoelétrico em livros didáticos de física para graduação**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.

SOUSA JR, F. A. L. **Estudando o efeito fotoelétrico**. 2017. Produto educacional (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – IFRJ, 2017.

SOUSA, H. C. M. **Proposta de unidade de ensino potencialmente significativa em radiação do corpo negro e efeito fotoelétrico**. 2023. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional Em Ensino de Física.) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2023.

ROSADA, A.M. C. **A importância dos jogos na Educação Matemática no Ensino Fundamental**. 2013. Monografia (Especialização em Educação: Métodos e Técnicas de Ensino) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Umuarama, 2013.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. **Cad. Bras. Ens. Fis.** v.9, n. 3, Florianópolis, 1992.

TIPLER, P. A.; LIEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 6ª edição, LTC, Rio de Janeiro, 2019.

VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. Ensinando Física Moderna no segundo grau: Efeito fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 121-135. 1998. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6896>. Acesso em: 03 jan 2023.

ZOMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. As atividades de investigação no Ensino de Ciências na perspectiva da teoria da Aprendizagem Significativa. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 5, n. 2, p. 12-19, Buenos Aires, 2010.

APÊNDICES

1. Roteiro experimental – PhET EFE

Para realizar a simulação na Plataforma PhET você deverá seguir as instruções abaixo e ao final de cada passo responder à(s) questão(ões) de acordo com suas observações.

1º passo:

- Selecione o material da placa para Sódio;
- Ajuste o comprimento de onda para 720nm ($f = 4,16 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondente à cor vermelha);
- Ajuste a intensidade para 0%, em seguida vá aumentando-a até 100%;

Questão 1: Houve ocorrência do efeito fotoelétrico?

() Sim () Não

2º passo:

- Mantenha o material da placa em Sódio e a intensidade em 100%;
- Ajuste o comprimento de onda para 530nm ($f = 5,66 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondente à cor verde);

Questão 2: É possível observar o efeito fotoelétrico?

() Sim () Não

3º passo:

- Ajuste o comprimento de onda para 450nm ($f = 6,66 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondente à cor azul);
- Mantenha o material da placa em Sódio e a intensidade em 100%;

Questão 3: O que você observou em relação à quantidade de elétrons ejetados em comparação aquela observada no passo 2 (cor verde)?

Questão 4: O que acontece se você diminuir a intensidade de 100% para 20%?

2. Sequência Didática

Escola Estadual Ângelo Ramazzotti

Disciplina: Física

Prof.: Soetânia Santos de Oliveira

Série: 2ª

Turma: 03

Turno: Matutino

Tema: Efeito Fotoelétrico e suas aplicações

Conteúdo:

- Efeito fotoelétrico e suas aplicações.
- Os conteúdos conceituais serão trabalhados a partir da exibição de vídeo sobre o EFE, com estratégia de ensino por experimento investigativo.
- Os conteúdos procedimentais serão trabalhados através da utilização de *softwares* educacionais como, por exemplo, o PhET do EFE, com estratégia de ensino por descobertas através da modelagem. Nesse caso, os alunos utilizarão a modelagem computacional do PhET, alterando as variáveis e observando os resultados que o fenômeno proporcionará a cada mudança.
- Os conteúdos atitudinais serão trabalhados a partir da aplicação de um jogo sobre o EFE, com estratégia de ensino por jogos lúdicos, em que os alunos deverão trabalhar em equipe e cumprir as regras estabelecidas no jogo.

Habilidades (BNCC):

- (EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.
- (EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.
- (EM13CNT308) Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.

Tempo da sequência didática:

4 aulas de 48 minutos cada.

Material necessário para sequência didática:

- Quadro, pincel, Datashow, computadores/tablets/celulares com acesso à internet, papel, lápis.

Aula 01 – duração: 48 min

A primeira aula terá dois momentos distintos, especificados a seguir.

- Coleta das concepções iniciais dos alunos. Para isso, será utilizado um jogo avaliativo. Onde os alunos vão jogar e receber uma pontuação inicial (10min).
- Apresentação do projeto e experimento investigativo: No segundo momento, será exibido um vídeo demonstrando o experimento sobre o efeito fotoelétrico (10 min). Ao término, do mesmo, será realizado um levantamento dos questionamentos de pesquisa acadêmica e divisão dos grupos (18 min), com discussão e revisão no final sobre o que foi pesquisado e revisado sobre o EFE (10min).

Aula 02- duração 48 min

- Realização de simulações utilizando a plataforma PhET: Inicialmente, a professora demonstrará como utilizar a plataforma PhET (05min), dando as instruções necessárias para seu manuseio. Em seguida, os alunos formarão grupos para realizar as modelagens e anotar os resultados (20 min). Os grupos seguirão um roteiro de atividade¹⁰ previamente elaborado pela professora e ao final, apresentarão suas conclusões a partir dos resultados observados (15 min). O fechamento da atividade será dado pela professora, sanando-se as dúvidas e explicações sobre o EFE (8 min).

Aula 03 – duração 48 min

- Jogo educativo: Nessa aula, os alunos irão participar brincando em um jogo educativo (Quiz) sobre o EFE (de 10 a 15 min), e depois a professora irá tirar dúvidas dos alunos sobre as questões corretas e/ou incorretas (15min), e a aula seguirá tratando-se sobre como o EFE mudou o nosso modo de vida (18 min).

¹⁰ Disponível no Apêndice: 1. Roteiro experimental – PhET EFE

Aula 04 – duração 48 min

- Coleta das concepções finais dos alunos: Na última aula, os alunos irão jogar novamente o jogo avaliativo, para verificar se a sua pontuação comparada com a inicial, melhorou ou não (48 min).

Finalização da sequência

A aprendizagem dos alunos poderá ser verificada através da comparação entre as percepções inicial e final, utilizando-se para isso a pontuação obtida em cada etapa. O professor também poderá acompanhar o aprendizado dos alunos através das discussões realizadas ao longo das aulas.

Para aqueles alunos que não conseguirem obter a nota mínima na avaliação, será realizada aula de revisão sobre o assunto, e após isso, os alunos terão oportunidade de jogar novamente no jogo avaliativo.

3. Produto Educacional



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS-ICE
INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS - IFAM
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 04

SOETÂNIA SANTOS DE OLIVEIRA

PRODUTO EDUCACIONAL

O ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO EM SITUAÇÕES DO
COTIDIANO ATRAVÉS DE JOGOS E MODELAGEM

MANAUS – AM
2024

SOETÂNIA SANTOS DE OLIVEIRA

O ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO EM SITUAÇÕES DO COTIDIANO ATRAVÉS
DE JOGOS E MODELAGEM

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: Modelagem e Jogos Avaliativos Como Ferramentas para o Aprendizado do Efeito Fotoelétrico em Situações do Cotidiano dos Alunos, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 04 – UFAM/IFAM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. Antonio Xavier Gil

Manaus – AM
2024

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

O48e Oliveira, Soetânia Santos de.
O ensino do efeito fotoelétrico em situações do cotidiano através de jogos e modelagem / Soetânia Santos de Oliveira. – Manaus, 2024.
45 p. : il. color.

Produto educacional proveniente da dissertação - Modelagem e jogos avaliativos como ferramentas para o aprendizado do efeito fotoelétrico em situações do cotidiano dos alunos (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Xavier Gil.

1. Ensino de física. 2. Efeito fotoelétrico. 3. Aprendizagem significativa. 4. Jogos avaliativos. I. Gil, Antonio Xavier. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 570.03

Agradecimentos

A Deus, pela alegria de viver e continuar aprendendo constantemente.

Aos meus pais, Maria de Lourdes S. Oliveira e Francisco Carlos de Oliveira, por terem apoiado todas as decisões que tomei e por estarem sempre ao meu lado.

Aos meus irmãos, Suetônio e Suênio, pelo incentivo e por se fazerem sempre presentes.

Ao meu orientador, Dr. Antonio Xavier Gil, pelas orientações valiosas.

Aos amigos e familiares que torceram pelo meu sucesso e compreenderam minha ausência em alguns momentos.

Aos amigos que fiz ao longo do curso de Mestrado, por compartilharem tantos momentos de aprendizagem, angústia, alegria e boas risadas, em especial a José Carlos, José Victor e Tiago.

A E.E. Ângelo Ramazzotti, em especial a gestora Ivana Borges, aos colegas e a turma do 2º 3 Matutino 2023, por acolherem e contribuírem com a realização do meu projeto.

A Universidade Federal do Amazonas (UFAM), ao Instituto Federal do Amazonas (IFAM) e ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, pela oportunidade de realizar este curso.

Aos professores do MNPEF polo 04, cujo empenho em transmitir conhecimento de forma clara facilitou bastante meu aprendizado ao longo do curso.

Aos membros da banca examinadora, pela colaboração na melhoria e engrandecimento deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro - código de financiamento 001- e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão de bolsa.

Enfim, muitas foram as pessoas que me ajudaram, direta e indiretamente, na realização deste trabalho, citar todas não seria possível, porém deixo aqui registrada a minha profunda gratidão a todas elas.

Sumário

Apresentação.....	82
1. Introdução.....	83
2. Fundamentação Teórica	84
2.1 Efeito Fotoelétrico.....	84
2.1.1 Aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano.....	89
3. Metodologia de ensino.....	93
3.1 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa - UEPS.....	96
3.1.2 Esquema da sequência didática.....	97
3.1.3 Descrição da sequência didática.....	99
4. Considerações Finais.....	103
Referências.....	104
Apêndices.....	106
1. Roteiro experimental – PhET EFE.....	106
2. Sequência Didática.....	108
3. Jogos desenvolvidos.....	111
3.1 Quiz.....	111
3.2 Jogo avaliativo.....	114

Apresentação

Prezados professores,

É com satisfação que lhes apresento a proposta de ensino intitulada “O Ensino Do Efeito Fotoelétrico Em Situações Do Cotidiano Através De Jogos E Modelagem”. Essa proposta foi elaborada com a finalidade de trabalhar o conteúdo sobre o efeito fotoelétrico e suas aplicações de forma mais dinâmica e atrativa para os alunos.

Este documento traz a descrição detalhada da sequência didática a ser seguida para trabalhar o efeito fotoelétrico no novo ensino médio. De acordo com a grade curricular do novo ensino médio, o estudo do efeito fotoelétrico faz parte dos conteúdos que devem ser abordados em Física na 2ª série.

O professor, como mediador do processo de ensino aprendizagem, poderá realizar as alterações nessa sequência de ensino que forem necessárias de acordo com o ambiente e seu público, mas sem desfocar do objetivo principal que é ensinar o efeito fotoelétrico e suas aplicações, potencializando a aprendizagem significativa.

Acredito que o material proposto será de grande utilidade no processo de ensino aprendizagem dos alunos para o conteúdo que se propõe. Acredito também que este pode vir a ser fonte de inspiração para propostas futuras. Desejo sucesso a todos que se dispuserem a utilizá-lo e colocá-lo a disposição para sanar eventuais dúvidas que possam surgir quando da aplicação deste produto.

Cordialmente,

Prof. Soetânia Santos de Oliveira

1. Introdução

Diariamente fazemos uso de tecnologias desenvolvidas graças aos conhecimentos decorrentes de estudos realizados na área de Física Moderna e Contemporânea (FMC), porém poucos fazem essa associação. Daí a importância de se abordar conteúdos de FMC ainda no EM.

Lecionar física, de maneira geral, no Ensino Médio (EM) em particular, é desafiador por vários motivos. Um deles é a necessidade de despertar e manter a curiosidade do aluno durante a aula. Outro grande desafio é quebrar a imagem que muitos alunos têm que a Física é uma disciplina em que eles estudarão um monte de fórmulas e as usarão apenas para passar nas provas.

Entende-se, portanto, que os conteúdos de FMC no NEM devam ser abordados de forma contextualizada, para que o aluno consiga fazer as relações entre a teoria e a sua aplicabilidade prática, o que estimulará o seu interesse e tornará a sua aprendizagem mais concreta. Assim, dentre os conteúdos estudados em FMC, optou-se por abordar o efeito fotoelétrico, uma vez que ele encontra várias aplicações tecnológicas, que estão presentes no dia a dia dos alunos, e fazer parte dos conteúdos que devem ser abordados em Física na 2ª série.

A proposta de ensino apresentada fundamenta-se na teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel, e tem a intenção de facilitar a abordagem e a compreensão desse fenômeno, por meio da produção de material potencialmente significativo. Além da contextualização, a metodologia adotada utiliza jogos educacionais sobre o efeito fotoelétrico, que conciliam a aprendizagem à diversão, alegria, felicidade e a um momento de aprendizagem mais dinâmico, e associada à utilização da plataforma PhET para modelagem do efeito fotoelétrico.

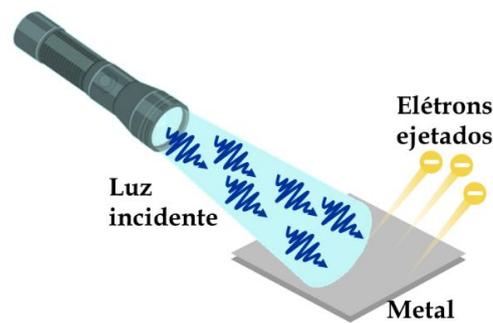
2. Fundamentação Teórica

Neste capítulo serão apresentados esclarecimentos acerca do tema a ser trabalhado, assim como um breve resumo de obras relevantes que tratam sobre o ensino do efeito fotoelétrico a nível de ensino médio.

2.1 Efeito Fotoelétrico

O fenômeno do Efeito Fotoelétrico (EFE), ilustrado na Figura 1, consiste na liberação de elétrons pela superfície de um metal, após absorção da energia proveniente da radiação eletromagnética incidente sobre ele, de tal modo que a energia da radiação é parcialmente transformada em energia cinética dos elétrons expelidos (CARUSO e OGURI, 2016, p. 320).

Figura 1 - Esquema do Efeito fotoelétrico.

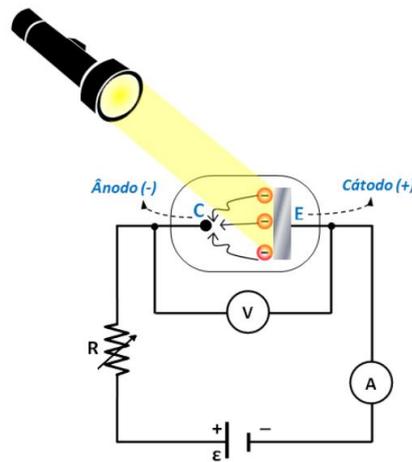


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Entre os anos de 1886 e 1887, o físico Heinrich Hertz confirmou experimentalmente a existência das ondas eletromagnéticas (oscilações formadas por campos elétricos e magnéticos variáveis, que se propagam tanto no vácuo quanto em meios materiais) e, por conseguinte, 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 (COTINGUIBA, 2022, p. 38). Por este motivo seu trabalho é considerado por muitos como sendo a primeira verificação experimental para o que atualmente denominamos efeito fotoelétrico. Porém, segundo Soares (2016, p. 20), embora Hertz tenha observado experimentalmente o fenômeno e tenha fornecido grandes contribuições para seu estudo, ele não se interessou pelo assunto ao ponto de explicá-lo, pois este não era seu intuito.

Após as observações de Hertz, o EFE passou a ser estudado por vários cientistas, utilizando aparatos experimentais projetados especialmente para isso. Na Figura 2 tem-se o esquema da montagem do experimento do EFE, onde (ϵ) é a força eletromotriz - *fem*, (A) é o amperímetro e (R) a resistência. Numa experiência típica, os eletrodos ficam dentro de uma ampola de quartzo evacuada, transparente à luz ultravioleta, estabelecendo-se entre eles uma diferença de potencial (V) e iluminando-se o catodo com luz de determinada frequência (ν) e intensidade (I_0), passando-se então a aferir a corrente elétrica (i) produzida com a utilização de um amperímetro (NUSSENZVEIG, 2002, p. 250).

Figura 2 - Montagem experimental do Efeito Fotoelétrico.



Fonte: JESUS (2011, p. 40).

Em 1902, Philipp Eduard Anton von Lenard, discípulo de Hertz, publica seu trabalho sobre o efeito fotoelétrico, no qual apresenta as leis do efeito fotoelétrico, oriundas das experiências que haviam sido realizadas, concluindo que a velocidade máxima com que os elétrons são ejetados por luz ultravioleta independe da intensidade luminosa (SOARES, 2016, p. 23), ou seja, independe da potência de radiação luminosa emitida pela fonte em uma certa direção (NISKIER e MACINTYRE, 2000, apud OSS, 2019, p.20).

De acordo com Klassen, (2009b, apud SOARES, 2016, p. 24), Lenard começou a investigar a natureza do efeito fotoelétrico ainda mais profundamente e descobriu que mesmo que os elétrons fossem emitidos, pois eram afetados pela intensidade da luz, nada acontecia com a energia cinética. Ele então constatou que a energia dos elétrons dependia do comprimento

de onda da luz incidente. Assim, a luz que possuísse comprimento de onda mais curto ejetava elétrons mais rapidamente.

De acordo com Caruso e Oguri (2016, p. 320), dentre os principais resultados observados por Lenard destacam-se:

- O fato da emissão de elétrons não depender da intensidade da luz incidente;
- Havendo emissão, e mantendo-se constantes a frequência e o potencial retardador, a corrente é proporcional à intensidade da luz;
- A ocorrência da emissão depende da frequência da luz;
- Para cada metal há um limiar de frequência, abaixo do qual não há emissão;
- Para uma determinada frequência, o potencial de corte independe da intensidade da luz;
- A energia cinética dos elétrons e o potencial de corte crescem com a frequência da luz.

Os trabalhos de Lenard de 1902 e 1906 são considerados grandes marcos para a evolução da Física, por contribuírem para os estudos acerca do efeito fotoelétrico (SOARES, 2016, p.24).

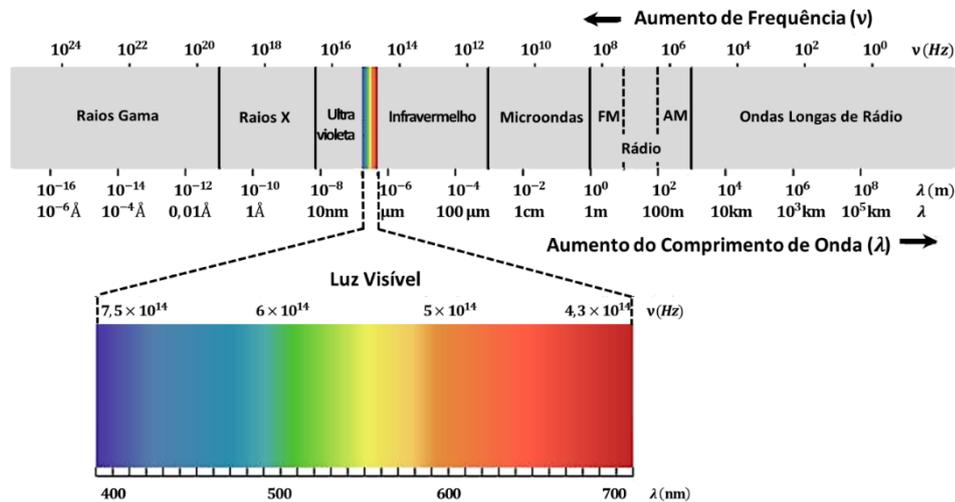
Em termos históricos o EFE tem sua raiz na ideia da quantização da energia proposta por Planck em 1900 para explicar o espectro de radiação de corpo negro (denominando de catástrofe do ultravioleta) (GOMES, 2011, p.24). Em 1905, Einstein explica os resultados de Lenard admitindo que a luz é quantizada. Partindo dos seus estudos sobre a constituição atômico-molecular da matéria ele propôs um modelo em que a luz se comportaria como pequenos pacotes de energia, os chamados quanta de luz (SILVA, 2018, p. 8). Assim, a luz de frequência (ν), em sua interação com a matéria, deveria ser constituída por quanta de luz de energia (ϵ) dada por:

$$\epsilon = h\nu \qquad \text{Eq. 3}$$

em que h é uma constante de proporcionalidade denominada constante de Planck, cujo valor é $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s. A Figura 3 ilustra a distribuições de frequências das ondas eletromagnéticas. Nesta Figura é possível também perceber a relação inversa que existe entre o comprimento de onda (λ) e a frequência (ν). Esta relação inversa entre o comprimento de onda e a frequência é confirmada matematicamente por meio da equação fundamental das ondas ($v =$

$\lambda \cdot \nu$), a partir da qual verifica-se que quanto maior for o comprimento de onda menor será a frequência e vice-versa ($\lambda = v/\nu$).

