

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

POLO 04

Ariane Gonçalves Pinheiro

**Abordagem do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio: uma Sequência
Didática como Estratégia**

Manaus-AM
2023

Ariane Gonçalves Pinheiro

**Abordagem do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio: uma Sequência
Didática como Estratégia**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação Polo 04 IFAM/UFAM no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. José Roberto Viana Azevedo.

Manaus-AM
2023

Biblioteca IFAM – Campus Manaus Centro

P654a Pinheiro, Ariane Gonçalves.
Abordagem do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio: uma Sequência Didática como Estratégia/ Ariane Gonçalves pinheiro. – Manaus, 2023.
150 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, 2023.
Orientador: Prof. Dr. José Roberto Viana Azevedo.

1. Física – ensino. 2. Efeito fotoelétrico. 3. Sequência didática. 4. Aprendizagem significativa. I. Azevedo, José Roberto Viana. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 530



Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo 4

Ata da 60ª Defesa de Dissertação

Aos quatro dias do mês de agosto, do ano de dois mil e vinte e três, às 14 h00, por webconferência, ocorreu a Defesa da Dissertação da mestrand **Ariane da Silva Gonçalves**, intitulada: **“ABORDAGEM DO EFEITO FOTOELÉTRICO NO ENSINO MÉDIO: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO ESTRATÉGIA”**, 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. José Roberto Viana Azevedo (UFAM), Prof. Dr. Márcio Andrei Souza Amazonas (IFAM) e Prof. Dr. Denílson da Silva Borges (UFAM). O Professor Doutor José Roberto Viana Azevedo, 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 mestrand 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.

Documento assinado digitalmente



JOSE ROBERTO VIANA AZEVEDO
Data: 15/08/2023 18:16:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Roberto Viana Azevedo
Presidente - UFAM

Documento assinado digitalmente



DENILSON DA SILVA BORGES
Data: 10/08/2023 21:15:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Denílson da Silva Borges
Membro Interno - UFAM

Documento assinado digitalmente



MARCIO ANDREI SOUSA AMAZONAS
Data: 15/08/2023 09:40:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Márcio Andrei Souza Amazonas
Membro Externo - IFAM

Ariane Gonçalves Pinheiro

Abordagem do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio: uma Sequência Didática como Estratégia

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação Polo 04 IFAM/UFAM no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. José Roberto Viana Azevedo.

Aprovada em: 04 /08 /2023

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
JOSE ROBERTO VIANA AZEVEDO
Data: 25/08/2023 17:52:23-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr. José Roberto Viana Azevedo – UFAM – (Presidente) Orientador

Marcio Amazonas

Dr. Márcio Andrei Souza Amazonas – IFAM (Membro Externo)

Denilson S Borges

Dr. Denilson da Silva Borges – UFAM (Membro interno)

DEDICATÓRIA

Dedico essa dissertação à minha família que esteve presente, mesmo na minha ausência e que é minha inspiração em cada vitória alcançada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, que na sua infinita bondade me apresentou com as melhores pessoas, onde pude aprender a amar e ser amada em uma família, e ao privilégio de poder fazer parte do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), onde encontrei pessoas maravilhosas.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001, pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida.

Agradeço à minha filha, Di Pietra Gonçalves Pinheiro, que sempre será meu maior amor, minha inspiração para ser melhor a cada dia, que traz consigo a melhor energia, minha luz e minha felicidade.

Sou muito grata a meu marido, Di Angelo Matos Pinheiro, que sempre foi meu maior incentivador, amigo, parceiro, e sobre tudo minha força nas lutas diárias.

Agradeço à minha mãe, Maria Eliana da Silva Gonçalves, que abdicou muitos momentos da sua vida para cuidar de mim e da minha família, estando firme diante de muitas dores que a vida lhe impôs.

Agradeço ao meu pai e irmãos que estiveram e estão na torcida para que eu tenha ênfase nos meus objetivos.

A meu orientador, Dr. Jose Roberto Viana Azevedo, que esteve a compreender a minha demora e com palavras acolhedoras me incentivou a não desistir.

Agradeço à coordenação do MNPEF do polo 4 – Manaus, e ao corpo docente de professores, pela aprendizagem e conhecimento que adquiri no decorrer desse mestrado.

Aos meus colegas de curso que se tornaram amigos, e que estiveram presentes nas aulas compartilhando conhecimento.

E por fim, agradeço a todos as pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram para que pudesse estar aqui agradecendo com muita alegria, que Deus esteja com todos.

RESUMO

Diante de tantas tecnologias disponíveis, a descoberta do Efeito Fotoelétrico tem sua importância para a melhor compreensão da natureza da luz, sua aplicação possibilitou melhores condições de vida em sociedade. Este trabalho teve como objetivo abordar o tema Efeito Fotoelétrico em sala de aula, através de uma Sequência Didática como estratégia de aprendizagem, para alunos do ensino médio, na perspectiva da teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel, de modo que leve o aluno a sair da ideia de senso comum, e ir ao encontro do conhecimento científico. A metodologia a ser utilizada será relato de experiência, ou seja, uma abordagem qualitativa e posteriormente fundamentada teoricamente.