Figura 3 - Distribuição da frequência (ν) das ondas eletromagnéticas



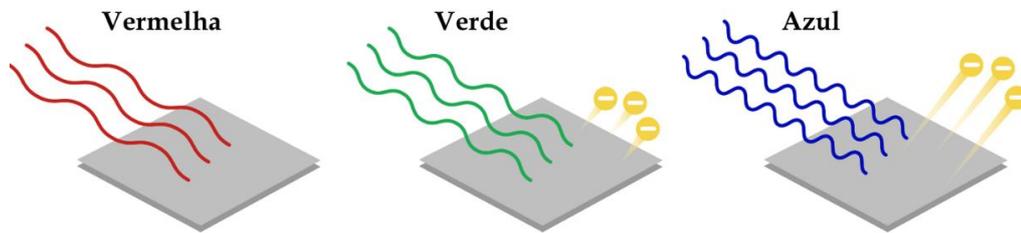
Fonte: <http://dan-scientia.blogspot.com/2010/03/relacao-da-frequencia-com-o-comprimento.html>

Segundo Einstein, ao interagir com o elétron do metal o fóton transmite-lhe toda a sua energia. Porém, para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada função trabalho (ϕ). Assim, a luz com comprimento de onda suficientemente pequeno incidindo em um determinado metal pode provocar a emissão de elétrons desse metal (Figura 4), o que caracteriza o EFE (JESUS, 2011, p. 39). Os elétrons que escapam do metal emergem com uma energia cinética máxima ($K_{máx}$), dada por (CARUSO e OGURI, 2016, p. 320):

$$K_{máx} = h\nu - \phi \quad \text{Eq. 4}$$

Analisando a equação 2, percebe-se que a energia cinética máxima não depende da intensidade da luz e sim de sua frequência, que se for maior que um valor específico de cada material, chamado frequência de corte (ν_0), poderá emitir um fóton (JESUS, 2011, p. 41).

Figura 4 - Placas de um mesmo metal (mesma função trabalho) iluminadas por fontes monocromáticas de frequências diferentes.



Fonte: Adaptado de: <https://pt.khanacademy.org/science/physics/quantumphysics/photons/a/photoelectric-effect>.

A equação anterior (Eq. 2) é compatível com o fato de que, ao se aumentar a intensidade da luz incidente, aumentando o número de fótons incidentes, aumenta-se também o número de elétrons emitidos e, portanto, a corrente, mas não a energia cinética máxima que cada elétron pode adquirir. Sendo assim, o potencial de corte (V), necessário para deter o fluxo de elétrons, é determinado pela condição de que a energia potencial elétrica (eV) deva ser igual à energia cinética máxima do elétron ejetado, ou seja (CARUSO e OGURI, 2016, p. 321),

$$eV = h\nu - \phi \quad \text{Eq. 3}$$

Segundo Jammer (1966, p. 35), as primeiras comprovações para o efeito fotoelétrico foram realizadas por A.L. Hughes no ano de 1912 e, posteriormente, por O.W. Richardson e K.T. Compton. Porém, as equações de Einstein só foram validadas, tendo sua confirmação exata, com os trabalhos por Millikan, desenvolvidos entre os anos de 1914 e 1916 (KUHN, 1978, p. 222). Millikan utilizou essa expressão para determinar a constante de Planck (h) em 1914, após uma sucessão de medidas.

Vale salientar que a comunidade científica levou mais de dez anos para reconhecer a validade do trabalho de Einstein e a necessidade de introduzir rupturas nas teorias clássicas (GUTMANN e OLIVEIRA, 2002, p. 3). Em 1921 Einstein recebeu o Prêmio Nobel de Física devido as suas explicações sobre o efeito fotoelétrico.

Essas informações podem ser compartilhadas com alunos do ensino médio, buscando-se fazer com que eles compreendam a importância que tais descobertas tiveram no processo de desenvolvimento tecnológico, vivenciado pela nossa sociedade.

2.1.1 Aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano

Apesar das polêmicas teóricas suscitada pelas explicações do efeito fotoelétrico, a indústria eletrônica utilizou o fenômeno para desenvolver uma série de componentes sensíveis à luz, os elementos fotossensíveis, baseados em dois processos distintos: emissão fotoelétrica e quebra de ligações covalentes em semicondutores devido à ação dos fótons. Dentre os componentes eletrônicos criados estão válvulas fotomultiplicadoras, válvulas captadoras de imagem e células fotoelétricas (CARUSO e OGURI, 2016, p. 321).

O entendimento sobre o EFE tornou possível sua aplicação em nosso cotidiano, trazendo melhorias e avanços significativos para a sociedade como um todo. Atualmente, existem vários objetos que utilizam como tecnologia o efeito fotoelétrico, como por exemplo, sistemas de alarmes, sistema de iluminação, portas automáticas, painéis solares, TV de LCD (*Liquid Crystal Display*) e Plasma, aparelhos de controle de contagem, máquinas industriais, sensores etc. (SILVA, 2018, p. 12).

Pode-se distinguir o EFE em dois tipos:

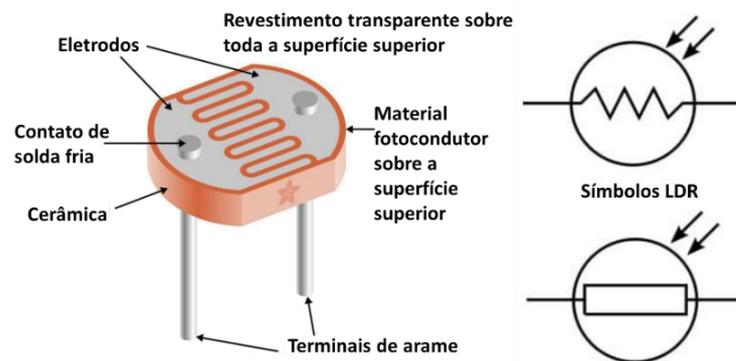
- O EFE externo, ou seja, o EFE propriamente dito, que consiste na emissão de elétrons pela matéria sob a ação da luz; e
- O EFE interno, próprio dos semicondutores¹¹, que consiste na transformação de energia elétrica, de forma direta, em energia luminosa, sendo este bastante usado nas resistências fotoelétricas.

Graças ao EFE tornou-se possível o cinema falado, assim como a transmissão de imagens animadas (televisão). De acordo com Sousa Jr (2017, p. 2), aparelhos cujos funcionamentos se assentam no aproveitamento do EFE controlam o tamanho das peças melhor do que pode fazer qualquer operário, permitem acender e desligar automaticamente a iluminação de ruas, dos faróis etc. Tudo isso se tornou possível devido à invenção de aparelhos especiais, chamados células fotoelétricas, em que a energia da luz controla a energia da corrente elétrica ou se transforma em corrente elétrica.

Um exemplo de dispositivo cujo funcionamento baseia-se no efeito fotoelétrico são as células fotocondutoras, conhecidas como LDR (*Ligth Dependent Resistor* - Resistência Dependente da Luz, em tradução livre). O LDR é um resistor cuja resistência elétrica varia com a intensidade da luz que incide sobre ele (SILVA, 2016, p. 43). A figura 5 traz uma ilustração de um LDR, assim como os símbolos utilizados para representá-lo.

¹¹ Semicondutores são materiais de estrutura geralmente cristalina com propriedades elétricas intermediárias entre as dos condutores e as dos isolantes.

Figura 5 – Dispositivo LDR.



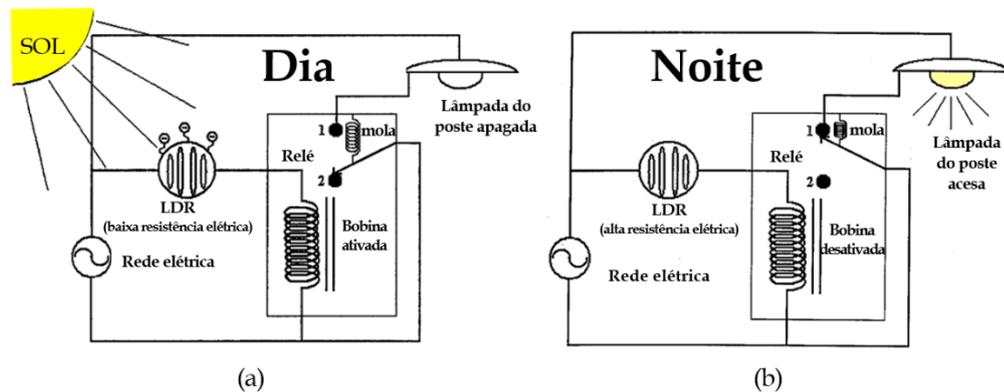
Fonte: Adaptado de: <https://albertoroura.com/controlando-un-led-con-un-ldr-en-arduino/>

O LDR constituído a partir de material semiconductor com alta resistência elétrica em sua constituição, ao ser iluminado tem a sua resistência elétrica reduzida, pois com a incidência de luz, de frequência suficiente, os elétrons absorvem a energia dos fótons, favorecendo à quebra de ligações covalentes¹², e, conseqüentemente, o aumento da quantidade de elétrons livres. Tal fenômeno melhorará a condutividade do material, diminuindo a resistência e facilitando a fluidez da corrente elétrica no circuito. Na ausência de luz incidente sobre o dispositivo, a resistência do LDR aumentará, em virtude da diminuição da quantidade de elétrons livres na banda de condução do material (SILVA, 2016, p.44-45).

Esta propriedade do LDR é empregada nos dispositivos controladores do sistema de iluminação pública (Figura 6), que produzem corrente elétrica quando expostos à iluminação, e acionam a bobina que produz um campo magnético, desligando o relé e abrindo o circuito da rede, não acendendo a lâmpada, mas à noite, não havendo corrente produzida por incidência de luz, não haverá um campo magnético produzido pela bobina, e o relé não é desligado; desta forma a corrente da rede elétrica acende a lâmpada (VALADARES e MOREIRA, 1998, p. 124-125).

¹² Em uma ligação covalente os elétrons da camada mais externa (valência) são compartilhados pelos átomos.

Figura 6 - Esquema do princípio de funcionamento do sistema de iluminação pública: arranjo do circuito durante (a) o dia e (b) durante a noite.



Fonte: Adaptado de VALADARES e MOREIRA (1998, p.124-125).

Além do sistema de iluminação pública, o LDR está presente em várias tecnologias do dia a dia, como por exemplo, em sistemas de alarme, detectores de presença, portas automáticas, portas de elevadores, esteiras de supermercado, controles remotos, entre outros. No caso da porta do elevador, por exemplo, um feixe de luz, ao ser interrompido, aciona um sistema automático que impede a porta de fechar. Esta situação é ilustrada na Figura 7.

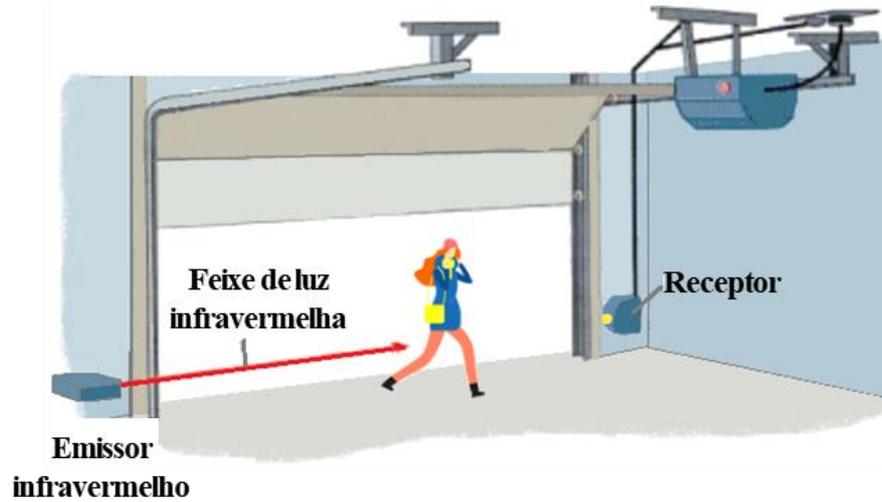
Figura 7 - Esquema de funcionamento da porta de elevadores.



Fonte: Adaptado de: <https://www.facebook.com/Prodesp/posts/2670693089643914/>

As portas automáticas, como aquelas presentes nas entradas de shoppings, têm funcionamento semelhante a porta do elevador (Figura 8). Neste caso, um feixe contínuo de luz infravermelha é emitido em direção a uma placa metálica, que está ligada em um circuito, fazendo com que o sistema mantenha a porta fechada. Quando uma pessoa passa na frente do feixe bloqueando-o, o circuito para de funcionar. Isso faz com que a porta se abra, voltando à posição de repouso (SOUSA JR, 2017, p. 4).

Figura 8 - Esquema de funcionamento de portas automáticas.



Fonte: SOUSA JR (2017, p. 4)

De acordo com Silva (2016, p. 44), o material mais utilizado na confecção do LDR é sulfeto de cádmio (CdS), pois tem uma sensibilidade à luz semelhante à do olho humano (faixa de luz visível). Para o uso em outras faixas de frequência, diferentes da visível, outros materiais são utilizados, como o arseneto de gálio para o infravermelho. Ainda segundo Silva (2016, p. 46), o funcionamento básico do LDR é o seguinte: quando o resistor é iluminado ou quando tem o feixe de luz que o iluminava interrompido, respectivamente, permite ou impede a passagem de corrente pelo circuito onde está acoplado, provocando o acionando ou a desativação de um sistema eletroeletrônico.

3. Metodologia de ensino

A metodologia empregada fundamenta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, uma vez que para seu efetivo desenvolvimento serão cumpridas etapas que envolvem simulações computacionais e jogos, portanto, um material didático atrativo para os alunos, e cuja aplicação proporcionará a interação entre os alunos e a utilização do conhecimento prévio que eles têm sobre o tema para, então, haver a consolidação do conhecimento científico.

Despertar o interesse dos alunos tem sido um desafio constante enfrentado pelos professores. Várias pesquisas têm mostrado que na sociedade atual torna-se cada vez mais importante a utilização de diferentes estratégias para melhorar o ensino-aprendizagem, especialmente de em áreas como o ensino da Física, que segundo Gomes (2019, p. 47), por ser uma ciência experimental e que muitas vezes se refere ao campo microscópico, necessita de especial atenção para melhorar os aspectos relacionados à aprendizagem.

Diante do exposto, elaborou-se uma sequência didática do tipo UEPS (Unidades de Ensino Potencialmente Significativas) a ser desenvolvida em cinco etapas: 1) Jogo Avaliativo para coleta das percepções iniciais dos alunos; 2) Exibição de um vídeo de experimento do EFE, com estratégia de experimento investigativo. Tal recurso conta com algumas potencialidades que podem ser visualizadas na Figura 9, nesta etapa serão explorados os conteúdos conceituais; 3) Utilização do *softwares* educacional PhET do EFE, com estratégia de ensino por descobertas através da modelagem, onde os alunos utilizarão a modelagem computacional no *software* de simulação PhET do EFE, mudando as variáveis e descobrindo novos resultados que o fenômeno físico proporcionar, nesta etapa serão explorados os conteúdos procedimentais; 4) Aplicação de um jogo sobre o EFE com estratégia de ensino por jogos lúdicos, nesta etapa serão explorados os conteúdos atitudinais; 5) Jogo Avaliativo para coleta das percepções finais dos alunos.

De acordo com Cabral (2015, p. 41), o experimento investigativo representa uma estratégia onde os alunos participam mais ativamente do processo de construção do saber. A ideia é fazer com que os alunos explorem todas as etapas de investigação dos conceitos, interpretação e possíveis soluções para o problema oferecendo-lhes oportunidades de analisar situações problemas relativas ao seu cotidiano, e com isso formular hipóteses, testá-las e tirar suas próprias conclusões. Nesse contexto, o papel do docente será levantar o debate e inspirar questionamentos que levem o aluno a argumentar sobre o fenômeno, e assim, refletindo sobre essas argumentações o aluno poderá construir os conceitos que a prática proporciona.

Figura 9 - Potencialidades do experimento investigativo no ensino de física.



Fonte: CABRAL (2015, p. 40).

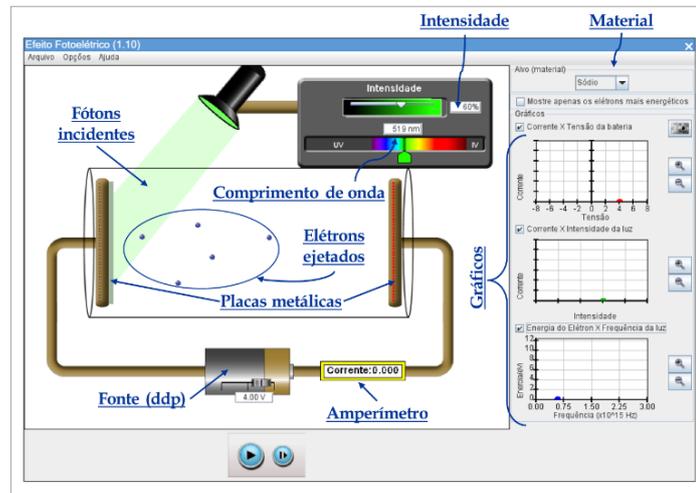
Como mencionado anteriormente, a busca por recursos que tornem as aulas mais dinâmicas e, conseqüentemente, a aprendizagem mais significativa, é uma constante na vida dos professores. Todos os dias o professor trava uma batalha com várias fontes de distração para o aluno, sejam elas conversas paralelas sobre assuntos que em nada acrescentam à aula, seja o uso do celular para acessar as redes sociais, jogos online etc. Com isso vem a necessidade de os professores estarem sempre inovando em sua sala de aula a fim de torná-las mais agradáveis. Assim, o uso da modelagem computacional e de jogos têm se mostrado ferramentas eficientes no auxílio da aprendizagem, não só na compreensão de conceitos, mas também por despertar o interesse dos alunos pelas aulas de física.

Softwares educacionais, a exemplo do PhET (*Physics Education Technology*)¹³, têm sido apontados como uma poderosa ferramenta no ensino de conteúdos conceitualmente difíceis, uma vez que oferecem a possibilidade de alterar valores e manusear as variáveis de forma interativa. De acordo com Bulegon (2011, p. 35), essa interação potencializa a aprendizagem, tornando-a mais significativa para os alunos. Assim, a utilização desse simulador se mostra uma excelente solução para apresentar o EFE de forma dinâmica em sala de aula.

O PhET apresenta algumas vantagens que foram cruciais para nossa escolha, dentre as quais destacamos o fato deste ser um *software* livre, ter uma versão em português, além de oferecer um simulador sobre o conteúdo de EFE (Figura 10), onde se pode visualizar gráficos, a luz como onda e fótons, além de fácil manuseio.

¹³ Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/

Figura 10 - Tela do Simulador do Efeito Fotoelétrico do PhET.



Fonte: Adaptado de FREITAS (2017, p. 9).