Palavras-chaves: Ensino de física, efeito fotoelétrico, sequência didática, aprendizagem significativa.

ABSTRACT

Faced with so many available technologies, the discovery of the Photoelectric Effect has its importance for a better understanding of the nature of light, its application made possible better living conditions in society. All in all, this work aimed to approach the theme Photoelectric Effect in the classroom, through a Didactic Sequence as a learning strategy, for high school students, from the perspective of David Ausubel's theory of meaningful learning, so that the student to leave the idea of common sense, and arrive at scientific knowledge. The methodology to be used will be an experience report, that is, a qualitative approach and later theoretically grounded.

Keywords: Physics teaching, photoelectric effect, didactic sequence, meaningful learning.

LISTA 01 – FIGURAS

Figura 01: Figura 1. A aprendizagem significativa na visão humanista de Joseph Novak.....	28
Figura 02: Figura 2. A aprendizagem significativa na visão internacionalista social de Gowin (1981)	28
Figura 03: Figura 3. A aprendizagem significativa em uma visão cognitivista contemporânea.....	29
Figura 04: Figura 4. A aprendizagem significativa (captação de significativos) na visão computacional	31
Figura 05: Heinrich Rudolf Hertz.....	36
Figura 06: Aparato para demonstrar o Efeito Fotoelétrico.....	37
Figura 07: Gráfico da corrente elétrica em função da diferença de potencial entre os eletrodos.....	38
Figura 08: Gráfico do potencial de corte em função da frequência da luz incidente.....	39
Figura 09: Albert Einstein.....	41
Figura 10: Gráfico da energia cinética do elétron ejetado em função da frequência de luz incidente	47
Figura 11: Função trabalho de diferentes metais.....	48
Figura 12: Observação do Efeito Fotoelétrico	48
Figura 13: Demonstração da emissão de fótons	49
Figura 14: Sensores com base no Efeito Fotoelétrico.....	50
Figura 15: Porta automática com sensor	52

Figura 16: Fotocélula.....	53
Figura 17: Apresentação da simulação do Efeito Fotoelétrico.....	60
Figura 18: Simulação do Efeito Fotoelétrico.....	61
Figura 19: primeiro momento da aula 1, turma B	78
Figura 20: Alunos participantes da aula 1, turma A.....	80
Figura 21: Simulador do Efeito Fotoelétrico – PHET <i>simulations</i>	85
Figura 22: computadores com simulador do Efeito Fotoelétrico	85
Figura 23: Momento de leitura do tutorial do simulador do Efeito Fotoelétrico .	86
Figura 24: Momento da realização da atividade de análise do Efeito Fotoelétrico com o uso de um simulador computacional.....	87
Figura 25: Questão 1 do exercício de análise do simulador de Efeito Fotoelétrico – aluno 6.....	87
Figura 26: Questão 2 do exercício de análise do simulador de Efeito Fotoelétrico – aluno 7.....	88
Figura 27: Questão 3 do exercício de análise do simulador de Efeito Fotoelétrico – aluno 8.....	88
Figura 28: Questão 4 do exercício de análise do simulador de Efeito Fotoelétrico – aluno 9.....	88
Figura 29: Questão 5 do exercício de análise do simulador de Efeito Fotoelétrico – aluno 10.....	88

LISTA 02 - QUADROS

Quadro 1: Aprendizagem significativa na visão cognitivista clássica de Ausubel (1963,1968, 2000, 2003). A assimilação ausubeliana.....	26
Quadro 2: Proposições básicas da visão da progressividade e da complexidade da aprendizagem significativa.....	30
Quadro 3: Princípios facilitadores de uma aprendizagem significativa crítica...32	
Quadro 4: Roteiro de atividades da sequência didática	74

LISTA 03 – GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultado quantitativo para o questionário inicial, com respostas satisfatórias e não satisfatórias.....	82
Gráfico 2: Resultado quantitativo da atividade análise do simulador para o Efeito Fotoelétrico	89
Gráfico 3: Resultado quantitativo da questão 1- Avaliação final	90
Gráfico 4: Resultado quantitativo da questão 2- Avaliação final	91
Gráfico 5: Resultado quantitativo da questão 3 - Avaliação final	92
Gráfico 6: Resultado quantitativo da questão 4 - Avaliação final	93
Gráfico 7: Resultado quantitativo da questão 5 - Avaliação final	94

LISTA 04 – ABREVIACOES

ENEM	Exame Nacional de Ensino Médio
FMC	Física Moderna e Contemporânea
IESDE	Inteligência Educacional e Sistemas de Ensino
MEC	Ministério de Educao
OCEM	Orientaes Curriculares do Ensino Médio
SD	Sequência Didática
PHET	<i>Physics Education Technology</i> / Simulaes Interativas da Universidade do Colorado
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
URCA	Universidade Regional do Cariri

Sumário

1 INTRODUÇÃO	17
2 ELEMENTOS DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NA ANCORAGEM DO CONHECIMENTO	22
2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NA PERSPECTIVA DA VISÃO CLÁSSICA À VISÃO CRÍTICA.....	25
2.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO ENSINO DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO	33
3 UM BREVE ESTUDO SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO.....	35
3.1 O CONTEXTO HISTÓRICO DO EFEITO FOTOELÉTRICO	35
3.1.1 Heinrich Hertz até Albert Einstein	35
3.2 O COMPORTAMENTO DA LUZ	43
3.3 DEFINIÇÃO DO EFEITO FOTOELÉTRICO	44
3.3.1 Aplicações na indústria e no cotidiano	49
4 O ESTUDO DO EFEITO FOTOELÉTRICO APOIADO NA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	55
4.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO ESTRATÉGIA PARA APRENDIZAGEM.....	56
4.2 O USO DO SIMULADOR NO ENSINO DE FÍSICA	58
4.2.1 Simulação do efeito fotoelétrico no aplicativo Phet.....	59
5 METODOLOGIA E ITINERÁRIO DA PESQUISA.....	62
5.1 A PESQUISA QUALITATIVA.....	63
5.2 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA	63
5.3 TÉCNICA DE PESQUISA.....	65
5.3.1 Observação participante	65
5.3.2 Observação direta extensiva.....	65
5.3.3 Entrevista livre	66
5.3.4 Análise de dados	67
5.4 PROBLEMA	67
5.5 QUESTÃO DA PESQUISA.....	67
5.6 OBJETIVOS: GERAL E ESPECÍFICOS.....	68
6 SOBRE O PRODUTO EDUCACIONAL.....	69
6.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO	69
6.2 ROTEIRO DE APLICAÇÃO.....	74
7 - IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DA PESQUISA	76
7.1 RELATÓRIO DESCRITIVO PARA APRESENTAÇÃO DE DADOS	77
7.2 AULA 01 PRIMEIRA ETAPA – APRESENTAÇÃO E APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	77
7.3 AULA 02 E 03 SEGUNDA ETAPA – APLICAÇÃO DE CONHECIMENTO.....	82
7.4 AULA 04 TERCEIRA ETAPA – USO DO SIMULADOR	84
7.5 AULA 05 ETAPA FINAL – AVALIAÇÃO FINAL	90
8 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
REFERÊNCIAS.....	97
APÊNDICE A _ Produto Educacional.....	100
APÊNDICE B _ Termo de consentimento.....	129
APÊNDICE C – Questionário 1.....	130
APÊNDICE D – Exercício de análise	132
APÊNDICE E – Questionário final	133

APÊNDICE F – Apresentação dos slides da aula 02	135
APÊNDICE G – Apresentação dos slides da aula 03.....	137
APÊNDICE H - Apresentação dos slides da aula 03.....	142
ANEXO A – Texto “Dualidade onda-partícula e o efeito fotoelétrico”	146
ANEXO B – Texto “Efeito Fotoelétrico”	147
ANEXO C – Tutorial PHET – Efeito Fotoelétrico	148

1 INTRODUÇÃO

O meio educacional está em constante transformação, diante dos avanços tecnológicos, os alunos estão cada vez mais envolvidos com as mudanças. A escola vai se adaptando e o ambiente de ensino vai se moldando às novas práticas. Contudo, se trata de um processo lento, pois, as transformações na sociedade ocorrem em uma velocidade muito maior, devido as inovações nos suportes tecnológicos de informação e comunicação. Essa é uma realidade na qual os alunos de ensino médio vivenciam, e que pode servir de elo para a aquisição de novos conhecimentos, a partir do que o aluno tem como experiência.

Usar o conhecimento que os alunos trazem do seu cotidiano, pode facilitar a aprendizagem no ensino de Física, pois, o processo de ensino aprendizagem está ligado a um conjunto de requisitos necessários para que ocorra uma transformação do senso comum ao pensamento científico. Proporcionando aos alunos uma visão diferente da Física que se aprende na escola, como afirma [Pereira 2018], a Física Moderna costuma receber pouca atenção no currículo do ensino médio, porém, sua significância é crucial para a formação científica dos alunos. Isso é especialmente relevante porque eles interagem diariamente com dispositivos eletrônicos, tanto em ambientes domésticos quanto em estabelecimentos como supermercados e hospitais.

A Física Moderna e Contemporânea (FMC) ainda é pouco abordada nas escolas de ensino médio, apesar de fazer parte de um contexto histórico de transformações na sociedade, e explicar diversos fenômenos físicos que nos levam à compreensão mais profunda da natureza. A Física ainda é vista pelos alunos como sendo complexa e difícil, muitas vezes é abordada apenas por meio de cálculos, pouca teoria e quase nenhuma atividade prática, gerando um distanciamento do estudo dessa ciência.