Desenvolvido pela Universidade do Colorado em 2002, o PhET oferece diversas simulações relacionadas ao ensino de física, biologia, química e matemática. Este produto busca auxiliar os professores de Física a trabalharem este conceito proposto nos livros didáticos apenas de forma conceitual, por meio de uma abordagem experimental com o uso de simulação (FREITAS, 2017, p. 8).

Sendo o jogo um convite tentador a diversão para jovens e um recurso didático poderoso usado no auxílio à aprendizagem, propõe-se nesta pesquisa a construção de um jogo educativo utilizando o editor de apresentação *Powerpoint* 2016 e os recursos nele disponíveis. Crivelli e Gama (2015, p. 1), acreditam ser viável a utilização do *PowerPoint* como uso de ferramenta pedagógica para atividades educacionais, uma vez que proporcionam ao educador desenvolver suas próprias aulas de forma mais atrativa.

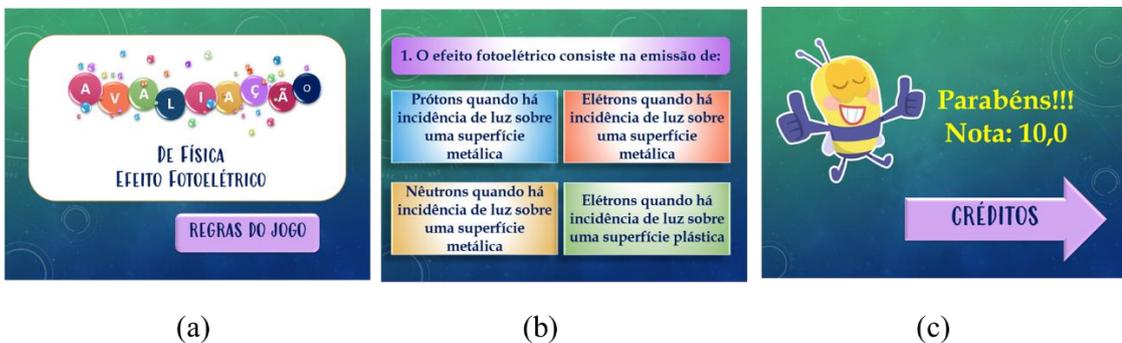
O editor *PowerPoint* foi desenvolvido com a finalidade de permitir a criação de slides e apresentações de imagens, multimídias e seus recursos básicos. No entanto, os recursos do editor possibilitam uma gama de projetos, incluindo a criação de jogos educativos, uma vez que permite a utilização de botão de ação, navegação através de hiperlinks, sons, efeitos etc. Utilizando os recursos disponíveis no *PowerPoint*, foram desenvolvidos dois jogos educativo. Inicialmente foi criado um Quiz contendo dez questões sobre o efeito fotoelétrico. Posteriormente, mais um jogo foi desenvolvido, desta vez um jogo avaliativo contendo cinco questões sobre o assunto, cada questão valendo dois pontos. Alguns trechos desses jogos podem ser visualizados nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 - Esboço do Quiz elaborado: (a) tela inicial, (b) tela exibindo o progresso do aluno no jogo, (c) modelo de questão a ser respondida.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 12 - Esboço do jogo avaliativo elaborado: (a) tela inicial, (b) modelo de questão a ser respondida, (c) tela exibindo a nota do aluno ao finalizar o jogo.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais também incentivam o uso dos jogos e apontam como uma das vantagens proporcionadas por esse recurso, o desafio proposto ao discente, o que faz com que os alunos sintam mais interesse e prazer em apresentar os conteúdos trabalhados na disciplina (BRASIL, 2006). Nesse sentido, os jogos podem funcionar como recursos fundamentais para a melhoria da qualidade do ensino nas escolas, o que se refletirá em uma sociedade com indivíduos capazes de buscar soluções, enfrentar desafios, criar estratégias e serem críticos. (ABREU e ANDRADE, 2020, p. 118).

3.1 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa - UEPS

A sequência didática do tipo UEPS deverá ser desenvolvida em cinco etapas: 1) Jogo Avaliativo para coleta das concepções iniciais dos alunos; 2) Exibição de um vídeo de experimento do EFE, com estratégia de experimento investigativo. Tal recurso conta com algumas potencialidades que podem ser visualizadas na Figura 10, nesta etapa serão explorados os conteúdos conceituais; 3) Utilização do *software* educacional PhET do EFE, com estratégia

de ensino por descobertas através da modelagem, onde os alunos utilizarão a modelagem computacional no *software* de simulação PhET do EFE, mudando as variáveis e descobrindo novos resultados que o fenômeno físico proporcionar, nesta etapa serão explorados os conteúdos procedimentais; 4) Aula expositiva e dialogada sobre o EFE e suas aplicações e utilização de jogo sobre o EFE com estratégia de ensino por jogos lúdicos, nesta etapa serão explorados os conteúdos atitudinais; 5) Jogo Avaliativo para coleta das concepções finais dos alunos.

As cinco etapas (Figura 13) poderão ser realizadas ao longo de quatro aulas de 48 minutos cada. As aulas deverão ser conduzidas de modo a levar o aluno possa relacionar o tema estudado com situações vivenciadas por ele diariamente. A seguir, serão apresentadas a proposta da estrutura da sequência didática e uma breve descrição do que pode ser realizado em cada aula.

3.1.2 Esquema da sequência didática

A sequência didática se guiará com base na seguinte estrutura:

Aula 01 – duração: 48 min

1ª Etapa: Coleta das concepções iniciais dos alunos.

Neste primeiro momento será utilizado um jogo avaliativo para a coleta das concepções iniciais dos estudantes (10 min). Onde os alunos vão jogar e receber uma pontuação inicial.

2ª Etapa: Apresentação do projeto e experimento investigativo.

No segundo momento, será exibido um vídeo demonstrando o experimento sobre o efeito fotoelétrico (10 min). Ao término, do mesmo, será realizado um levantamento dos questionamentos de pesquisa acadêmica e divisão dos grupos (18 min), com discussão e revisão no final sobre o que foi pesquisado e revisado sobre o EFE (10min).

Aula 02 – duração 48 min

3ª Etapa: Realização de simulações utilizando a plataforma PhET.

No terceiro momento, o professor, inicialmente demonstrará como utilizar a plataforma PhET (05min), dando as instruções necessárias para seu manuseio. Em seguida, os alunos formarão grupos para realizar as modelagens e anotar os resultados (20 min). Os grupos

seguirão um roteiro de atividade¹⁴ previamente elaborado, e ao final, apresentarão suas conclusões a partir dos resultados observados (15 min). O fechamento da atividade será dado pelo professor, sanando-se as dúvidas e explicações sobre o EFE (8 min).

Aula 03 – duração 48 min

4^a Etapa: Aula expositiva e dialogada e utilização de jogo educativo.

No quarto momento, após aula expositiva sobre as aplicações do EFE no cotidiano, os alunos irão participar brincando em um jogo educativo sobre o EFE (de 10 a 15 min), e depois o professor tirará dúvidas dos alunos sobre as questões corretas e/ou incorretas (15min), e a aula seguirá tratando-se sobre como o EFE mudou o nosso modo de vida (18 min).

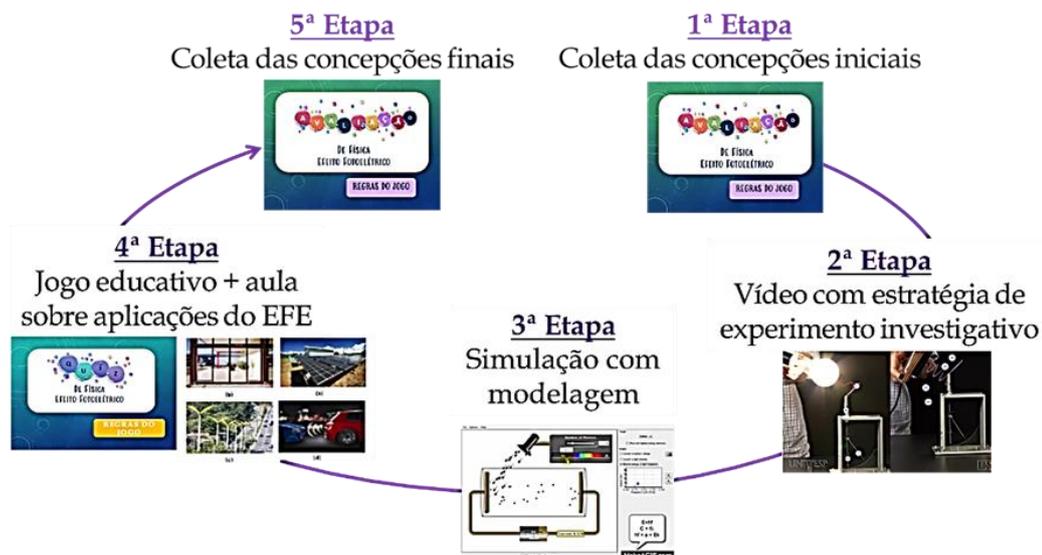
Aula 04 – duração 48 min

5^a Etapa: Coleta das concepções finais dos alunos.

Neste quinto momento, os alunos irão jogar novamente o jogo avaliativo para realização de avaliação de aprendizagem (48 min), e assim verificar se a sua pontuação comparada com a inicial, melhorou ou não após aplicação da sequência didática.

Por fim, o esquema metodológico da sequência didática, utilizando-se os jogos educativos desenvolvidos pela autora, pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 - Sequência didática sugerida.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

¹⁴ Disponível no Apêndice: 1. Roteiro experimental – PhET EFE

3.1.3 Descrição da sequência didática

As aulas devem ser planejadas buscando-se utilizar estratégias que levem os alunos a fazerem *links* entre o fenômeno do efeito fotoelétrico e suas aplicações no cotidiano. A seguir, uma breve descrição do que se propõem a ser realizado em sala de aula.

Aula 01. Coleta das concepções iniciais dos alunos e experimento investigativo

Inicialmente, na primeira aula, será realizada uma avaliação diagnóstica, a fim de identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o fenômeno a ser estudado. Tal avaliação será realizada através de um jogo avaliativo com perguntas objetivas sobre o EFE e sua utilização em nosso cotidiano. Como o jogo foi desenvolvido utilizando o *software PowerPoint* o ideal é que os alunos acessem o jogo a partir de um computador. No entanto, eles poderão acessá-lo usando seus aparelhos celulares. Nesse caso, faz-se necessário ter instalado no aparelho o *office* ou um leitor de *PowerPoint*. Então, após apresentada as regras do jogo, os alunos terão um tempo para jogar.

Para a coleta do desempenho inicial dos alunos sobre o tema a ser trabalhado, isto é, o EFE e suas aplicações, os alunos receberão um cartão resposta (Figura 14 a), e deverão ser instruídos a preenchê-lo com as respostas que acreditam serem as corretas. Em seguida, o professor deverá recolher os cartões resposta para futuras comparações.

Figura 14 - Cartão resposta para coleta do desempenho (a) inicial e (b) final dos alunos.

Projeto EFE - MNPEF Prof. Soetânia Oliveira Desempenho inicial				
Aluno(a):				
Questões	A	B	C	D
Q1				
Q2				
Q3				
Q4				
Q5				

(a)

Projeto EFE - MNPEF Prof. Soetânia Oliveira Desempenho final				
Aluno(a):				
Questões	A	B	C	D
Q1				
Q2				
Q3				
Q4				
Q5				

(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Em seguida, a turma deverá ser divisão em grupos (4 ou 5 alunos). Logo após, ocorrerá a realização do experimento investigativo, que consta da exibição de um trecho de um vídeo¹⁵ no qual o professor Me. Cláudio Furukawa demonstra o EFE. Inicialmente, esse trecho do vídeo

¹⁵ O vídeo pode ser encontrado no *link*: <https://www.youtube.com/watch?v=VVka6Mp5vyA>

será exibido sem áudio. Na sequência, será solicitado aos grupos que formulem explicações sobre o fenômeno visualizado no vídeo e as apresentem. Posteriormente, o vídeo será passado na íntegra e com áudio de modo que eles terão acesso a explicação sobre o fenômeno visualizado, o efeito fotoelétrico. Por fim, o professor fará uma revisão sobre o que foi visto e esclarecerá as possíveis dúvidas que ficarem após exibição do vídeo.

Aula 02. Realização de simulações utilizando a plataforma PhET

A segunda aula será utilizada para realização das simulações computacionais com o PhET. Na ocasião, será apresentado o simulador PhET e dada as instruções para manuseio. Esta aula deverá ser realizada no laboratório de informática e dependendo da quantidade de computadores disponíveis, poderão ser mantidos os grupos formados na aula anterior. Então, os grupos serão instruídos a seguir um roteiro de atividade (Apêndice 1) previamente elaborado e ao final responderão algumas questões que os conduzam a identificar as relações entre as grandezas envolvidas, a exemplo da relação entre a frequência da luz incidente e a quantidade de elétrons ejetado. O encerramento da aula será dado pelo professor, momento oportuno para que ele possa sanar as dúvidas que ficaram após realização da atividade.

Para realizar a atividade no tempo planejado, ou seja, um tempo de aula de 48 minutos, sugere-se que o roteiro experimental tenha o número de passos e questões reduzido. Adicionalmente, dependendo da quantidade de alunos, o ideal é ter alguém para auxiliar a orientá-los durante a atividade além do professor. Outra ideia para a execução dessa atividade, caso a escola não disponha de computadores suficientes, é o próprio professor realizar a simulação, enquanto os alunos acompanham o passo a passo da atividade através da projeção desta em um Datashow. Deste modo, os alunos terão mais tempo para responder os questionamentos, mantendo sua atenção apenas na observação dos resultados simulados.

Aula 03. Aula expositiva sobre o EFE e suas aplicações e utilização de jogo educativo

A terceira aula será uma aula expositiva e dialogada para apresentar as aplicações do EFE em nosso cotidiano. Na oportunidade, deverão ser explicados o funcionamento do sistema de iluminação pública, a abertura e fechamento de portas automáticas, sistemas de alarme etc. Nessa aula, a fim de ilustrar o funcionamento básico do sistema de iluminação pública poderá ser exibido um vídeo¹⁶ demonstrando o funcionamento do relé fotoelétrico quando há incidência de luz sobre este. Essa alternativa poderá ser utilizada diante da impossibilidade de

¹⁶ Fonte: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=QIHSIRFTP74>

manter o ambiente de sala de aula com iluminação suficientemente baixa para ativação/desativação do relé fotoelétrico. Adicionalmente, um arranjo experimental (Figura 15) composto por uma lâmpada, um soquete com célula fotoelétrica e fios condutores poderá ser utilizado para demonstrar na prática a aplicação do EFE para o funcionamento de sensores. Na ocasião, os alunos irão testar o conhecimento adquirido através de um jogo educativo (Quiz) sobre o EFE (Figura 11), elaborado pela autora, contendo dez questões sobre o tema abordado na aula.

Figura 15 - Aula 03: arranjo experimental.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Aula 04. Coleta das concepções finais dos alunos

Por fim, na quarta e última aula será realizada a avaliação da aprendizagem. Para isso, será utilizado novamente o jogo avaliativo (Figura 12) aplicado na primeira aula. Vale salientar que ao final de cada aula o professor deverá enviar aos alunos, por meio de aplicativo de mensagem instantânea ou outro meio que desejar, um resumo da aula para que eles possam revisar o conteúdo abordado em sala.

Mais uma vez, os alunos serão instruídos a registrar a pontuação obtida ao final do jogo no cartão reposta (Figura 14b). Feito isso, os cartões deverão ser recolhidos para análise do professor no que diz respeito ao desempenho dos alunos após aplicação da UEPS.

É interessante que esta aula aconteça no laboratório de informática, onde os jogos que deverão estar instalados nos computadores, pois caso ocorra alguma eventualidade (aluno sem celular, jogo não funcionar no celular etc.), nenhum aluno presente deixará de participar da atividade. No entanto, caso a escola não disponha de laboratório de informática, o professor poderá fazer uso de Datashow tanto para coleta do desempenho dos alunos na primeira como

na última aula. Para isso basta exibir as questões do jogo avaliativo e instruir os alunos a registrar suas respostas no cartão resposta.

Durante vários momentos ao longo do desenvolvimento desta pesquisa os alunos trabalharão em grupo, o que possibilitará a socialização entre eles e o compartilhamento de ideias. Novak (1981, apud ZOMPERO e LABURÚ, 2010, p. 15) enfatiza que em um fenômeno educativo algo é aprendido trocando significados com alguém, interagindo, seja com colegas, professores, através de livros, computadores, dividindo conhecimento e multiplicando ideias. Desse modo, a elaboração de atividades de ensino que possam ser realizadas em grupos, proporcionando a participação e cooperação entre os alunos, contribui positivamente para a aprendizagem significativa, por conta da troca de significados que se estabelece em tais situações (ZOMPERO e LABURÚ, 2010, p. 15).

Ao professor caberá avaliar o desempenho dos alunos ao longo das aulas, bem como comparar os resultados obtidos na primeira e segunda aplicação do jogo avaliativo, a fim de averiguar se houve indícios de aprendizagem significativa pelos alunos do tema abordado. De forma complementar, o professor poderá solicitar a construção de um mapa conceitual/mental sobre o EFE com base nas aulas realizadas.

4. Considerações Finais

A aplicação da UEPS descrita acima, foi pensada para tornar as aulas de física mais dinâmicas e atrativas aos alunos. A realização de aulas utilizando metodologias diferentes das costumeiras, de modo a sair um pouco da rotina do tradicional quadro e pincel, faz diferença na forma como os alunos encaram o aprendizado de conteúdos de física.

A utilização de vídeos com estratégia de experimento investigativo, faz com que os alunos interajam, trocando ideias sobre as causas prováveis para ocorrência do fenômeno físico que está sendo estudado. A modelagem computacional tem se mostrado uma ferramenta bastante eficiente no auxílio da aprendizagem, não só na compreensão de conceitos, mas também por despertar o interesse dos alunos pelas aulas de física.

A prática da experimentação em sala de aula, por mais simples que seja o experimento realizado, é bastante apreciada pelos alunos e, portanto, é algo que deve estar presente sempre que possível no cotidiano das aulas. Com relação ao jogo, sendo este um convite tentador a diversão para jovens e um recurso didático poderoso usado no auxílio à aprendizagem, sua utilização em sala de aula pode proporcionar situações de ensino-aprendizagem que aumentam a construção do conhecimento, introduzindo atividades lúdicas e interessantes para os alunos, desenvolvendo a capacidade de iniciação, imaginação e motivação.

Neste contexto, defende-se que a utilização dos recursos acima citados podem e devem ser empregados pelos professores como estratégias para fugir da mesmice das aulas tradicionais tão presentes em nossas escolas. Portanto, com a metodologia sugerida nessa sequência didática, espera-se contribuir para melhorias no processo ensino-aprendizagem da Física, uma vez que, além de utilizar recursos digitais presentes na vida do aluno, pode mostrar-lhes que é possível aprender conceitos Físicos de forma divertida.

Adicionalmente, espera-se que, ao final dessa jornada, alunos e professor tenham a oportunidade de compreender a fundo o que quis dizer Confúcio a falar que “A essência do conhecimento científico é a sua aplicação prática”.