Para ensinar Física nos dias atuais, é necessário a utilização de ferramentas que facilite o ensino e garanta uma aprendizagem eficaz. É importante um planejamento de atividades associada a realidade dos

estudantes, considerando suas experiências, e permitindo ao aluno sua independente na aprendizagem, tanto em atividades práticas como conceitual. Nos Parâmetros Curriculares Nacional do Ensino Médio (PCNEM) é enfatizado esse momento particular do ensino de Física na vida do estudante, como segue no trecho do documento de [Brasil 1998]:

...o aprendizado de Física tem características específicas que podem favorecer uma construção rica em abstrações e generalizações, tanto de sentido prático como conceitual. Levando-se em conta o momento de transformações em que vivemos, promover a autonomia para aprender deve ser preocupação central, já que o saber de futuras profissões pode ainda estar em gestação, devendo buscar-se competências que possibilitem a independência de ação e aprendizagem futura.

A aprendizagem percorre um caminho de construção moldado pelo professor, que é o mediador para novos conhecimentos, ele deve estar disposto a buscar novas ferramentas que facilite o ensino de Física em sala de aula, mesmo que em muitos casos esses professores sintam dificuldade em trabalhar FMC. Nos documentos oficiais do Ministério de Educação (MEC), como exemplo as Orientações Curriculares do Ensino Médio (OCEM), relatam essa realidade da sala de aula de seus atores, e sugere que “para se adequarem ao ensino de Física, inclusive em termos didáticos, os conteúdos do currículo escolar precisaram passar necessariamente por transformações”, levando em consideração o que os alunos trazem consigo.

O conhecimento prévio do aluno é o ponto de partida para as transformações de um novo conhecimento de forma significativa. Diante disso, esse trabalho se baseia nas diretrizes da teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel que é um representante do cognitivismo, onde o foco principal da sua teoria é proporcionar uma aprendizagem significativa, levando em consideração o conhecimento prévio dos estudantes, que de acordo com [Moreira 2011] “aprendizagem significativa é aquela em que as ideias expressas simbolicamente interagem de maneiras substantivas e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe”.

Esse trabalho traz uma proposta de ensino, a aplicação de uma Sequência Didática (SD) como estratégia para facilitar a aprendizagem levando em considerando o conhecimento prévio. O tema escolhido para essa pesquisa foi o Efeito Fotoelétrico, encontrado em livros do terceiro ano do ensino médio, mas que nem sempre é abordado em sala de aula, e faz partes dos conteúdos de vestibulares. O princípio físico do Efeito Fotoelétrico está presente em inúmeros instrumentos tecnológicos, como por exemplo os sensores presentes em diversos dispositivos eletrônicos, como é o caso da porta automática, que faz parte do dia a dia dos discentes que participaram da pesquisa.

O objetivo geral dessa pesquisa é desenvolver uma sequência didática sobre Feito Fotoelétrico para alunos do ensino médio, apresentando as principais contribuições no processo de construção sobre o fenômeno abordado, assim como seus conceitos e aplicações. E para alcançar essa meta, temos como objetivos específicos, i) questionar os alunos sobre suas concepções prévias a ser abordado, para constar possíveis concepções errôneas; ii). apresentar o contexto histórico do tema Efeito Fotoelétrico, bem como os conceitos sobre a natureza da luz; iii) mostrar através de vídeos de curta duração o processo de construção do tema Efeito Fotoelétrico e suas aplicações no cotidiano; iv) visualizar através de um aplicativo de computador (PHET simulations) a simulação do fenômeno abordado; v) reconhecer a Física Moderna e Contemporânea como importante instrumento na construção humana, cujo desenvolvimento está atrelado a contextos: cultural, social, político e econômico, definidos historicamente.

A problemática em questão foi abordar i) quais as ideias e opiniões dos alunos sobre a natureza da luz, sobre o tema Efeito Fotoelétrico e suas aplicações no cotidiano? ii) é possível modificar essas concepções prévias, em caso de errôneas, fazendo uma intervenção no ensino aprendizagem, através de uma sequência didática, estrutura e organizada, com o intuito de levar os alunos do senso comum ao conhecimento científico, baseando-se nos preceitos da aprendizagem significativa?

Essa sequência didática, como estratégia para o ensino do Efeito Fotoelétrico, foi fundamentada nas ideias de [Zabala 1998], pois é uma forma

planejada, com objetivos definidos, e que seguem uma lógica crescente da atividade do ensino, como é definido abaixo:

A sequência didática é a forma de encadear e articular as diferentes atividades ao longo de uma unidade de ensino Os grandes propósitos estabelecidos nos objetivos educacionais são imprescindíveis e também úteis para realizar a análise global do processo educacional ao longo de toda uma série e, sem dúvida, durante todo um ciclo ou uma etapa.

A SD foi elaborada, para ser desenvolvida com duas turmas do terceiro ano do ensino médio, e foi dividida em quatro etapas, onde a primeira etapa iniciou-se com a aplicação de um questionário prévio, com o intuito de conhecer os subsunçores relevante de cada aluno em relação ao tema “Efeito fotoelétrico” para então fazermos a interação dos novos conhecimentos. “Define-se subsunçor como conceito facilitador para um novo assunto, um conhecimento prévio que facilita a inserção de uma nova informação”, [Moreira; Masini, 2006].

A segunda etapa da SD é a aplicação do conhecimento, e deu-se a partir do estudo do contexto histórico referente ao tema abordado, desde as observações realizadas pelo físico alemão Heinrich Hertz, até a fundamental contribuição de Albert Einstein. Foi abordado também o conceito de Dualidade onda-partícula. Nessa segunda etapa foi trabalhado também o conceito de Efeito Fotoelétrico, e suas aplicações na indústria e cotidiano. Na terceira etapa, utilizou-se um aplicativo computacional (PHET), para realizar um experimento virtual, com o intuito de facilitar a compreensão do Efeito Fotoelétrico. E na quarta etapa foi realizada a aplicação de um exercício avaliativo.

A estrutura do texto dessa dissertação está organizado como segue: 1 Introdução; 2 - Elementos da aprendizagem significativa na ancoragem do conhecimento, esse capítulo descreve a contribuição da aprendizagem significativa baseada na teoria de David Ausubel ; 3 - Um breve estudo sobre o efeito fotoelétrico, esse capítulo relata a contribuição de Hertz até Einstein na construção histórica do tema Efeito Fotoelétrico, o conceito de dualidade onda-partícula e a aplicabilidade do fenômeno abordado; 4 - O estudo do Efeito

Fotoelétrico apoiado na aprendizagem significativa, esse capítulo descreve a aprendizagem significativa presente no estudo do Efeito Fotoelétrico, tendo em vista o conhecimento prévio dos alunos; 5 - Metodologia e itinerário da pesquisa, esse capítulo descreve o caminho percorrido para a realização desse trabalho; 6 - Sobre o Produto Educacional, esse capítulo é uma abordagem do produto educacional da pesquisa; 7 - Implementação e análise da pesquisa, esse capítulo será para apresentar os resultados das atividades realizadas pelos alunos bem como as anotações de observações da docente e participação dos discentes e, por fim, 8, onde elencaremos nossas considerações finais.

2 ELEMENTOS DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NA ANCORAGEM DO CONHECIMENTO

Neste capítulo busca-se descrever a contribuição da aprendizagem significativa embasada na teoria de David Ausubel, como um produto significativo na estrutura cognitiva do desenvolvimento do aprendiz.

Quando se fala em aprendizagem, pode-se observar pelo menos três tipos gerais: cognitiva, afetiva e psicomotora. A aprendizagem cognitiva advém da forma organizada de armazenar informações na mente daquele que aprende. A aprendizagem afetiva é resultante de sinais internos do indivíduo. Já a aprendizagem psicomotora, está relacionada ao envolvimento das respostas musculares do corpo a partir de treino e prática [Moreira, 2011].

Muitas teorias tentam explicar o processo no qual se dá a organização das informações que o ser humano recebe do mundo. Embora o estudo científico do comportamento humano tenha trazido muitos proveitos intelectuais para a compreensão da psicologia cognitiva que servem de base para o desenvolvimento do indivíduo, o comportamento humano e seu desenvolvimento intelectual, continua sendo a parte mais intrigante da evolução. De acordo com [SANTOS 2022]:

A cognição consiste em processar as informações. A função da cognição é de perceber, integrar, compreender e responder adequadamente a todos os estímulos do ambiente em que uma pessoa está inserida. A cognição é a habilidade que temos para assimilar e processar as informações diferentes que recebemos da percepção, experiências, crenças e afins. A finalidade dessas informações é delas serem convertidas em conhecimento.

O processo cognitivo está diretamente relacionado com a aprendizagem, que acontece quando novas informações são adquiridas ou modificadas pelo indivíduo e o principal elo entre a cognição e a aprendizagem é a motivação, pois quanto maior for o estímulo do ambiente que o cerca maior será a aprendizagem de um novo conhecimento.

Nessa busca em compreender a cognição humana, tem-se desenvolvido muitos mecanismos capazes de ajudar os diversos processos de aprendizagem de forma significativa. A partir dos conhecimentos e convicções que os alunos levam para a sala de aula é possível fazer com que esses alunos possam refletir sobre suas ideias e compará-las com o conhecimento científico, gerando um conflito cognitivo e criando um elo entre esses conhecimentos.

Nessa linha, o contexto escolar vem ganhando novas características que facilitam a ação do professor em sala de aula, pois segundo [Figueiredo 2012]:

A ciência cognitiva, na busca por compreender como atribuímos significado à realidade torna o ato de ensinar e aprender particularmente em contextos escolares, uma emergência e uma preocupação constante na ação pedagógica frente à constituição de uma teoria de ensino que disponha de conhecimentos científicos que tenha em conta a forma como se organizam e se integram os conceitos na estrutura cognitiva do indivíduo, ou seja, como o conteúdo de ensino se organiza para que o estudante aprenda de forma significativa.