Referências

- ABREU, E. E.; ANDRADE, F. J. **Formação Continuada De Professores Para Criação De Jogos Didático No PowerPoint. E-Book: Objetos virtuais de aprendizagem na formação e prática docente.** Ideia, João Pessoa, 2020.
- BRASIL, **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+).** Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2006.
- BULEGON, A. M. **Contribuições dos objetos de aprendizagem, no ensino de física, para o desenvolvimento do pensamento crítico e da aprendizagem significativa.** 2011. Tese (Doutorado em Informática na Educação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- CABRAL, J. C. **Efeito Fotoelétrico: uma abordagem a partir do estudo de circuitos elétricos.** 2015. Dissertação (Mestrado profissional em Física) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna: Origens clássicas e fundamentos quânticos.** 2ª ed. Rio de Janeiro, LTC, 2016.
- COTINGUIBA, J. R. R. O. **O efeito fotoelétrico: uma demonstração de que a experiência não leva ao conhecimento da “verdade”.** 2022. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2022.
- CRIVELLI, L. O. F.; GAMA, A. S. A Produção De Jogos No PowerPoint: Explorando Possibilidades Com Alunos Portadores De Necessidades Especiais. **Revista Funec Científica - Educação**, v.1, n.1, p. 15-29, 2015.
- FREITAS, F. F. O Uso da Plataforma PhET para o Ensino do Efeito Fotoelétrico. 2017. **Produto educacional** (Mestrado Profissional Em Ensino De Ciências) - Universidade Federal De Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
- GOMES, L. B. A. **Uso de jogos no ensino de Física: da aprendizagem à avaliação.** 2022. TCC (Graduação em Física) – UFF, Niterói - RJ, 2019.
- GOMES, V. C. **O Uso De Simulações Computacionais Do Efeito Fotoelétrico No Ensino Médio.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.
- GUTMANN, F.; OLIVEIRA, N. Roteiro experimental: Estrutura da Matéria I: Experimento 1 – Efeito Fotoelétrico. UFBA, 2002.
- JAMMER, M. **The Conceptual Development of Quantum Mechanics**, McGraw-Hill, New York, 1966.
- JESUS, M. A. **A Inserção Da Física Moderna No Ensino Médio: Uma Proposta Metodológica.** 2011. Monografia (Graduação em Física) – Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes-RO, 2011. Disponível em: https://repositorio.unifaema.edu.br/bitstream/123456789/428/5/Marco%20Aur%c3%a9lio%20de%20Jesus_TCC.pdf. Acesso 16 jan 2023.
- KLASSEN, S. The photoelectric effect: Reconstructing the story for the physics classroom. **Science & Education**, v.18, p. 593-607, 2009b.
- KUHN. T. **Black body theory and the quantum discontinuity 1894-1912.** The University of Chicago Press. Chicago & London, 1978.

- NOVAK, J. D. **Uma teoria de educação**. São Paulo, Pioneira, 1981.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**, v.4, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 2002.
- SILVA, D. D. A. **Confecção e aplicação de uma placa fotoeletrônica como ferramenta para mediar projetos pedagógicos sobre o efeito fotoelétrico no século XXI**. 2019. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
- SILVA, R. S. **Física moderna e contemporânea na educação básica: propostas de atividades experimental e lúdica para ensino do efeito fotoelétrico**. 2016. Monografia (Licenciatura em Física) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2016.
- SOARES, J. M. S. **Análise da história do efeito fotoelétrico em livros didáticos de física para graduação**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.
- SOUSA JR, F. A. L. **Estudando o efeito fotoelétrico**. 2017. Produto educacional (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – IFRJ, 2017.
- TIPLER, P. A.; LIEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 6ª edição, LTC, Rio de Janeiro, 2019.
- VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. Ensinando Física Moderna no segundo grau: Efeito fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 121-135. 1998. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6896>. Acesso em: 03 jan 2023.
- ZOMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. As atividades de investigação no Ensino de Ciências na perspectiva da teoria da Aprendizagem Significativa. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 5, n. 2, p. 12-19, Buenos Aires, 2010.

Apêndices

1. Roteiro experimental – PhET EFE

Para realizar a simulação na Plataforma PhET você deverá seguir as instruções abaixo e ao final de cada passo responder à(s) questão(ões) de acordo com suas observações.

1º passo:

- Selecione o material da placa para Sódio;
- Ajuste o comprimento de onda para 720nm ($f = 4,16 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondente à cor vermelha);
- Ajuste a intensidade para 0%, em seguida vá aumentando-a até 100%;

Questão 1: Houve ocorrência do efeito fotoelétrico?

() Sim () Não

2º passo:

- Mantenha o material da placa em Sódio e a intensidade em 100%;
- Ajuste o comprimento de onda para 530nm ($f = 5,66 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondente à cor verde);

Questão 2: É possível observar o efeito fotoelétrico?

() Sim () Não

3º passo:

- Ajuste o comprimento de onda para 450nm ($f = 6,66 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondente à cor azul);
- Mantenha o material da placa em Sódio e a intensidade em 100%;

Questão 3: O que você observou em relação à quantidade de elétrons ejetados em comparação aquela observada no passo 2 (cor verde)?

Questão 4: O que acontece se você diminuir a intensidade de 100% para 20%?

2. Sequência Didática

Nome da Escola

Disciplina: Física

Prof.:

Série: 2ª

Turma:

Turno:

Tema: Efeito Fotoelétrico e suas aplicações

Conteúdo:

- Efeito fotoelétrico e suas aplicações.
- Os conteúdos conceituais serão trabalhados a partir da exibição de vídeo sobre o EFE, com estratégia de ensino por experimento investigativo.
- Os conteúdos procedimentais serão trabalhados através da utilização de *softwares* educacionais como, por exemplo, o PhET do EFE, com estratégia de ensino por descobertas através da modelagem. Nesse caso, os alunos utilizarão a modelagem computacional do PhET, alterando as variáveis e observando os resultados que o fenômeno proporcionará a cada mudança.
- Os conteúdos atitudinais serão trabalhados a partir da aplicação de um jogo sobre o EFE, com estratégia de ensino por jogos lúdicos, em que os alunos deverão trabalhar em equipe e cumprir as regras estabelecidas no jogo.

Habilidades (BNCC):

- (EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.
- (EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.
- (EM13CNT308) Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.

Tempo da sequência didática:

4 aulas de 48 minutos cada.

Material necessário para sequência didática:

- Quadro, pincel, Datashow, computadores/tablets/celulares com acesso à internet, papel, lápis.

Aula 01 – duração: 48 min

A primeira aula terá dois momentos distintos, especificados a seguir.

- Coleta de dados iniciais sobre as concepções dos alunos. Para isso, será utilizado um jogo avaliativo. Onde os alunos vão jogar e receber uma pontuação inicial (10min).
- Apresentação do projeto e experimento investigativo: No segundo momento, será exibido um vídeo demonstrando o experimento sobre o efeito fotoelétrico (10 min). Ao término, do mesmo, será realizado um levantamento dos questionamentos de pesquisa acadêmica e divisão dos grupos (18 min), com discussão e revisão no final sobre o que foi pesquisado e revisado sobre o EFE (10min).

Aula 02 – duração 48 min

- Realização de simulações utilizando a plataforma PhET: Inicialmente, o professor demonstrará como utilizar a plataforma PhET (05min), dando as instruções necessárias para seu manuseio. Em seguida, os alunos formarão grupos para realizar as modelagens e anotar os resultados (20 min). Os grupos seguirão um roteiro de atividade¹⁷ previamente elaborado pelo professor e ao final, apresentarão suas conclusões a partir dos resultados observados (15 min). O fechamento da atividade será dado pelo professor, sanando-se as dúvidas e explicações sobre o EFE (8 min).

Aula 03 – duração 48 min

- Jogo educativo: Nessa aula, os alunos irão participar brincando em um jogo educativo (quiz) sobre o EFE (de 10 a 15 min), e depois o professor irá tirar dúvidas dos alunos sobre as questões corretas e/ou incorretas (15min), e a aula seguirá tratando-se sobre como o EFE mudou o nosso modo de vida (18 min).

¹⁷ Disponível no Apêndice: 1. Roteiro experimental – PhET EFE

Aula 04 – duração 48 min

- Coleta das percepções finais dos alunos: Na última aula, os alunos irão jogar novamente o jogo avaliativo, para verificar se a sua pontuação comparada com a inicial, melhorou ou não (48 min).

Finalização da sequência

A aprendizagem dos alunos poderá ser verificada através da comparação entre as percepções inicial e final, utilizando-se para isso a pontuação obtida em cada etapa. O professor também poderá acompanhar o aprendizado dos alunos através das discussões realizadas ao longo das aulas.

Para aqueles alunos que não conseguirem obter a nota mínima na avaliação, deverá ser realizada aula de revisão sobre o assunto, e após isso, os alunos terão oportunidade de jogar novamente no jogo avaliativo.

3. Jogos desenvolvidos

3.1 Quiz

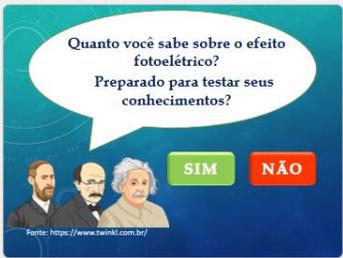
1



2



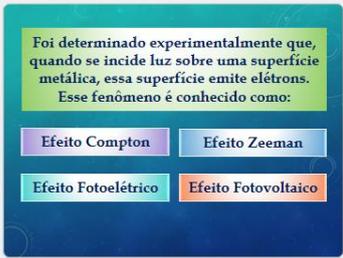
3



4



5



6



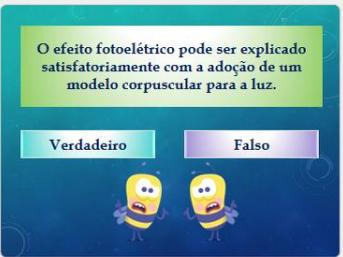
7



8



9



10



11



12



13



14



15



PONTUAÇÃO: 30

Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10
Metal

16



No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:

Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.

17

Eita!!!
Deu ruim dessa vez.

TENTE NOVAMENTE!

18

Acertou!!!
Você está indo muito bem.

AVANÇAR!!!

19

PONTUAÇÃO: 40

Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10
Metal

20



Qual das alternativas abaixo NÃO utiliza o efeito fotoelétrico?

Porta do elevador	Iluminação pública
Placa fotovoltaica	Aquecedor elétrico

21

OPS!!!
Resposta errada.

TENTE NOVAMENTE!

Fonte: <https://www.vecteezy.com/>

22

Parabéns!!!
Você acaba de ganhar mais 10 pontos.

Fonte: <https://www.vecteezy.com/>

AVANÇAR!!!

23

PONTUAÇÃO: 50

Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10
Metal

24



A quantidade de energia, para que ocorra o efeito fotoelétrico, é a mesma para qualquer metal.

Verdadeiro	Falso
------------	-------

25

Oh no, oh no, oh no no no...
Resposta errada.

TENTE NOVAMENTE!

26

Parabéns!!!
Você acertou.

AVANÇAR!!!

27

PONTUAÇÃO: 60

Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10
Metal

28



O efeito fotoelétrico foi observado pela primeira vez em 1887 por:

Planck	Hertz
Lenard	Einstein

29

Poxa, resposta Errada.

TENTE NOVAMENTE!

30

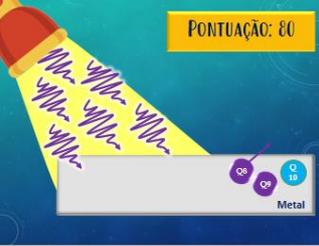
31  **Ai sim, hein!!
Ganhou mais
10 pontos.**
AVANÇAR!!!

32  **PONTUAÇÃO: 70**
07 08 09 Metal

33 **No efeito fotoelétrico, o elétron deve receber uma energia mínima suficiente para sua emissão da placa metálica.**
Verdadeiro Falso


34  **Não foi dessa vez.**
TENTE NOVAMENTE!

35 **Resposta correta!!!
Vá para próxima questão.** 
AVANÇAR!!!

36  **PONTUAÇÃO: 80**
08 09 Metal

37 **Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:**
Função deslocamento Função energia
Função trabalho Função metálica

38  **Ah!!
Errou, continue
tentando**
TENTE NOVAMENTE!

39 **Arrasou!!!
Você está quase
no fim, continue.** 
AVANÇAR!!!

40  **PONTUAÇÃO: 90**
09 Metal

41 **Um fóton emitido por uma lâmpada que irradia luz na cor laranja-amarelada, $\nu = 5 \cdot 10^{14}$ Hz, apresenta uma energia de, aproximadamente:
(Dados: $E = h\nu$, $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J.s)**
1,1.10⁻³⁹ J. 2,2.10⁻²⁹ J.
3,3.10⁻¹⁹ J. 4,4.10⁻⁹ J.

42  **Ahhhh!!!
Errado.**
TENTE NOVAMENTE!

43  **Parabéns, você
finalizou o jogo
e ganhou 100
pontos!!!**
CRÉDITOS
Fonte: <https://www.vecteezy.com/>

44  **Tudo bem.
Estude um pouco
mais e volte quando
sentir que está
pronto.**
CRÉDITOS
Fonte: <https://www.pingwing.com/>

45 **Mestranda
Soetânia S. de Oliveira
e
Dr. Antônio Xavier Gil**
JOGAR NOVAMENTE
SAIR

3.2 Jogo avaliativo

1

2

REGRAS DO JOGO:

- 1 - O JOGO CONTÉM 5 QUESTÕES.
- 2 - CADA QUESTÃO VALE 2,0 PONTOS.
- 3 - ATENÇÃO NA HORA DE CLICAR NA RESPOSTA, POIS NÃO É PERMITIDO VOLTAR À QUESTÃO ANTERIOR.
- 4 - A SOMA DAS QUESTÕES CORRETAS SERÁ SUA NOTA.

IR PARA O JOGO

3

1. O efeito fotoelétrico consiste na emissão de:

Prótons quando há incidência de luz sobre uma superfície metálica	Elétrons quando há incidência de luz sobre uma superfície metálica
Nêutrons quando há incidência de luz sobre uma superfície metálica	Elétrons quando há incidência de luz sobre uma superfície plástica

4

Você acertou, Parabéns!!!
2,0

AVANÇAR!

5

Ops! Resposta errada
0,0

AVANÇAR!

6

2. O efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo corpuscular para a luz.

Verdadeiro Falso

7

2. O efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo corpuscular para a luz.

Verdadeiro Falso

8

É isso aí!!!
4,0

AVANÇAR!

9

Não foi dessa vez.
2,0

AVANÇAR!

10

É isso aí!!!
2,0

AVANÇAR!

11

Não foi dessa vez.
0,0

AVANÇAR!

12

3. Qual das alternativas abaixo NÃO utiliza o efeito fotoelétrico?

Porta do elevador	Placa fotovoltaica
Aquecedor elétrico	Iluminação pública

13

3. Qual das alternativas abaixo NÃO utiliza o efeito fotoelétrico?

Porta do elevador	Placa fotovoltaica
Aquecedor elétrico	Iluminação pública

14

3. Qual das alternativas abaixo NÃO utiliza o efeito fotoelétrico?

Porta do elevador	Placa fotovoltaica
Aquecedor elétrico	Iluminação pública

15

3. Qual das alternativas abaixo NÃO utiliza o efeito fotoelétrico?

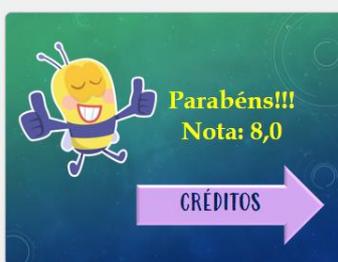
Porta do elevador	Placa fotovoltaica
Aquecedor elétrico	Iluminação pública

 <p>Acertou!!! 6,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Eita!!! Deu ruim. 4,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Acertou!!! 4,0</p> <p>AVANÇAR!</p>												
16	17	18												
 <p>Eita!!! Deu ruim. 2,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Acertou!!! 4,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Eita!!! Deu ruim. 2,0</p> <p>AVANÇAR!</p>												
19	20	21												
 <p>Acertou!!! 2,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Eita!!! Deu ruim. 0,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	<p>4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.</td> </tr> <tr> <td>Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.</td> </tr> </tbody> </table>	Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.	Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.								
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.													
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.													
22	23	24												
<p>4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.</td> </tr> <tr> <td>Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.</td> </tr> </tbody> </table>	Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.	Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.	<p>4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.</td> </tr> <tr> <td>Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.</td> </tr> </tbody> </table>	Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.	Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.	<p>4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.</td> </tr> <tr> <td>Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.</td> </tr> </tbody> </table>	Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.	Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.													
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.													
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.													
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.													
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.													
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.													
25	26	27												
<p>4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.</td> </tr> <tr> <td>Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.</td> </tr> </tbody> </table>	Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.	Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.	<p>4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.</td> </tr> <tr> <td>Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.</td> </tr> </tbody> </table>	Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.	Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.	<p>4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.</td> </tr> <tr> <td>Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.</td> </tr> </tbody> </table>	Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.	Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.													
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.													
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.													
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.													
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.													
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.													
28	29	30												

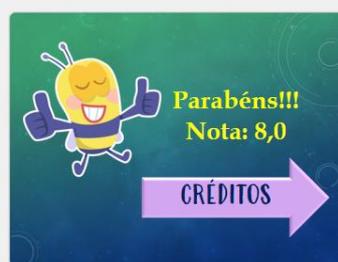
<p>4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:</p> <table border="1"> <tr> <td>Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.</td> </tr> <tr> <td>Exclusivamente da amplitude da radiação incidente</td> <td>Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.</td> </tr> </table>	Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.	Exclusivamente da amplitude da radiação incidente	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.	 <p>Aí sim, hein!! 8,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Poxa, resposta Errada. 6,0</p> <p>AVANÇAR!</p>
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.					
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.					
31	32	33				
 <p>Aí sim, hein!! 6,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Poxa, resposta Errada. 4,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Aí sim, hein!! 6,0</p> <p>AVANÇAR!</p>				
34	35	36				
 <p>Poxa, resposta Errada. 4,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Aí sim, hein!! 4,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Poxa, resposta Errada. 2,0</p> <p>AVANÇAR!</p>				
37	38	39				
 <p>Aí sim, hein!! 6,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Poxa, resposta Errada. 4,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Aí sim, hein!! 4,0</p> <p>AVANÇAR!</p>				
40	41	42				
 <p>Poxa, resposta Errada. 2,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Aí sim, hein!! 4,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Poxa, resposta Errada. 2,0</p> <p>AVANÇAR!</p>				
43	44	45				
 <p>Aí sim, hein!! 2,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Poxa, resposta Errada. 0,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	<p>5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:</p> <table border="1"> <tr> <td>Função energia</td> <td>Função deslocamento</td> </tr> <tr> <td>Função metálica</td> <td>Função trabalho</td> </tr> </table>	Função energia	Função deslocamento	Função metálica	Função trabalho
Função energia	Função deslocamento					
Função metálica	Função trabalho					
46	47	48				



64



65



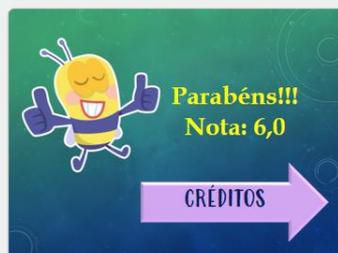
66



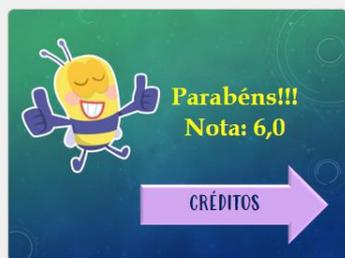
67



68



69



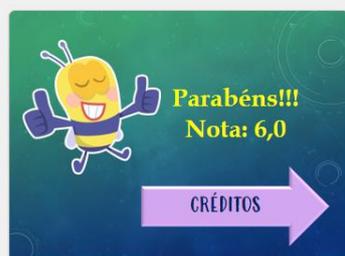
70



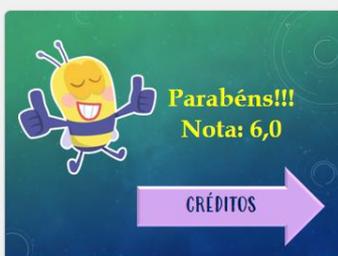
71



72



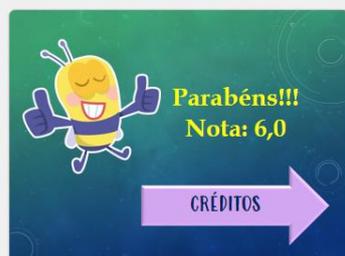
73



74



75



76



77



78

 <p>Eita!!! Nota: 2,0</p> <p>CRÉDITOS</p>	 <p>Parabéns!!! Nota: 8,0</p> <p>CRÉDITOS</p>	 <p>Parabéns!!! Nota: 6,0</p> <p>CRÉDITOS</p>
79	80	81
 <p>Parabéns!!! Nota: 6,0</p> <p>CRÉDITOS</p>	 <p>Ops!!! Nota: 4,0</p> <p>CRÉDITOS</p>	 <p>Parabéns!!! Nota: 6,0</p> <p>CRÉDITOS</p>
82	83	84
 <p>Ops!!! Nota: 4,0</p> <p>CRÉDITOS</p>	 <p>Ops!!! Nota: 4,0</p> <p>CRÉDITOS</p>	 <p>Eita!!! Nota: 2,0</p> <p>CRÉDITOS</p>
85	86	87
 <p>Parabéns!!! Nota: 6,0</p> <p>CRÉDITOS</p>	 <p>Ops!!! Nota: 4,0</p> <p>CRÉDITOS</p>	 <p>Ops!!! Nota: 4,0</p> <p>CRÉDITOS</p>
88	89	90
 <p>Eita!!! Nota: 2,0</p> <p>CRÉDITOS</p>	 <p>Ops!!! Nota: 4,0</p> <p>CRÉDITOS</p>	 <p>Eita!!! Nota: 2,0</p> <p>CRÉDITOS</p>
91	92	93
 <p>Eita!!! Nota: 2,0</p> <p>CRÉDITOS</p>	 <p>Poxa, deu ruim. Nota: 0,0</p> <p>CRÉDITOS</p>	<p>MISTRANDA SOLTÂNIA S. DE OLIVEIRA E DR. ANTÔNIO XAVIER GIL</p> <p>JOGAR NOVAMENTE SAIR</p>
94	95	96



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS-ICE
INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS - IFAM
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 04

SOETÂNIA SANTOS DE OLIVEIRA

PRODUTO EDUCACIONAL

O ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO EM SITUAÇÕES DO
COTIDIANO ATRAVÉS DE JOGOS E MODELAGEM

MANAUS – AM
2024

SOETÂNIA SANTOS DE OLIVEIRA

O ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO EM SITUAÇÕES DO COTIDIANO ATRAVÉS
DE JOGOS E MODELAGEM

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: Modelagem e Jogos Avaliativos Como Ferramentas para o Aprendizado do Efeito Fotoelétrico em Situações do Cotidiano dos Alunos, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 04 – UFAM/IFAM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. Antonio Xavier Gil

Manaus – AM
2024

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

O48e Oliveira, Soetânia Santos de.
O ensino do efeito fotoelétrico em situações do cotidiano através de jogos e modelagem / Soetânia Santos de Oliveira. – Manaus, 2024.
45 p. : il. color.