Na forma de poder explicar e compreender a estrutura cognitiva do indivíduo, toma-se as contribuições da teoria de David Ausubel, um teórico cognitivista, que de acordo com [Figueiredo 2012], Ausubel propõe uma visão essencialmente determinada pelo modo em que aprendemos a aprender o mundo, onde o sujeito é participante ativo do próprio processo de aprendizagem. A teoria significativa por David Ausubel de 1963 e reiterada em 2003, de acordo com [Moreira 2006]. [Ausubel 2003] a define:

É o produto significativo de um processo psicológico cognitivo (saber) que envolve a interação entre ideias “logicamente” (culturalmente) significativas, ideias anteriores (ancoradas) relevantes da estrutura cognitiva particular do aprendiz (ou estrutura dos conhecimentos deste) e o “mecanismo” mental do mesmo para aprender de forma significativa ou para adquirir e reter conhecimento. (grifos do autor)

Numa visão geral [Moreira 2011] afirma que a aprendizagem significativa “é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe”. Ou seja, essa interação não pode ser com qual quer conhecimento e sim com um

conhecimento especificamente relevante para uma nova aprendizagem a qual já deve estar presente na estrutura cognitiva do aprendiz. Esse conhecimento existente na estrutura cognitiva do indivíduo, Ausubel chamava de subsunçor ou ideia-âncora. A aprendizagem significativa, conceito central da teoria de Ausubel, segundo [Moreira 1995] é definida como:

Um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel define como conceito subsunçor; ou simplesmente subsunçor, existente na estrutura cognitiva do indivíduo.

De acordo com [Moreira 2011], "...subsunçores podem ser proposições, modelos mentais, construtos pessoais, concepções, ideias, invariantes operários, representações sociais e, é claro, conceitos...". De uma forma simples para entender, o subsunçor, que também pode ser chamado de ideia âncora, é um certo conhecimento que faz parte da estrutura de conhecimento do ser humano, o qual permite que esse indivíduo possa dar significado a um novo conhecimento de forma significativa. Ainda de acordo com [Moreira 2011]:

O subsunçor pode ter maior e menor estabilidade cognitiva, pode estar mais ou menos diferenciado, ou seja, mais ou menos elaborado em termos de significados. Com tudo, como o processo é interativo, quando serve de ideia âncora para um novo conhecimento, ele próprio se modifica adquirindo novos significados, corroborando significados já existentes.

Para [Moreira 2011], "a clareza, a estabilidade cognitiva, a abrangência, a diferenciação de um subsunçor variam ao longo do tempo, ou melhor, das aprendizagens significativas do sujeito...que pode evoluir e, inclusive, involuir".

O conhecimento de um indivíduo advém de um processo de construção que ocorre de diversas maneiras, sua aprendizagem é uma concepção organizada de informações que o rodeia em suas experiências vivenciadas. [Novak 1984] nos diz que: "A construção do conhecimento novo, começa com as nossas observações de acontecimentos ou objetos com o recurso aos conceitos que já possuímos".

Cada pessoa carrega consigo várias experiências e conhecimentos adquiridos no seu cotidiano, segundo Ausubel, esse conhecimento pode estar mais ou menos elaborado em termos de significado, mas, serve de ideia-âncora para novos conhecimentos, onde ele mesmo se modifica adquirindo novos significados, sendo um processo interativo, validando significados já existentes, [Moreira 2011]. Ainda de acordo com [Moreira 2011] “vários são os fatores que influenciam a aprendizagem, mas se pudéssemos isolar um, este seria, mais do que qualquer outro, aquilo que o aprendiz já sabe”.

Pode-se dizer que a aprendizagem significativa, é um processo de aquisição de conhecimento que se matem na memória do aprendiz, mesmo que passe muito tempo sem ter acesso àquele subsunçor, o indivíduo consegue resgatar e retomar as ideias e reorganizá-las. Diante disso a aprendizagem ocorre quando, o novo conhecimento a ser assimilado com um potencial significativo, interage com a ideia âncora de conceitos mais relevante na estrutura cognitiva de quem aprende, levando em consideração a predisposição do aprendiz.

2.1 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NA PERCPECTIVA DA VISÃO CLÁSSICA À VISÃO CRÍTICA

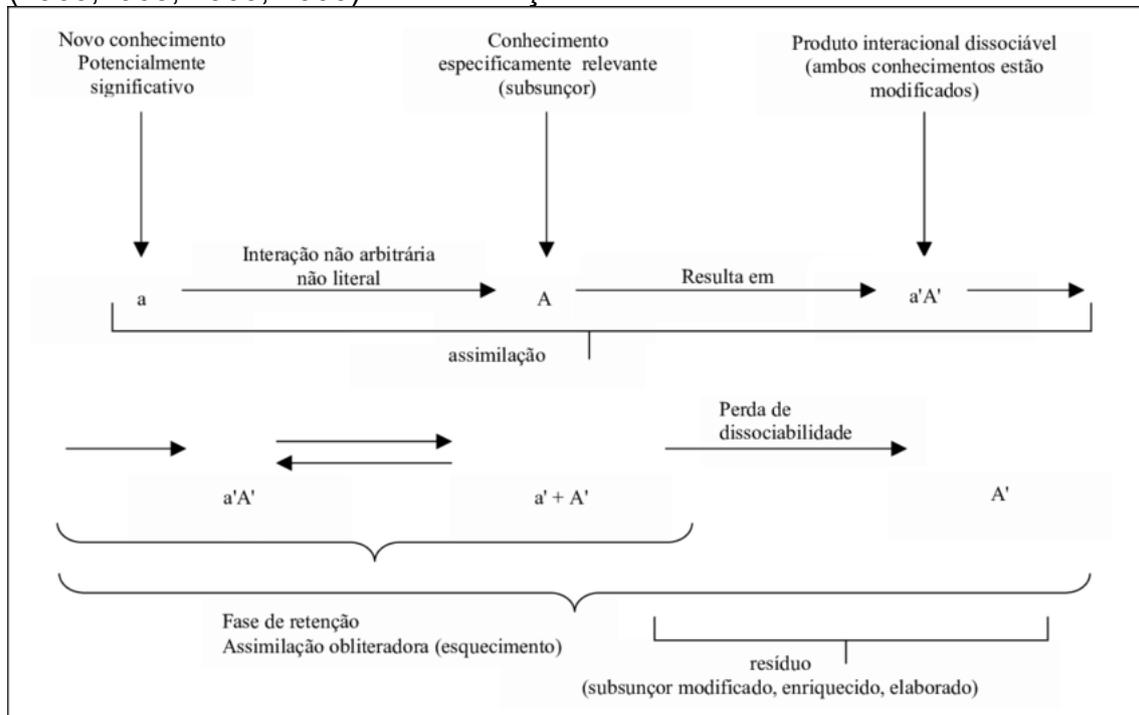
David Ausubel, na década de 1970 propôs a perspectiva cognitivista clássica, reiterada por ele mais tarde. Na sua visão cognitivista, Ausubel enfatiza a importância da estruturação e organização do conhecimento ao promover a aprendizagem significativa.

[Moreira 2011], afirma que “o núcleo firme dessa perspectiva é a interação cognitivista não-arbitraria e não-literal entre o novo conhecimento, potencialmente significativo, e algum conhecimento prévio”. Onde esse conhecimento prévio, o subsunçor, deve ser especificamente relevante e, existente na estrutura cognitiva do indivíduo.

Ausubel que foi um psicólogo da educação, acreditava que a aprendizagem ocorre por meio da assimilação, ele propôs que o conceito de aprendizagem por recepção, envolve a interação de um novo conhecimento no

contexto já existente na estrutura cognitiva do aluno. O quadro a seguir, mostra de forma esquematizada essa interação.

Quadro 1. Aprendizagem significativa na visão cognitivista clássica de Ausubel (1963, 1968, 2000, 2003). A assimilação ausubeliana.



Fonte: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-A-assimilacao-ausubeliana> (2023)

A esquematização proposta no Quadro 1 é correspondente ao caso mais de aprendizagem que é a aprendizagem significativa subordinada. Com tudo, de acordo com [Moreira 2011]:

Quando um conceito ou proposição potencialmente significativo mais geral e inclusivo do que ideias ou conceitos já estabelecidos na estrutura cognitiva é adquirido a partir destes, e passa a assimilá-los, a aprendizagem é dita *superordenada*. Por último, a aprendizagem de conceitos ou proposições que não são subordináveis a, nem capazes de subordinar, algum subsunçor é considerada *combinatória*.

Para [Moreira 2011], “a aprendizagem significativa de certas leis científicas, por exemplo, pode implicar esta última forma de aprendizagem significativa”. Pois é necessário um conhecimento mais profundo para a

compreensão da relação científica em relação a expressão linguística ou matemática da lei.

Na segunda edição da obra sobre aprendizagem significativa de David Ausubel, ouve a contribuição de Joseph Novak que foi um colaborador e coautor da edição. Em sua abordagem educacional, Novak, adotou uma visão mais humanista, evidenciando o aluno como indivíduo ativo na construção do conhecimento.