Produto educacional proveniente da dissertação - Modelagem e jogos avaliativos como ferramentas para o aprendizado do efeito fotoelétrico em situações do cotidiano dos alunos (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Xavier Gil.

1. Ensino de física. 2. Efeito fotoelétrico. 3. Aprendizagem significativa. 4. Jogos avaliativos. I. Gil, Antonio Xavier. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 570.03

Agradecimentos

A Deus, pela alegria de viver e continuar aprendendo constantemente.

Aos meus pais, Maria de Lourdes S. Oliveira e Francisco Carlos de Oliveira, por terem apoiado todas as decisões que tomei e por estarem sempre ao meu lado.

Aos meus irmãos, Suetônio e Suênio, pelo incentivo e por se fazerem sempre presentes.

Ao meu orientador, Dr. Antonio Xavier Gil, pelas orientações valiosas.

Aos amigos e familiares que torceram pelo meu sucesso e compreenderam minha ausência em alguns momentos.

Aos amigos que fiz ao longo do curso de Mestrado, por compartilharem tantos momentos de aprendizagem, angústia, alegria e boas risadas, em especial a José Carlos, José Victor e Tiago.

A E.E. Ângelo Ramazzotti, em especial a gestora Ivana Borges, aos colegas e a turma do 2º 3 Matutino 2023, por acolherem e contribuírem com a realização do meu projeto.

A Universidade Federal do Amazonas (UFAM), ao Instituto Federal do Amazonas (IFAM) e ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, pela oportunidade de realizar este curso.

Aos professores do MNPEF polo 04, cujo empenho em transmitir conhecimento de forma clara facilitou bastante meu aprendizado ao longo do curso.

Aos membros da banca examinadora, pela colaboração na melhoria e engrandecimento deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro - código de financiamento 001- e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão de bolsa.

Enfim, muitas foram as pessoas que me ajudaram, direta e indiretamente, na realização deste trabalho, citar todas não seria possível, porém deixo aqui registrada a minha profunda gratidão a todas elas.

Sumário

Apresentação	6
1. Introdução.....	7
2. Fundamentação Teórica.....	8
2.1 Efeito Fotoelétrico	8
2.1.1 Aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano	13
3. Metodologia de ensino	17
3.1 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa - UEPS	21
3.1.2 Esquema da sequência didática	21
3.1.3 Descrição da sequência didática	23
4. Considerações Finais	27
Referências	28
Apêndices	30
1. Roteiro experimental – PhET EFE	30
2. Sequência Didática	32
3. Jogos desenvolvidos	35
3.1 Quiz	35
3.2 Jogo avaliativo.....	38

Apresentação

Prezados professores,

É com satisfação que lhes apresento a proposta de ensino intitulada “O Ensino Do Efeito Fotoelétrico Em Situações Do Cotidiano Através De Jogos E Modelagem”. Essa proposta foi elaborada com a finalidade de trabalhar o conteúdo sobre o efeito fotoelétrico e suas aplicações de forma mais dinâmica e atrativa para os alunos.

Este documento traz a descrição detalhada da sequência didática a ser seguida para trabalhar o efeito fotoelétrico no novo ensino médio. De acordo com a grade curricular do novo ensino médio, o estudo do efeito fotoelétrico faz parte dos conteúdos que devem ser abordados em Física na 2ª série.

O professor, como mediador do processo de ensino aprendizagem, poderá realizar as alterações nessa sequência de ensino que forem necessárias de acordo com o ambiente e seu público, mas sem desfocar do objetivo principal que é ensinar o efeito fotoelétrico e suas aplicações, potencializando a aprendizagem significativa.

Acredito que o material proposto será de grande utilidade no processo de ensino aprendizagem dos alunos para o conteúdo que se propõe. Acredito também que este pode vir a ser fonte de inspiração para propostas futuras. Desejo sucesso a todos que se dispuserem a utilizá-lo e colocá-lo a disposição para sanar eventuais dúvidas que possam surgir quando da aplicação deste produto.

Cordialmente,

Prof. Soetânia Santos de Oliveira

1. Introdução

Diariamente fazemos uso de tecnologias desenvolvidas graças aos conhecimentos decorrentes de estudos realizados na área de Física Moderna e Contemporânea (FMC), porém poucos fazem essa associação. Daí a importância de se abordar conteúdos de FMC ainda no EM.

Lecionar física, de maneira geral, no Ensino Médio (EM) em particular, é desafiador por vários motivos. Um deles é a necessidade de despertar e manter a curiosidade do aluno durante a aula. Outro grande desafio é quebrar a imagem que muitos alunos têm que a Física é uma disciplina em que eles estudarão um monte de fórmulas e as usarão apenas para passar nas provas.

Entende-se, portanto, que os conteúdos de FMC no NEM devam ser abordados de forma contextualizada, para que o aluno consiga fazer as relações entre a teoria e a sua aplicabilidade prática, o que estimulará o seu interesse e tornará a sua aprendizagem mais concreta. Assim, dentre os conteúdos estudados em FMC, optou-se por abordar o efeito fotoelétrico, uma vez que ele encontra várias aplicações tecnológicas, que estão presentes no dia a dia dos alunos, e fazer parte dos conteúdos que devem ser abordados em Física na 2ª série.

A proposta de ensino apresentada fundamenta-se na teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel, e tem a intenção de facilitar a abordagem e a compreensão desse fenômeno, por meio da produção de material potencialmente significativo. Além da contextualização, a metodologia adotada utiliza jogos educacionais sobre o efeito fotoelétrico, que conciliam a aprendizagem à diversão, alegria, felicidade e a um momento de aprendizagem mais dinâmico, e associada à utilização da plataforma PhET para modelagem do efeito fotoelétrico.

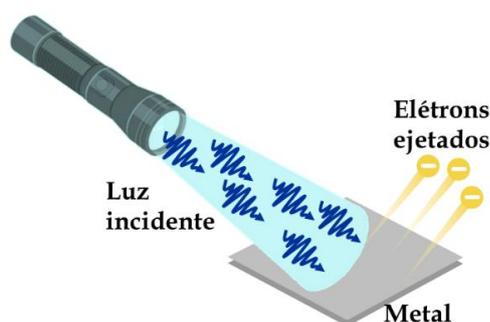
2. Fundamentação Teórica

Neste capítulo serão apresentados esclarecimentos acerca do tema a ser trabalhado, assim como um breve resumo de obras relevantes que tratam sobre o ensino do efeito fotoelétrico a nível de ensino médio.

2.1 Efeito Fotoelétrico

O fenômeno do Efeito Fotoelétrico (EFE), ilustrado na Figura 1, consiste na liberação de elétrons pela superfície de um metal, após absorção da energia proveniente da radiação eletromagnética incidente sobre ele, de tal modo que a energia da radiação é parcialmente transformada em energia cinética dos elétrons expelidos (CARUSO e OGURI, 2016, p. 320).

Figura 1 - Esquema do Efeito fotoelétrico.

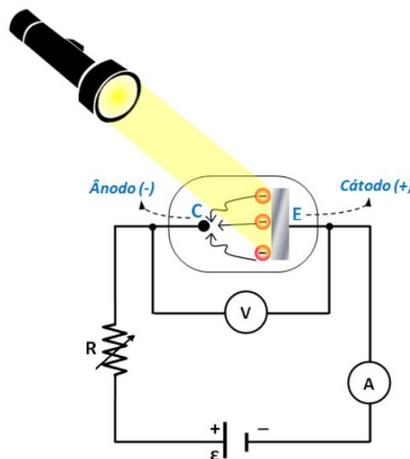


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Entre os anos de 1886 e 1887, o físico Heinrich Hertz confirmou experimentalmente a existência das ondas eletromagnéticas (oscilações formadas por campos elétricos e magnéticos variáveis, que se propagam tanto no vácuo quanto em meios materiais) e, por conseguinte, 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 (COTINGUIBA, 2022, p. 38). Por este motivo seu trabalho é considerado por muitos como sendo a primeira verificação experimental para o que atualmente denominamos efeito fotoelétrico. Porém, segundo Soares (2016, p. 20), embora Hertz tenha observado experimentalmente o fenômeno e tenha fornecido grandes contribuições para seu estudo, ele não se interessou pelo assunto ao ponto de explicá-lo, pois este não era seu intuito.

Após as observações de Hertz, o EFE passou a ser estudado por vários cientistas, utilizando aparatos experimentais projetados especialmente para isso. Na Figura 2 tem-se o esquema da montagem do experimento do EFE, onde (ε) é a força eletromotriz - *fem*, (A) é o amperímetro e (R) a resistência. Numa experiência típica, os eletrodos ficam dentro de uma ampola de quartzo evacuada, transparente à luz ultravioleta, estabelecendo-se entre eles uma diferença de potencial (V) e iluminando-se o catodo com luz de determinada frequência (ν) e intensidade (I_0), passando-se então a aferir a corrente elétrica (i) produzida com a utilização de um amperímetro (NUSSENZVEIG, 2002, p. 250).

Figura 2 - Montagem experimental do Efeito Fotoelétrico.



Fonte: JESUS (2011, p. 40).

Em 1902, Philipp Eduard Anton von Lenard, discípulo de Hertz, publica seu trabalho sobre o efeito fotoelétrico, no qual apresenta as leis do efeito fotoelétrico, oriundas das experiências que haviam sido realizadas, concluindo que a velocidade máxima com que os elétrons são ejetados por luz ultravioleta independe da intensidade luminosa (SOARES, 2016, p. 23), ou seja, independe da potência de radiação luminosa emitida pela fonte em uma certa direção (NISKIER e MACINTYRE, 2000, apud OSS, 2019, p.20).

De acordo com Klassen, (2009b, apud SOARES, 2016, p. 24), Lenard começou a investigar a natureza do efeito fotoelétrico ainda mais profundamente e descobriu que mesmo que os elétrons fossem emitidos, pois eram afetados pela intensidade da luz, nada acontecia com a energia cinética. Ele então constatou que a energia dos elétrons dependia do comprimento

de onda da luz incidente. Assim, a luz que possuísse comprimento de onda mais curto ejetava elétrons mais rapidamente.

De acordo com Caruso e Oguri (2016, p. 320), dentre os principais resultados observados por Lenard destacam-se:

- O fato da emissão de elétrons não depender da intensidade da luz incidente;
- Havendo emissão, e mantendo-se constantes a frequência e o potencial retardador, a corrente é proporcional à intensidade da luz;
- A ocorrência da emissão depende da frequência da luz;
- Para cada metal há um limiar de frequência, abaixo do qual não há emissão;
- Para uma determinada frequência, o potencial de corte independe da intensidade da luz;
- A energia cinética dos elétrons e o potencial de corte crescem com a frequência da luz.

Os trabalhos de Lenard de 1902 e 1906 são considerados grandes marcos para a evolução da Física, por contribuírem para os estudos acerca do efeito fotoelétrico (SOARES, 2016, p.24).

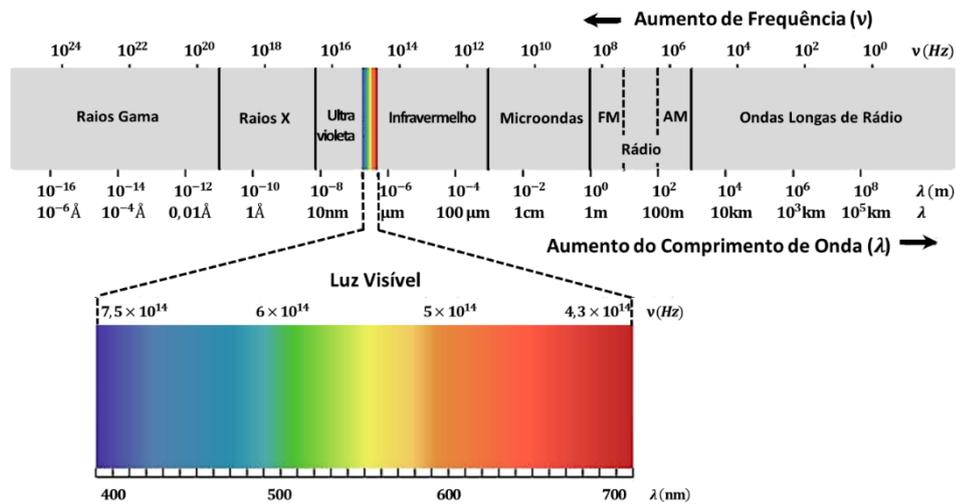
Em termos históricos o EFE tem sua raiz na ideia da quantização da energia proposta por Planck em 1900 para explicar o espectro de radiação de corpo negro (denominando de catástrofe do ultravioleta) (GOMES, 2011, p.24). Em 1905, Einstein explica os resultados de Lenard admitindo que a luz é quantizada. Partindo dos seus estudos sobre a constituição atômico-molecular da matéria ele propôs um modelo em que a luz se comportaria como pequenos pacotes de energia, os chamados quanta de luz (SILVA, 2018, p. 8). Assim, a luz de frequência (ν), em sua interação com a matéria, deveria ser constituída por quanta de luz de energia (ϵ) dada por:

$$\epsilon = h\nu \quad \text{Eq. 1}$$

em que h é uma constante de proporcionalidade denominada constante de Planck, cujo valor é $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s. A Figura 3 ilustra a distribuições de frequências das ondas eletromagnéticas. Nesta Figura é possível também perceber a relação inversa que existe entre o comprimento de onda (λ) e a frequência (ν). Esta relação inversa entre o comprimento de onda e a frequência é confirmada matematicamente por meio da equação fundamental das ondas ($v =$

$\lambda \cdot \nu$), a partir da qual verifica-se que quanto maior for o comprimento de onda menor será a frequência e vice-versa ($\lambda = v/\nu$).

Figura 3 - Distribuição da frequência (ν) das ondas eletromagnéticas



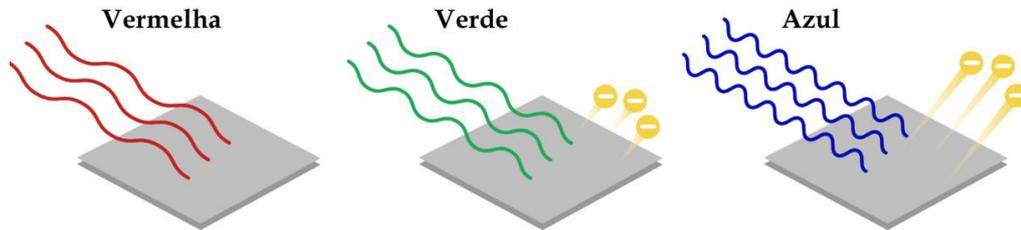
Fonte: <http://dan-scientia.blogspot.com/2010/03/relacao-da-frequencia-com-o-comprimento.html>

Segundo Einstein, ao interagir com o elétron do metal o fóton transmite-lhe toda a sua energia. Porém, para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada função trabalho (ϕ). Assim, a luz com comprimento de onda suficientemente pequeno incidindo em um determinado metal pode provocar a emissão de elétrons desse metal (Figura 4), o que caracteriza o EFE (JESUS, 2011, p. 39). Os elétrons que escapam do metal emergem com uma energia cinética máxima ($K_{máx}$), dada por (CARUSO e OGURI, 2016, p. 320):

$$K_{máx} = h\nu - \phi \quad \text{Eq. 2}$$

Analisando a equação 2, percebe-se que a energia cinética máxima não depende da intensidade da luz e sim de sua frequência, que se for maior que um valor específico de cada material, chamado frequência de corte (ν_0), poderá emitir um fóton (JESUS, 2011, p. 41).

Figura 4 - Placas de um mesmo metal (mesma função trabalho) iluminadas por fontes monocromáticas de frequências diferentes.



Fonte: Adaptado de: <https://pt.khanacademy.org/science/physics/quantumphysics/photons/a/photoelectric-effect>.

A equação anterior (Eq. 2) é compatível com o fato de que, ao se aumentar a intensidade da luz incidente, aumentando o número de fótons incidentes, aumenta-se também o número de elétrons emitidos e, portanto, a corrente, mas não a energia cinética máxima que cada elétron pode adquirir. Sendo assim, o potencial de corte (V), necessário para deter o fluxo de elétrons, é determinado pela condição de que a energia potencial elétrica (eV) deva ser igual à energia cinética máxima do elétron ejetado, ou seja (CARUSO e OGURI, 2016, p. 321),

$$eV = h\nu - \phi \quad \text{Eq. 3}$$

Segundo Jammer (1966, p. 35), as primeiras comprovações para o efeito fotoelétrico foram realizadas por A.L. Hughes no ano de 1912 e, posteriormente, por O.W. Richardson e K.T. Compton. Porém, as equações de Einstein só foram validadas, tendo sua confirmação exata, com os trabalhos por Millikan, desenvolvidos entre os anos de 1914 e 1916 (KUHN, 1978, p. 222). Millikan utilizou essa expressão para determinar a constante de Planck (h) em 1914, após uma sucessão de medidas.

Vale salientar que a comunidade científica levou mais de dez anos para reconhecer a validade do trabalho de Einstein e a necessidade de introduzir rupturas nas teorias clássicas (GUTMANN e OLIVEIRA, 2002, p. 3). Em 1921 Einstein recebeu o Prêmio Nobel de Física devido as suas explicações sobre o efeito fotoelétrico.

Essas informações podem ser compartilhadas com alunos do ensino médio, buscando-se fazer com que eles compreendam a importância que tais descobertas tiveram no processo de desenvolvimento tecnológico, vivenciado pela nossa sociedade.

2.1.1 Aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano

Apesar das polêmicas teóricas suscitada pelas explicações do efeito fotoelétrico, a indústria eletrônica utilizou o fenômeno para desenvolver uma série de componentes sensíveis à luz, os elementos fotossensíveis, baseados em dois processos distintos: emissão fotoelétrica e quebra de ligações covalentes em semicondutores devido à ação dos fótons. Dentre os componentes eletrônicos criados estão válvulas fotomultiplicadoras, válvulas captadoras de imagem e células fotoelétricas (CARUSO e OGURI, 2016, p. 321).

O entendimento sobre o EFE tornou possível sua aplicação em nosso cotidiano, trazendo melhorias e avanços significativos para a sociedade como um todo. Atualmente, existem vários objetos que utilizam como tecnologia o efeito fotoelétrico, como por exemplo, sistemas de alarmes, sistema de iluminação, portas automáticas, painéis solares, TV de LCD (*Liquid Crystal Display*) e Plasma, aparelhos de controle de contagem, máquinas industriais, sensores etc. (SILVA, 2018, p. 12).

Pode-se distinguir o EFE em dois tipos:

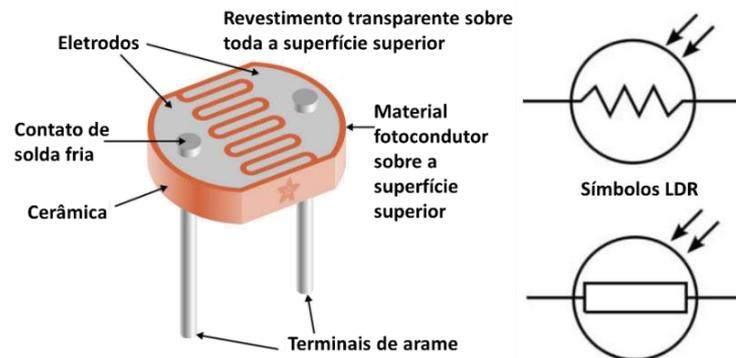
- O EFE externo, ou seja, o EFE propriamente dito, que consiste na emissão de elétrons pela matéria sob a ação da luz; e
- O EFE interno, próprio dos semicondutores¹, que consiste na transformação de energia elétrica, de forma direta, em energia luminosa, sendo este bastante usado nas resistências fotoelétricas.

Graças ao EFE tornou-se possível o cinema falado, assim como a transmissão de imagens animadas (televisão). De acordo com Sousa Jr (2017, p. 2), aparelhos cujos funcionamentos se assentam no aproveitamento do EFE controlam o tamanho das peças melhor do que pode fazer qualquer operário, permitem acender e desligar automaticamente a iluminação de ruas, dos faróis etc. Tudo isso se tornou possível devido à invenção de aparelhos especiais, chamados células fotoelétricas, em que a energia da luz controla a energia da corrente elétrica ou se transforma em corrente elétrica.

Um exemplo de dispositivo cujo funcionamento baseia-se no efeito fotoelétrico são as células fotocondutoras, conhecidas como LDR (*Ligth Dependent Resistor* - Resistência Dependente da Luz, em tradução livre). O LDR é um resistor cuja resistência elétrica varia com a intensidade da luz que incide sobre ele (SILVA, 2016, p. 43). A figura 5 traz uma ilustração de um LDR, assim como os símbolos utilizados para representá-lo.

¹ Semicondutores são materiais de estrutura geralmente cristalina com propriedades elétricas intermediárias entre as dos condutores e as dos isolantes.

Figura 5 – Dispositivo LDR.



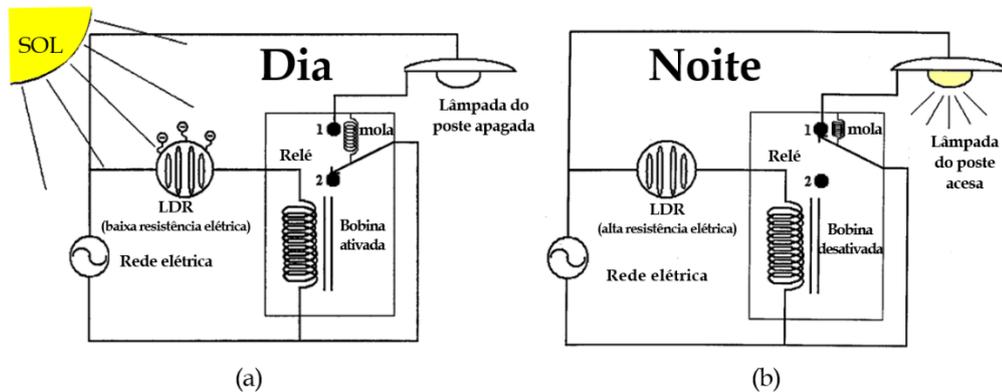
Fonte: Adaptado de: <https://albertoroura.com/controlando-un-led-con-un-ldr-en-arduino/>

O LDR constituído a partir de material semiconductor com alta resistência elétrica em sua constituição, ao ser iluminado tem a sua resistência elétrica reduzida, pois com a incidência de luz, de frequência suficiente, os elétrons absorvem a energia dos fótons, favorecendo à quebra de ligações covalentes², e, conseqüentemente, o aumento da quantidade de elétrons livres. Tal fenômeno melhorará a condutividade do material, diminuindo a resistência e facilitando a fluidez da corrente elétrica no circuito. Na ausência de luz incidente sobre o dispositivo, a resistência do LDR aumentará, em virtude da diminuição da quantidade de elétrons livres na banda de condução do material (SILVA, 2016, p.44-45).

Esta propriedade do LDR é empregada nos dispositivos controladores do sistema de iluminação pública (Figura 6), que produzem corrente elétrica quando expostos à iluminação, e acionam a bobina que produz um campo magnético, desligando o relé e abrindo o circuito da rede, não acendendo a lâmpada, mas à noite, não havendo corrente produzida por incidência de luz, não haverá um campo magnético produzido pela bobina, e o relé não é desligado; desta forma a corrente da rede elétrica acende a lâmpada (VALADARES e MOREIRA, 1998, p. 124-125).

² Em uma ligação covalente os elétrons da camada mais externa (valência) são compartilhados pelos átomos.

Figura 6 - Esquema do princípio de funcionamento do sistema de iluminação pública: arranjo do circuito durante (a) o dia e (b) durante a noite.



Fonte: Adaptado de VALADARES e MOREIRA (1998, p.124-125).

Além do sistema de iluminação pública, o LDR está presente em várias tecnologias do dia a dia, como por exemplo, em sistemas de alarme, detectores de presença, portas automáticas, portas de elevadores, esteiras de supermercado, controles remotos, entre outros. No caso da porta do elevador, por exemplo, um feixe de luz, ao ser interrompido, aciona um sistema automático que impede a porta de fechar. Esta situação é ilustrada na Figura 7.

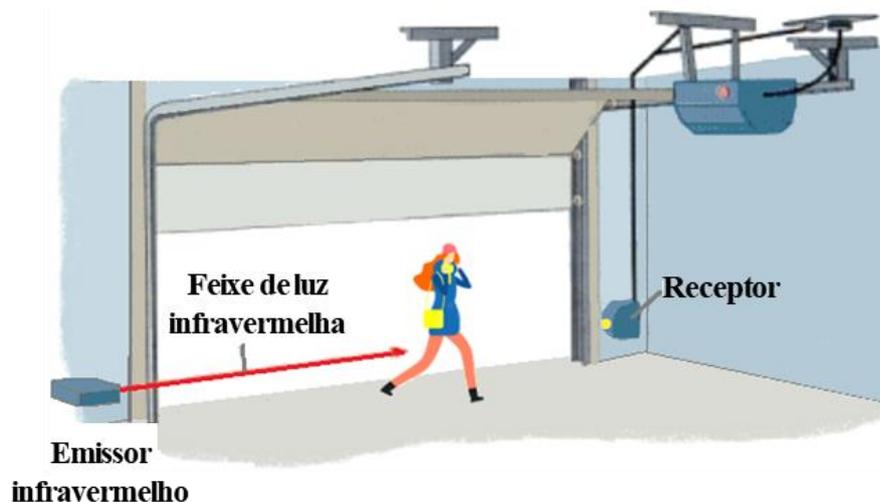
Figura 7 - Esquema de funcionamento da porta de elevadores.



Fonte: Adaptado de: <https://www.facebook.com/Prodesp/posts/2670693089643914/>

As portas automáticas, como aquelas presentes nas entradas de shoppings, têm funcionamento semelhante a porta do elevador (Figura 8). Neste caso, um feixe contínuo de luz infravermelha é emitido em direção a uma placa metálica, que está ligada em um circuito, fazendo com que o sistema mantenha a porta fechada. Quando uma pessoa passa na frente do feixe bloqueando-o, o circuito para de funcionar. Isso faz com que a porta se abra, voltando à posição de repouso (SOUSA JR, 2017, p. 4).

Figura 8 - Esquema de funcionamento de portas automáticas.



Fonte: SOUSA JR (2017, p. 4)

De acordo com Silva (2016, p. 44), o material mais utilizado na confecção do LDR é sulfeto de cádmio (CdS), pois tem uma sensibilidade à luz semelhante à do olho humano (faixa de luz visível). Para o uso em outras faixas de frequência, diferentes da visível, outros materiais são utilizados, como o arseneto de gálio para o infravermelho. Ainda segundo Silva (2016, p. 46), o funcionamento básico do LDR é o seguinte: quando o resistor é iluminado ou quando tem o feixe de luz que o iluminava interrompido, respectivamente, permite ou impede a passagem de corrente pelo circuito onde está acoplado, provocando o acionando ou a desativação de um sistema eletroeletrônico.

3. Metodologia de ensino

A metodologia empregada fundamenta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, uma vez que para seu efetivo desenvolvimento serão cumpridas etapas que envolvem simulações computacionais e jogos, portanto, um material didático atrativo para os alunos, e cuja aplicação proporcionará a interação entre os alunos e a utilização do conhecimento prévio que eles têm sobre o tema para, então, haver a consolidação do conhecimento científico.

Despertar o interesse dos alunos tem sido um desafio constante enfrentado pelos professores. Várias pesquisas têm mostrado que na sociedade atual torna-se cada vez mais importante a utilização de diferentes estratégias para melhorar o ensino-aprendizagem, especialmente de em áreas como o ensino da Física, que segundo Gomes (2019, p. 47), por ser uma ciência experimental e que muitas vezes se refere ao campo microscópico, necessita de especial atenção para melhorar os aspectos relacionados à aprendizagem.

Diante do exposto, elaborou-se uma sequência didática do tipo UEPS (Unidades de Ensino Potencialmente Significativas) a ser desenvolvida em cinco etapas: 1) Jogo Avaliativo para coleta das percepções iniciais dos alunos; 2) Exibição de um vídeo de experimento do EFE, com estratégia de experimento investigativo. Tal recurso conta com algumas potencialidades que podem ser visualizadas na Figura 9, nesta etapa serão explorados os conteúdos conceituais; 3) Utilização do *softwares* educacional PhET do EFE, com estratégia de ensino por descobertas através da modelagem, onde os alunos utilizarão a modelagem computacional no *software* de simulação PhET do EFE, mudando as variáveis e descobrindo novos resultados que o fenômeno físico proporcionar, nesta etapa serão explorados os conteúdos procedimentais; 4) Aplicação de um jogo sobre o EFE com estratégia de ensino por jogos lúdicos, nesta etapa serão explorados os conteúdos atitudinais; 5) Jogo Avaliativo para coleta das percepções finais dos alunos.

Figura 9 - Potencialidades do experimento investigativo no ensino de física.



Fonte: CABRAL (2015, p. 40).

De acordo com Cabral (2015, p. 41), o experimento investigativo representa uma estratégia onde os alunos participam mais ativamente do processo de construção do saber. A ideia é fazer com que os alunos explorem todas as etapas de investigação dos conceitos, interpretação e possíveis soluções para o problema oferecendo-lhes oportunidades de analisar situações problemas relativas ao seu cotidiano, e com isso formular hipóteses, testá-las e tirar suas próprias conclusões. Nesse contexto, o papel do docente será levantar o debate e inspirar questionamentos que levem o aluno a argumentar sobre o fenômeno, e assim, refletindo sobre essas argumentações o aluno poderá construir os conceitos que a prática proporciona.

Como mencionado anteriormente, a busca por recursos que tornem as aulas mais dinâmicas e, conseqüentemente, a aprendizagem mais significativa, é uma constante na vida dos professores. Todos os dias o professor trava uma batalha com várias fontes de distração para o aluno, sejam elas conversas paralelas sobre assuntos que em nada acrescentam à aula, seja o uso do celular para acessar as redes sociais, jogos online etc. Com isso vem a necessidade de os professores estarem sempre inovando em sua sala de aula a fim de torná-las mais agradáveis. Assim, o uso da modelagem computacional e de jogos têm se mostrado ferramentas eficientes no auxílio da aprendizagem, não só na compreensão de conceitos, mas também por despertar o interesse dos alunos pelas aulas de física.

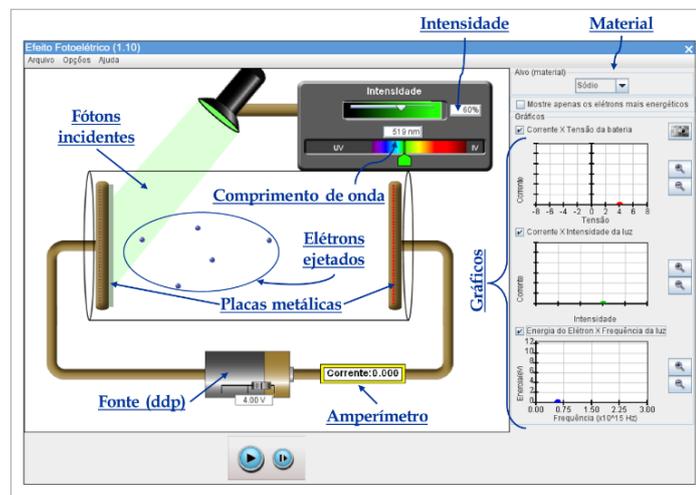
Softwares educacionais, a exemplo do PhET (*Physics Education Technology*)³, têm sido apontados como uma poderosa ferramenta no ensino de conteúdos conceitualmente difíceis, uma vez que oferecem a possibilidade de alterar valores e manusear as variáveis de forma interativa. De acordo com Bulegon (2011, p. 35), essa interação potencializa a aprendizagem,

³ Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/

tornando-a mais significativa para os alunos. Assim, a utilização desse simulador se mostra uma excelente solução para apresentar o EFE de forma dinâmica em sala de aula.

O PhET apresenta algumas vantagens que foram cruciais para nossa escolha, dentre as quais destacamos o fato deste ser um *software* livre, ter uma versão em português, além de oferecer um simulador sobre o conteúdo de EFE (Figura 10), onde se pode visualizar gráficos, a luz como onda e fótons, além de fácil manuseio.

Figura 10 - Tela do Simulador do Efeito Fotoelétrico do PhET.



Fonte: Adaptado de FREITAS (2017, p. 9).

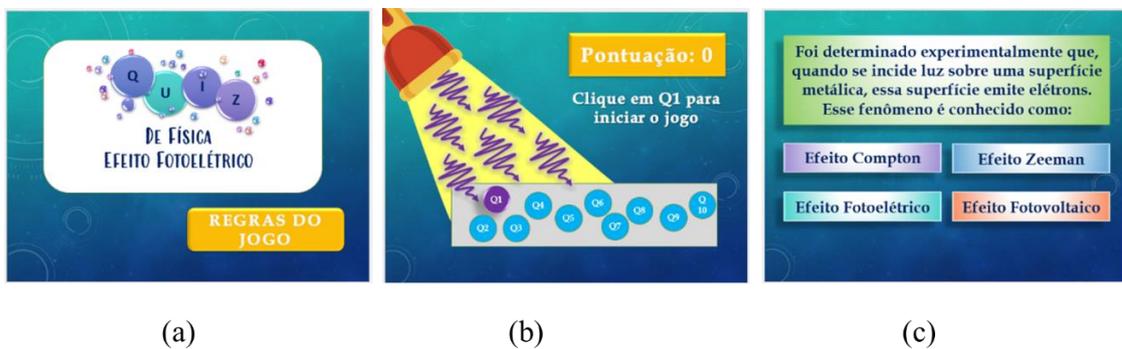
Desenvolvido pela Universidade do Colorado em 2002, o PhET oferece diversas simulações relacionadas ao ensino de física, biologia, química e matemática. Este produto busca auxiliar os professores de Física a trabalharem este conceito proposto nos livros didáticos apenas de forma conceitual, por meio de uma abordagem experimental com o uso de simulação (FREITAS, 2017, p. 8).

Sendo o jogo um convite tentador a diversão para jovens e um recurso didático poderoso usado no auxílio à aprendizagem, propõe-se nesta pesquisa a construção de um jogo educativo utilizando o editor de apresentação *Powerpoint* 2016 e os recursos nele disponíveis. Crivelli e Gama (2015, p. 1), acreditam ser viável a utilização do *PowerPoint* como uso de ferramenta pedagógica para atividades educacionais, uma vez que proporcionam ao educador desenvolver suas próprias aulas de forma mais atrativa.

O editor *PowerPoint* foi desenvolvido com a finalidade de permitir a criação de slides e apresentações de imagens, multimídias e seus recursos básicos. No entanto, os recursos do editor possibilitam uma gama de projetos, incluindo a criação de jogos educativos, uma vez que

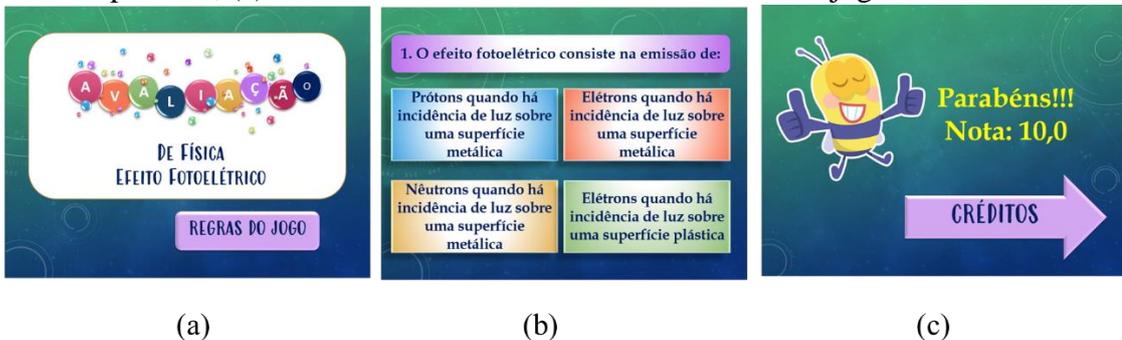
permite a utilização de botão de ação, navegação através de hiperlinks, sons, efeitos etc. Utilizando os recursos disponíveis no *PowerPoint*, foram desenvolvidos dois jogos educativo. Inicialmente foi criado um Quiz contendo dez questões sobre o efeito fotoelétrico. Posteriormente, mais um jogo foi desenvolvido, desta vez um jogo avaliativo contendo cinco questões sobre o assunto, cada questão valendo dois pontos. Alguns trechos desses jogos podem ser visualizados nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 - Esboço do Quiz elaborado: (a) tela inicial, (b) tela exibindo o progresso do aluno no jogo, (c) modelo de questão a ser respondida.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 12 - Esboço do jogo avaliativo elaborado: (a) tela inicial, (b) modelo de questão a ser respondida, (c) tela exibindo a nota do aluno ao finalizar o jogo.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais também incentivam o uso dos jogos e apontam como uma das vantagens proporcionadas por esse recurso, o desafio proposto ao discente, o que faz com que os alunos sintam mais interesse e prazer em apresentar os conteúdos trabalhados na disciplina (BRASIL, 2006). Nesse sentido, os jogos podem funcionar como recursos fundamentais para a melhoria da qualidade do ensino nas escolas, o que se refletirá em uma sociedade com indivíduos capazes de buscar soluções, enfrentar desafios, criar estratégias e serem críticos. (ABREU e ANDRADE, 2020, p. 118).

3.1 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa - UEPS

A sequência didática do tipo UEPS deverá ser desenvolvida em cinco etapas: 1) Jogo Avaliativo para coleta das concepções iniciais dos alunos; 2) Exibição de um vídeo de experimento do EFE, com estratégia de experimento investigativo. Tal recurso conta com algumas potencialidades que podem ser visualizadas na Figura 10, nesta etapa serão explorados os conteúdos conceituais; 3) Utilização do *software* educacional PhET do EFE, com estratégia de ensino por descobertas através da modelagem, onde os alunos utilizarão a modelagem computacional no *software* de simulação PhET do EFE, mudando as variáveis e descobrindo novos resultados que o fenômeno físico proporcionar, nesta etapa serão explorados os conteúdos procedimentais; 4) Aula expositiva e dialogada sobre o EFE e suas aplicações e utilização de jogo sobre o EFE com estratégia de ensino por jogos lúdicos, nesta etapa serão explorados os conteúdos atitudinais; 5) Jogo Avaliativo para coleta das concepções finais dos alunos.

As cinco etapas (Figura 13) poderão ser realizadas ao longo de quatro aulas de 48 minutos cada. As aulas deverão ser conduzidas de modo a levar o aluno possa relacionar o tema estudado com situações vivenciadas por ele diariamente. A seguir, serão apresentadas a proposta da estrutura da sequência didática e uma breve descrição do que pode ser realizado em cada aula.

3.1.2 Esquema da sequência didática

A sequência didática se guiará com base na seguinte estrutura:

Aula 01 – duração: 48 min

1ª Etapa: Coleta das concepções iniciais dos alunos.

Neste primeiro momento será utilizado um jogo avaliativo para a coleta das concepções iniciais dos estudantes (10 min). Onde os alunos vão jogar e receber uma pontuação inicial.

2ª Etapa: Apresentação do projeto e experimento investigativo.

No segundo momento, será exibido um vídeo demonstrando o experimento sobre o efeito fotoelétrico (10 min). Ao término, do mesmo, será realizado um levantamento dos questionamentos de pesquisa acadêmica e divisão dos grupos (18 min), com discussão e revisão no final sobre o que foi pesquisado e revisado sobre o EFE (10min).

Aula 02 – duração 48 min

3^a Etapa: Realização de simulações utilizando a plataforma PhET.

No terceiro momento, o professor, inicialmente demonstrará como utilizar a plataforma PhET (05min), dando as instruções necessárias para seu manuseio. Em seguida, os alunos formarão grupos para realizar as modelagens e anotar os resultados (20 min). Os grupos seguirão um roteiro de atividade⁴ previamente elaborado, e ao final, apresentarão suas conclusões a partir dos resultados observados (15 min). O fechamento da atividade será dado pelo professor, sanando-se as dúvidas e explicações sobre o EFE (8 min).

Aula 03 – duração 48 min

4^a Etapa: Aula expositiva e dialogada e utilização de jogo educativo.

No quarto momento, após aula expositiva sobre as aplicações do EFE no cotidiano, os alunos irão participar brincando em um jogo educativo sobre o EFE (de 10 a 15 min), e depois o professor tirará dúvidas dos alunos sobre as questões corretas e/ou incorretas (15min), e a aula seguirá tratando-se sobre como o EFE mudou o nosso modo de vida (18 min).

Aula 04 – duração 48 min

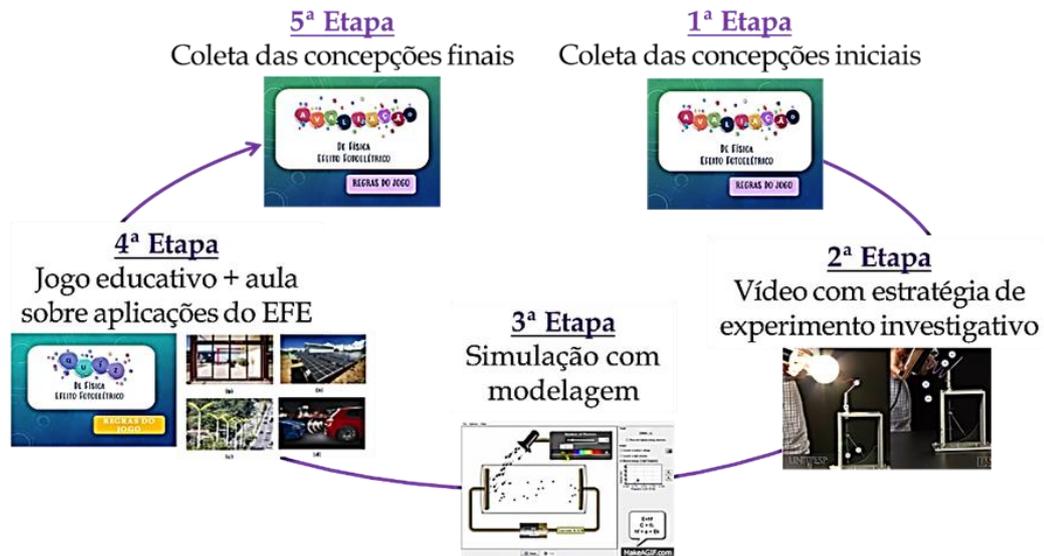
5^a Etapa: Coleta das concepções finais dos alunos.

Neste quinto momento, os alunos irão jogar novamente o jogo avaliativo para realização de avaliação de aprendizagem (48 min), e assim verificar se a sua pontuação comparada com a inicial, melhorou ou não após aplicação da sequência didática.

Por fim, o esquema metodológico da sequência didática, utilizando-se os jogos educativos desenvolvidos pela autora, pode ser visto na Figura 13.

⁴ Disponível no Apêndice: 1. Roteiro experimental – PhET EFE

Figura 13 - Sequência didática sugerida.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.1.3 Descrição da sequência didática

As aulas devem ser planejadas buscando-se utilizar estratégias que levem os alunos a fazerem *links* entre o fenômeno do efeito fotoelétrico e suas aplicações no cotidiano. A seguir, uma breve descrição do que se propõem a ser realizado em sala de aula.

Aula 01. Coleta das concepções iniciais dos alunos e experimento investigativo

Inicialmente, na primeira aula, será realizada uma avaliação diagnóstica, a fim de identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o fenômeno a ser estudado. Tal avaliação será realizada através de um jogo avaliativo com perguntas objetivas sobre o EFE e sua utilização em nosso cotidiano. Como o jogo foi desenvolvido utilizando o *software PowerPoint* o ideal é que os alunos acessem o jogo a partir de um computador. No entanto, eles poderão acessá-lo usando seus aparelhos celulares. Nesse caso, faz-se necessário ter instalado no aparelho o *office* ou um leitor de *PowerPoint*. Então, após apresentada as regras do jogo, os alunos terão um tempo para jogar.

Para a coleta do desempenho inicial dos alunos sobre o tema a ser trabalhado, isto é, o EFE e suas aplicações, os alunos receberão um cartão resposta (Figura 14 a), e deverão ser instruídos a preenchê-lo com as respostas que acreditam serem as corretas. Em seguida, o professor deverá recolher os cartões resposta para futuras comparações.

Figura 14 - Cartão resposta para coleta do desempenho (a) inicial e (b) final dos alunos.

Projeto EFE - MNPEF Prof. Soetânia Oliveira Desempenho inicial				
Aluno(a):				
Questões	A	B	C	D
Q1				
Q2				
Q3				
Q4				
Q5				

(a)

Projeto EFE - MNPEF Prof. Soetânia Oliveira Desempenho final				
Aluno(a):				
Questões	A	B	C	D
Q1				
Q2				
Q3				
Q4				
Q5				

(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Em seguida, a turma deverá ser dividida em grupos (4 ou 5 alunos). Logo após, ocorrerá a realização do experimento investigativo, que consta da exibição de um trecho de um vídeo⁵ no qual o professor Me. Cláudio Furukawa demonstra o EFE. Inicialmente, esse trecho do vídeo será exibido sem áudio. Na sequência, será solicitado aos grupos que formulem explicações sobre o fenômeno visualizado no vídeo e as apresentem. Posteriormente, o vídeo será passado na íntegra e com áudio de modo que eles terão acesso a explicação sobre o fenômeno visualizado, o efeito fotoelétrico. Por fim, o professor fará uma revisão sobre o que foi visto e esclarecerá as possíveis dúvidas que ficarem após exibição do vídeo.

Aula 02. Realização de simulações utilizando a plataforma PhET

A segunda aula será utilizada para realização das simulações computacionais com o PhET. Na ocasião, será apresentado o simulador PhET e dada as instruções para manuseio. Esta aula deverá ser realizada no laboratório de informática e dependendo da quantidade de computadores disponíveis, poderão ser mantidos os grupos formados na aula anterior. Então, os grupos serão instruídos a seguir um roteiro de atividade (Apêndice 1) previamente elaborado e ao final responderão algumas questões que os conduzam a identificar as relações entre as grandezas envolvidas, a exemplo da relação entre a frequência da luz incidente e a quantidade de elétrons ejetado. O encerramento da aula será dado pelo professor, momento oportuno para que ele possa sanar as dúvidas que ficaram após realização da atividade.

Para realizar a atividade no tempo planejado, ou seja, um tempo de aula de 48 minutos, sugere-se que o roteiro experimental tenha o número de passos e questões reduzido.

⁵ O vídeo pode ser encontrado no *link*: <https://www.youtube.com/watch?v=VVka6Mp5vyA>

Adicionalmente, dependendo da quantidade de alunos, o ideal é ter alguém para auxiliar a orientá-los durante a atividade além do professor. Outra ideia para a execução dessa atividade, caso a escola não disponha de computadores suficientes, é o próprio professor realizar a simulação, enquanto os alunos acompanham o passo a passo da atividade através da projeção desta em um Datashow. Deste modo, os alunos terão mais tempo para responder os questionamentos, mantendo sua atenção apenas na observação dos resultados simulados.

Aula 03. Aula expositiva sobre o EFE e suas aplicações e utilização de jogo educativo

A terceira aula será uma aula expositiva e dialogada para apresentar as aplicações do EFE em nosso cotidiano. Na oportunidade, deverão ser explicados o funcionamento do sistema de iluminação pública, a abertura e fechamento de portas automáticas, sistemas de alarme etc. Nessa aula, a fim de ilustrar o funcionamento básico do sistema de iluminação pública poderá ser exibido um vídeo⁶ demonstrando o funcionamento do relé fotoelétrico quando há incidência de luz sobre este. Essa alternativa poderá ser utilizada diante da impossibilidade de manter o ambiente de sala de aula com iluminação suficientemente baixa para ativação/desativação do relé fotoelétrico. Adicionalmente, um arranjo experimental (Figura 15) composto por uma lâmpada, um soquete com célula fotoelétrica e fios condutores poderá ser utilizado para demonstrar na prática a aplicação do EFE para o funcionamento de sensores. Na ocasião, os alunos irão testar o conhecimento adquirido através de um jogo educativo (Quiz) sobre o EFE (Figura 11), elaborado pela autora, contendo dez questões sobre o tema abordado na aula.

Figura 15 - Aula 03: arranjo experimental.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

⁶ Fonte: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=QIHSIRFTP74>

Aula 04. Coleta das concepções finais dos alunos

Por fim, na quarta e última aula será realizada a avaliação da aprendizagem. Para isso, será utilizado novamente o jogo avaliativo (Figura 12) aplicado na primeira aula. Vale salientar que ao final de cada aula o professor deverá enviar aos alunos, por meio de aplicativo de mensagem instantânea ou outro meio que desejar, um resumo da aula para que eles possam revisar o conteúdo abordado em sala.

Mais uma vez, os alunos serão instruídos a registrar a pontuação obtida ao final do jogo no cartão resposta (Figura 14b). Feito isso, os cartões deverão ser recolhidos para análise do professor no que diz respeito ao desempenho dos alunos após aplicação da UEPS.

É interessante que esta aula aconteça no laboratório de informática, onde os jogos que deverão estar instalados nos computadores, pois caso ocorra alguma eventualidade (aluno sem celular, jogo não funcionar no celular etc.), nenhum aluno presente deixará de participar da atividade. No entanto, caso a escola não disponha de laboratório de informática, o professor poderá fazer uso de Datashow tanto para coleta do desempenho dos alunos na primeira como na última aula. Para isso basta exibir as questões do jogo avaliativo e instruir os alunos a registrar suas respostas no cartão resposta.

Durante vários momentos ao longo do desenvolvimento desta pesquisa os alunos trabalharão em grupo, o que possibilitará a socialização entre eles e o compartilhamento de ideias. Novak (1981, apud ZOMPERO e LABURÚ, 2010, p. 15) enfatiza que em um fenômeno educativo algo é aprendido trocando significados com alguém, interagindo, seja com colegas, professores, através de livros, computadores, dividindo conhecimento e multiplicando ideias. Desse modo, a elaboração de atividades de ensino que possam ser realizadas em grupos, proporcionando a participação e cooperação entre os alunos, contribui positivamente para a aprendizagem significativa, por conta da troca de significados que se estabelece em tais situações (ZOMPERO e LABURÚ, 2010, p. 15).

Ao professor caberá avaliar o desempenho dos alunos ao longo das aulas, bem como comparar os resultados obtidos na primeira e segunda aplicação do jogo avaliativo, a fim de averiguar se houve indícios de aprendizagem significativa pelos alunos do tema abordado. De forma complementar, o professor poderá solicitar a construção de um mapa conceitual/mental sobre o EFE com base nas aulas realizadas.

4. Considerações Finais

A aplicação da UEPS descrita acima, foi pensada para tornar as aulas de física mais dinâmicas e atrativas aos alunos. A realização de aulas utilizando metodologias diferentes das costumeiras, de modo a sair um pouco da rotina do tradicional quadro e pincel, faz diferença na forma como os alunos encaram o aprendizado de conteúdos de física.

A utilização de vídeos com estratégia de experimento investigativo, faz com que os alunos interajam, trocando ideias sobre as causas prováveis para ocorrência do fenômeno físico que está sendo estudado. A modelagem computacional tem se mostrado uma ferramenta bastante eficiente no auxílio da aprendizagem, não só na compreensão de conceitos, mas também por despertar o interesse dos alunos pelas aulas de física.

A prática da experimentação em sala de aula, por mais simples que seja o experimento realizado, é bastante apreciada pelos alunos e, portanto, é algo que deve estar presente sempre que possível no cotidiano das aulas. Com relação ao jogo, sendo este um convite tentador a diversão para jovens e um recurso didático poderoso usado no auxílio à aprendizagem, sua utilização em sala de aula pode proporcionar situações de ensino-aprendizagem que aumentam a construção do conhecimento, introduzindo atividades lúdicas e interessantes para os alunos, desenvolvendo a capacidade de iniciação, imaginação e motivação.

Neste contexto, defende-se que a utilização dos recursos acima citados podem e devem ser empregados pelos professores como estratégias para fugir da mesmice das aulas tradicionais tão presentes em nossas escolas. Portanto, com a metodologia sugerida nessa sequência didática, espera-se contribuir para melhorias no processo ensino-aprendizagem da Física, uma vez que, além de utilizar recursos digitais presentes na vida do aluno, pode mostrar-lhes que é possível aprender conceitos Físicos de forma divertida.

Adicionalmente, espera-se que, ao final dessa jornada, alunos e professor tenham a oportunidade de compreender a fundo o que quis dizer Confúcio a falar que “A essência do conhecimento científico é a sua aplicação prática”.

Referências

- ABREU, E. E.; ANDRADE, F. J. **Formação Continuada De Professores Para Criação De Jogos Didático No PowerPoint**. *E-Book: Objetos virtuais de aprendizagem na formação e prática docente*. Ideia, João Pessoa, 2020.
- BRASIL, **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)**. Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2006.
- BULEGON, A. M. **Contribuições dos objetos de aprendizagem, no ensino de física, para o desenvolvimento do pensamento crítico e da aprendizagem significativa**. 2011. Tese (Doutorado em Informática na Educação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- CABRAL, J. C. **Efeito Fotoelétrico: uma abordagem a partir do estudo de circuitos elétricos**. 2015. Dissertação (Mestrado profissional em Física) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna: Origens clássicas e fundamentos quânticos**. 2ª ed. Rio de Janeiro, LTC, 2016.
- COTINGUIBA, J. R. R. O. **O efeito fotoelétrico: uma demonstração de que a experiência não leva ao conhecimento da “verdade”**. 2022. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2022.
- CRIVELLI, L. O. F.; GAMA, A. S. A Produção De Jogos No PowerPoint: Explorando Possibilidades Com Alunos Portadores De Necessidades Especiais. **Revista Funec Científica - Educação**, v.1, n.1, p. 15-29, 2015.
- FREITAS, F. F. O Uso da Plataforma PhET para o Ensino do Efeito Fotoelétrico. 2017. **Produto educacional** (Mestrado Profissional Em Ensino De Ciências) - Universidade Federal De Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
- GOMES, L. B. A. **Uso de jogos no ensino de Física: da aprendizagem à avaliação**. 2022. TCC (Graduação em Física) – UFF, Niterói - RJ, 2019.
- GOMES, V. C. **O Uso De Simulações Computacionais Do Efeito Fotoelétrico No Ensino Médio**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.
- GUTMANN, F.; OLIVEIRA, N. Roteiro experimental: Estrutura da Matéria I: Experimento 1 – Efeito Fotoelétrico. UFBA, 2002.
- JAMMER, M. **The Conceptual Development of Quantum Mechanics**, McGraw-Hill, New York, 1966.
- JESUS, M. A. **A Inserção Da Física Moderna No Ensino Médio: Uma Proposta Metodológica**. 2011. Monografia (Graduação em Física) – Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes-RO, 2011. Disponível em: https://repositorio.unifaema.edu.br/bitstream/123456789/428/5/Marco%20Aur%c3%a9lio%20de%20Jesus_TCC.pdf. Acesso 16 jan 2023.
- KLASSEN, S. The photoelectric effect: Reconstructing the story for the physics classroom. **Science & Education**, v.18, p. 593-607, 2009b.

- KUHN, T. **Black body theory and the quantum discontinuity 1894-1912**. The University of Chicago Press. Chicago & London, 1978.
- NOVAK, J. D. **Uma teoria de educação**. São Paulo, Pioneira, 1981.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**, v.4, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 2002.
- SILVA, D. D. A. **Confecção e aplicação de uma placa fotoeletrônica como ferramenta para mediar projetos pedagógicos sobre o efeito fotoelétrico no século XXI**. 2019. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
- SILVA, R. S. **Física moderna e contemporânea na educação básica: propostas de atividades experimental e lúdica para ensino do efeito fotoelétrico**. 2016. Monografia (Licenciatura em Física) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2016.
- SOARES, J. M. S. **Análise da história do efeito fotoelétrico em livros didáticos de física para graduação**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.
- SOUSA JR, F. A. L. **Estudando o efeito fotoelétrico**. 2017. Produto educacional (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – IFRJ, 2017.
- TIPLER, P. A.; LIEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 6ª edição, LTC, Rio de Janeiro, 2019.
- VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. Ensinando Física Moderna no segundo grau: Efeito fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 121-135. 1998. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6896>. Acesso em: 03 jan 2023.
- ZOMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. As atividades de investigação no Ensino de Ciências na perspectiva da teoria da Aprendizagem Significativa. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 5, n. 2, p. 12-19, Buenos Aires, 2010.

Apêndices

1. Roteiro experimental – PhET EFE

Para realizar a simulação na Plataforma PhET você deverá seguir as instruções abaixo e ao final de cada passo responder à(s) questão(ões) de acordo com suas observações.

1º passo:

- Selecione o material da placa para Sódio;
- Ajuste o comprimento de onda para 720nm ($f = 4,16 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondente à cor vermelha);
- Ajuste a intensidade para 0%, em seguida vá aumentando-a até 100%;

Questão 1: Houve ocorrência do efeito fotoelétrico?

() Sim () Não

2º passo:

- Mantenha o material da placa em Sódio e a intensidade em 100%;
- Ajuste o comprimento de onda para 530nm ($f = 5,66 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondente à cor verde);

Questão 2: É possível observar o efeito fotoelétrico?

() Sim () Não

3º passo:

- Ajuste o comprimento de onda para 450nm ($f = 6,66 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondente à cor azul);
- Mantenha o material da placa em Sódio e a intensidade em 100%;

Questão 3: O que você observou em relação à quantidade de elétrons ejetados em comparação aquela observada no passo 2 (cor verde)?

Questão 4: O que acontece se você diminuir a intensidade de 100% para 20%?

2. Sequência Didática

Nome da Escola

Disciplina: Física

Prof.:

Série: 2^a

Turma:

Turno:

Tema: Efeito Fotoelétrico e suas aplicações

Conteúdo:

- Efeito fotoelétrico e suas aplicações.
- Os conteúdos conceituais serão trabalhados a partir da exibição de vídeo sobre o EFE, com estratégia de ensino por experimento investigativo.
- Os conteúdos procedimentais serão trabalhados através da utilização de *softwares* educacionais como, por exemplo, o PhET do EFE, com estratégia de ensino por descobertas através da modelagem. Nesse caso, os alunos utilizarão a modelagem computacional do PhET, alterando as variáveis e observando os resultados que o fenômeno proporcionará a cada mudança.
- Os conteúdos atitudinais serão trabalhados a partir da aplicação de um jogo sobre o EFE, com estratégia de ensino por jogos lúdicos, em que os alunos deverão trabalhar em equipe e cumprir as regras estabelecidas no jogo.

Habilidades (BNCC):

- (EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.
- (EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.
- (EM13CNT308) Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.

Tempo da sequência didática:

4 aulas de 48 minutos cada.

Material necessário para sequência didática:

- Quadro, pincel, Datashow, computadores/tablets/celulares com acesso à internet, papel, lápis.

Aula 01 – duração: 48 min

A primeira aula terá dois momentos distintos, especificados a seguir.

- Coleta de dados iniciais sobre as concepções dos alunos. Para isso, será utilizado um jogo avaliativo. Onde os alunos vão jogar e receber uma pontuação inicial (10min).
- Apresentação do projeto e experimento investigativo: No segundo momento, será exibido um vídeo demonstrando o experimento sobre o efeito fotoelétrico (10 min). Ao término, do mesmo, será realizado um levantamento dos questionamentos de pesquisa acadêmica e divisão dos grupos (18 min), com discussão e revisão no final sobre o que foi pesquisado e revisado sobre o EFE (10min).

Aula 02 – duração 48 min

- Realização de simulações utilizando a plataforma PhET: Inicialmente, o professor demonstrará como utilizar a plataforma PhET (05min), dando as instruções necessárias para seu manuseio. Em seguida, os alunos formarão grupos para realizar as modelagens e anotar os resultados (20 min). Os grupos seguirão um roteiro de atividade⁷ previamente elaborado pelo professor e ao final, apresentarão suas conclusões a partir dos resultados observados (15 min). O fechamento da atividade será dado pelo professor, sanando-se as dúvidas e explicações sobre o EFE (8 min).

Aula 03 – duração 48 min

- Jogo educativo: Nessa aula, os alunos irão participar brincando em um jogo educativo (quiz) sobre o EFE (de 10 a 15 min), e depois o professor irá tirar dúvidas dos alunos sobre as questões corretas e/ou incorretas (15min), e a aula seguirá tratando-se sobre como o EFE mudou o nosso modo de vida (18 min).

⁷ Disponível no Apêndice: 1. Roteiro experimental – PhET EFE

Aula 04 – duração 48 min

- Coleta das percepções finais dos alunos: Na última aula, os alunos irão jogar novamente o jogo avaliativo, para verificar se a sua pontuação comparada com a inicial, melhorou ou não (48 min).

Finalização da sequência

A aprendizagem dos alunos poderá ser verificada através da comparação entre as percepções inicial e final, utilizando-se para isso a pontuação obtida em cada etapa. O professor também poderá acompanhar o aprendizado dos alunos através das discussões realizadas ao longo das aulas.

Para aqueles alunos que não conseguirem obter a nota mínima na avaliação, deverá ser realizada aula de revisão sobre o assunto, e após isso, os alunos terão oportunidade de jogar novamente no jogo avaliativo.

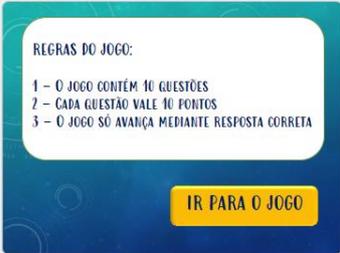
3. Jogos desenvolvidos

3.1 Quiz

1



2



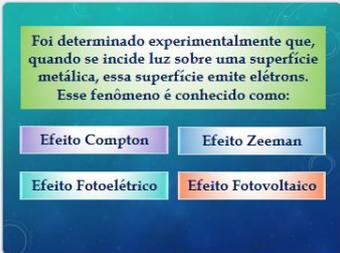
3



4



5



6



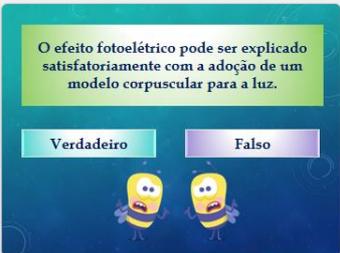
7



8



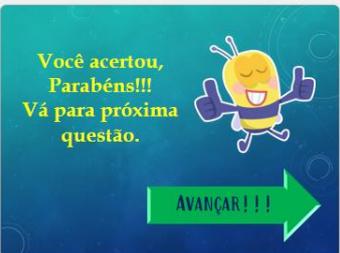
9



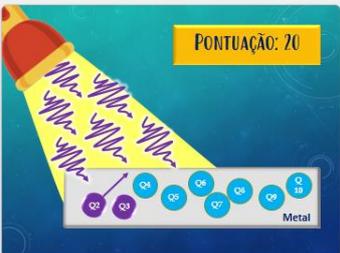
10



11



12



13



14



15



PONTUAÇÃO: 30

Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10
Metal

16



No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:

Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.

17

Eita!!!
Deu ruim dessa vez.

TENTE NOVAMENTE !

18

Acertou!!!
Você está indo muito bem.

AVANÇAR!!!

19

PONTUAÇÃO: 40

Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10
Metal

20



Qual das alternativas abaixo NÃO utiliza o efeito fotoelétrico?

Porta do elevador	Iluminação pública
Placa fotovoltaica	Aquecedor elétrico

21

OPS!!!
Resposta errada.

TENTE NOVAMENTE !

Fonte: <https://www.vecteezy.com/>

22

Parabéns!!!
Você acaba de ganhar mais 10 pontos.

Fonte: <https://www.vecteezy.com/>

AVANÇAR!!!

23

PONTUAÇÃO: 50

Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10
Metal

24



A quantidade de energia, para que ocorra o efeito fotoelétrico, é a mesma para qualquer metal.

Verdadeiro	Falso
------------	-------

25

Oh no, oh no, oh no no no...
Resposta errada.

TENTE NOVAMENTE !

26

Parabéns!!!
Você acertou.

AVANÇAR!!!

27

PONTUAÇÃO: 60

Q6 Q7 Q8 Q9 Q10
Metal

28



O efeito fotoelétrico foi observado pela primeira vez em 1887 por:

Planck	Hertz
Lenard	Einstein

29

Poxa, resposta Errada.

TENTE NOVAMENTE !

30

Ai sim, hein!!
Ganhou mais
10 pontos.



AVANÇAR!!!

31

PONTUAÇÃO: 70



07 08 09 10
Metal

32



No efeito fotoelétrico, o elétron deve receber uma energia mínima suficiente para sua emissão da placa metálica.

Verdadeiro Falso



33

Não foi dessa vez.



TENTE NOVAMENTE!

34

Resposta correta!!!
Vá para próxima questão.



AVANÇAR!!!

35

PONTUAÇÃO: 80



08 09 10
Metal

36



Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função deslocamento Função energia

Função trabalho Função metálica

37

Ah!!
Errou, continue tentando



TENTE NOVAMENTE!

38

Arrasou!!!
Você está quase no fim, continue.



AVANÇAR!!!

39

PONTUAÇÃO: 90



09 10
Metal

40



Um fóton emitido por uma lâmpada que irradia luz na cor laranja-amarelada, $\nu = 5 \cdot 10^{14} \text{Hz}$, apresenta uma energia de, aproximadamente:
(Dados: $E = h\nu$, $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$)

1,1.10⁻³⁹ J. 2,2.10⁻²⁹ J.

3,3.10⁻¹⁹ J. 4,4.10⁻⁹ J.

41

Ahhhh!!!
Errado.



TENTE NOVAMENTE!

42

Parabéns, você finalizou o jogo e ganhou 100 pontos!!!



CRÉDITOS

Fonte: <https://www.vecteezy.com/>

43

Tudo bem.
Estude um pouco mais e volte quando sentir que está pronto.



CRÉDITOS

Fonte: <https://www.pngwing.com/>

44

Mestranda
Soetânia S. de Oliveira
e
Dr. Antônio Xavier Gil

JOGAR NOVAMENTE

SAIR

45



3.2 Jogo avaliativo

1

REGRA DO JOGO

DE FÍSICA
EFEITO FOTOELÉTRICO

REGRAS DO JOGO

2

REGRAS DO JOGO:

- 1 - O JOGO CONTÉM 5 QUESTÕES.
- 2 - CADA QUESTÃO VALE 2,0 PONTOS.
- 3 - ATENÇÃO NA HORA DE CLICAR NA RESPOSTA, POIS NÃO É PERMITIDO VOLTAR À QUESTÃO ANTERIOR.
- 4 - A SOMA DAS QUESTÕES CORRETAS SERÁ SUA NOTA.

IR PARA O JOGO

3

1. O efeito fotoelétrico consiste na emissão de:

Prótons quando há incidência de luz sobre uma superfície metálica	Elétrons quando há incidência de luz sobre uma superfície metálica
Nêutrons quando há incidência de luz sobre uma superfície metálica	Elétrons quando há incidência de luz sobre uma superfície plástica

4

Você acertou, Parabéns!!!
2,0

AVANÇAR!

5

Ops! Resposta errada
0,0

AVANÇAR!

6

2. O efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo corpuscular para a luz.

Verdadeiro Falso

7

2. O efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo corpuscular para a luz.

Verdadeiro Falso

8

É isso aí!!!
4,0

AVANÇAR!

9

Não foi dessa vez.
2,0

AVANÇAR!

10

É isso aí!!!
2,0

AVANÇAR!

11

Não foi dessa vez.
0,0

AVANÇAR!

12

3. Qual das alternativas abaixo NÃO utiliza o efeito fotoelétrico?

Porta do elevador	Placa fotovoltaica
Aquecedor elétrico	Iluminação pública

13

3. Qual das alternativas abaixo NÃO utiliza o efeito fotoelétrico?

Porta do elevador	Placa fotovoltaica
Aquecedor elétrico	Iluminação pública

14

3. Qual das alternativas abaixo NÃO utiliza o efeito fotoelétrico?

Porta do elevador	Placa fotovoltaica
Aquecedor elétrico	Iluminação pública

15

3. Qual das alternativas abaixo NÃO utiliza o efeito fotoelétrico?

Porta do elevador	Placa fotovoltaica
Aquecedor elétrico	Iluminação pública

 <p>Acertou!!! 6,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Eita!!! Deu ruim. 4,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Acertou!!! 4,0</p> <p>AVANÇAR!</p>												
16	17	18												
 <p>Eita!!! Deu ruim. 2,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Acertou!!! 4,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Eita!!! Deu ruim. 2,0</p> <p>AVANÇAR!</p>												
19	20	21												
 <p>Acertou!!! 2,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	 <p>Eita!!! Deu ruim. 0,0</p> <p>AVANÇAR!</p>	<p>4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.</td> </tr> <tr> <td>Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.</td> </tr> </tbody> </table>	Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.	Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.								
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.													
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.													
22	23	24												
<p>4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.</td> </tr> <tr> <td>Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.</td> </tr> </tbody> </table>	Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.	Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.	<p>4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.</td> </tr> <tr> <td>Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.</td> </tr> </tbody> </table>	Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.	Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.	<p>4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.</td> </tr> <tr> <td>Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.</td> </tr> </tbody> </table>	Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.	Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.													
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.													
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.													
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.													
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.													
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.													
25	26	27												
<p>4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.</td> </tr> <tr> <td>Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.</td> </tr> </tbody> </table>	Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.	Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.	<p>4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.</td> </tr> <tr> <td>Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.</td> </tr> </tbody> </table>	Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.	Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.	<p>4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.</td> </tr> <tr> <td>Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.</td> <td>Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.</td> </tr> </tbody> </table>	Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.	Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.													
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.													
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.													
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.													
Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.													
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente.	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.													
28	29	30												

4. No efeito fotoelétrico, a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:

Da frequência e não da amplitude da radiação incidente.	Da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.
Exclusivamente da amplitude da radiação incidente	Do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.

31

Aí sim, hein!!
8,0

AVANÇAR!

32

Poxa, resposta Errada.
6,0

AVANÇAR!

33

Aí sim, hein!!
6,0

AVANÇAR!

34

Poxa, resposta Errada.
4,0

AVANÇAR!

35

Aí sim, hein!!
6,0

AVANÇAR!

36

Poxa, resposta Errada.
4,0

AVANÇAR!

37

Aí sim, hein!!
4,0

AVANÇAR!

38

Poxa, resposta Errada.
2,0

AVANÇAR!

39

Aí sim, hein!!
6,0

AVANÇAR!

40

Poxa, resposta Errada.
4,0

AVANÇAR!

41

Aí sim, hein!!
4,0

AVANÇAR!

42

Poxa, resposta Errada.
2,0

AVANÇAR!

43

Aí sim, hein!!
4,0

AVANÇAR!

44

Poxa, resposta Errada.
2,0

AVANÇAR!

45

Aí sim, hein!!
2,0

AVANÇAR!

46

Poxa, resposta Errada.
0,0

AVANÇAR!

47

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

48

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

49

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

50

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

51

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

52

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

53

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

54

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

55

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

56

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

57

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

58

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

59

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

60

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

61

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

62

5. Para um elétron abandonar a superfície do metal, ele necessita de uma quantidade de energia denominada:

Função energia	Função deslocamento
Função metálica	Função trabalho

63

Parabéns!!!
Nota: 10,0

CRÉDITOS →

64

Parabéns!!!
Nota: 8,0

CRÉDITOS →

65

Parabéns!!!
Nota: 8,0

CRÉDITOS →

66

Parabéns!!!
Nota: 6,0

CRÉDITOS →

67

Parabéns!!!
Nota: 8,0

CRÉDITOS →

68

Parabéns!!!
Nota: 6,0

CRÉDITOS →

69

Parabéns!!!
Nota: 6,0

CRÉDITOS →

70

Ops!!!
Nota: 4,0

CRÉDITOS →

71

Parabéns!!!
Nota: 8,0

CRÉDITOS →

72

Parabéns!!!
Nota: 6,0

CRÉDITOS →

73

Parabéns!!!
Nota: 6,0

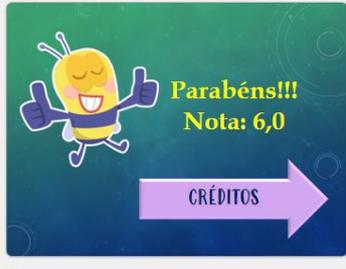
CRÉDITOS →

74

Ops!!!
Nota: 4,0

CRÉDITOS →

75

 <p>76</p>	 <p>77</p>	 <p>78</p>
 <p>79</p>	 <p>80</p>	 <p>81</p>
 <p>82</p>	 <p>83</p>	 <p>84</p>
 <p>85</p>	 <p>86</p>	 <p>87</p>
 <p>88</p>	 <p>89</p>	 <p>90</p>





TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL

1. Identificação do material bibliográfico:

- () Tese (x) Dissertação
() Produto resultante de tese (x) Produto resultante de dissertações

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Autor: SOETÂNIA SANTOS DE OLIVEIRA	
Matrícula: 2022100356	CPF: 045.576.094-22
Telefone fixo: 92 98803-0381	
Telefone celular: (83) 98806-9142	E-mail: soetaniaoliveira@gmail.com
Título do Trabalho: MODELAGEM E JOGOS AVALIATIVOS COMO FERRAMENTAS PARA O APRENDIZADO DO EFEITO FOTOELÉTRICO EM SITUAÇÕES DO COTIDIANO DOS ALUNOS	
Título do Produto: O ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO EM SITUAÇÕES DO COTIDIANO ATRAVÉS DE JOGOS E MODELAGEM	
Nome do orientador: DR. ANTONIO XAVIER GIL	
Co-orientador:	
Membros da Banca:	
(1) DR. OCTÁVIO DANIEL RODRIGUES SALMON	(membro titular interno)
(2) DRA. CAROLINE MENDONÇA ARAÚJO PAIXÃO	(membro titular externo)

2.1 Pós Graduação Stricto Sensu (Mestrado e Doutorado)

Programa: MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
Curso: MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
Área do Conhecimento: Ensino (CAPES)
Palavras-chave: EFEITO FOTOELÉTRICO, ENSINO DE FÍSICA, JOGOS AVALIATIVOS, MODELAGEM, APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA
Data da Defesa: 09 DE MARÇO DE 2024

3. Agência (s) de fomento (se houver): Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - código de financiamento 001- e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM)

4. Licença de uso:

Na qualidade de titular dos direitos de autor do conteúdo supracitado, autorizo o Instituto Federal do Amazonas a disponibilizar a obra no Repositório Institucional gratuitamente, de acordo com a licença pública *Creative Commons* Licença 4.0 Internacional por mim declarada sob as seguintes condições.

Permite uso comercial de sua obra? () Sim; (x) Não;

Permitir alterações em sua obra? () Sim; () Sim, desde que outros compartilhem pela mesma licença; (x) Não.



A obra continua protegida por Direitos Autorais e/ou por outras leis aplicáveis. Qualquer uso da obra que não o autorizado sob esta licença ou pela legislação autoral é proibido.

7. Informação de acesso ao documento:

Liberação para publicação: (x) Total () Parcial

A restrição (parcial ou total) poderá ser mantida por até um ano a partir da data de autorização da publicação. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à PROEN e PPGI. Em caso de publicação parcial, o embargo será de 12 meses.

Especifique o (s) arquivo(s) capítulo(s) restritos:

Declaração de distribuição não-exclusiva

O referido autor:

- Declara que o documento entregue é seu trabalho original e que detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer pessoa ou entidade.
- Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder ao Instituto Federal do Amazonas os direitos requeridos por esta licença e que esse material, cujos direitos são de terceiros, está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.
- Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o IFAM, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo contrato ou acordo.

Assinatura do Autor: Sustânia Santos de Oliveira

Data: 22/04/2024