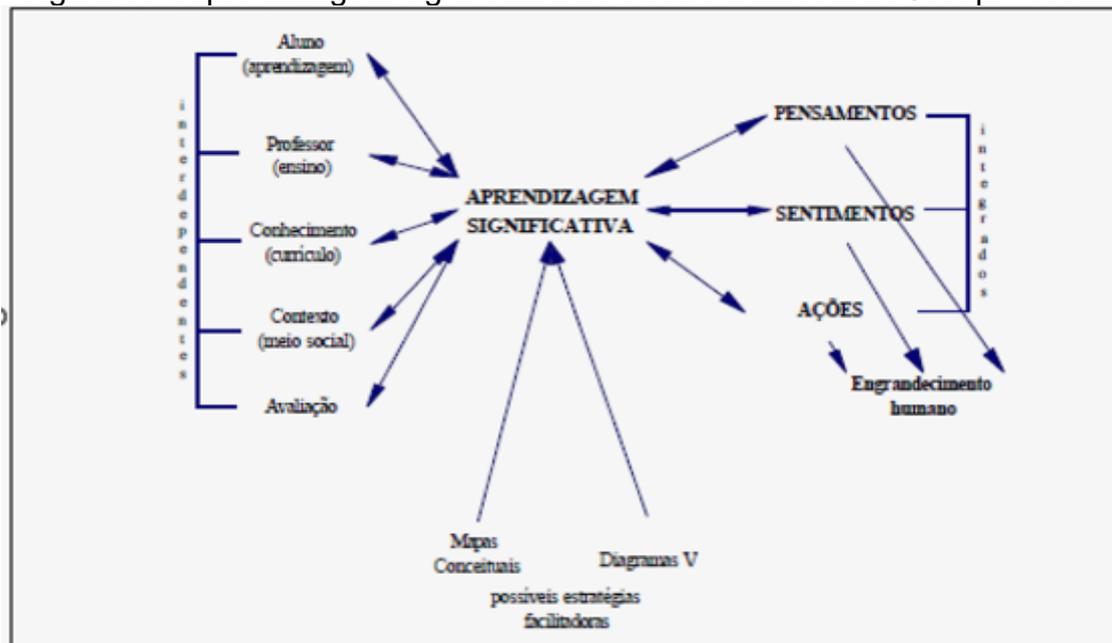
Para a visão humanista, Joseph Novak, destaca a importância da interação entre professor e alunos na construção conjunta de conhecimento, onde os discentes são encorajados a questionar, discutir e expressar suas ideias. Para Novak é importante a valorização afetiva da aprendizagem e as emoções desempenham um papel importante na motivação e no engajamento dos alunos. [Moreira 2011] afirma:

Essa integração entre pensamentos, sentimentos e ações pode ser positiva, negativa ou matizada. A perspectiva de Novak é que quando a aprendizagem é significativa, o aprendiz cresce, tem uma sensação boa e se predispõe a novas aprendizagens na área.

“A visão de Novak é importante porque a predisposição para aprendizagem é uma das condições da aprendizagem significativa e certamente tem a ver com a integração de pensamentos, sentimentos e ações” [Moreira 2011].

Para facilitar a aprendizagem significativa, Novak propõe a utilização de mapas conceituais, que de acordo com [Moreira 2011] “são apenas uma possível estratégia facilitadora da aprendizagem significativa, assim como os diagramas V (op. cit.)”. Aparecendo na parte inferior da figura 1 seguinte, que mostra a visão humanista de Novak. “Nesta figura aparecem também os chamados lugares da educação – aprendizagem, ensino, currículo, meio social e avaliação” [Moreira 2011].

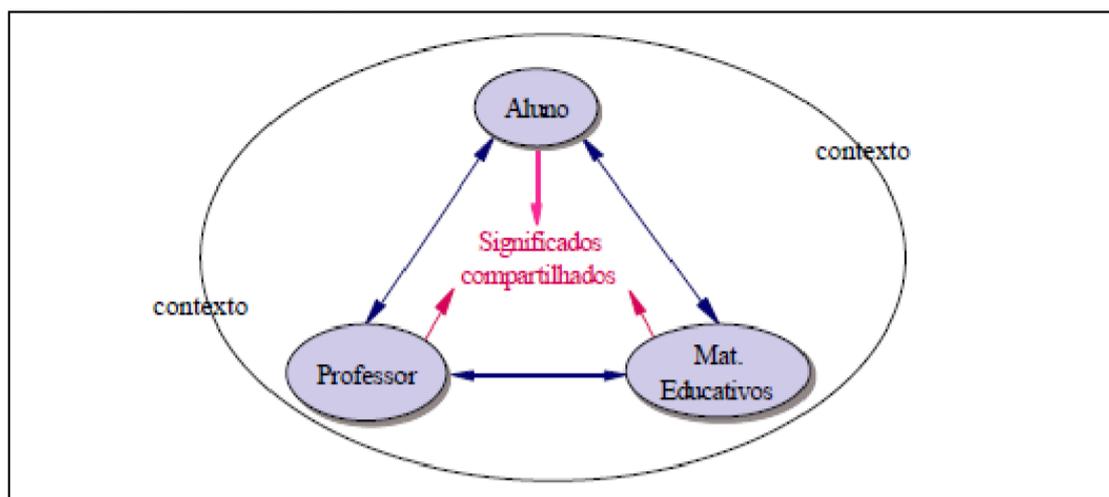
Figura 1. A aprendizagem significativa na visão humanista de Joseph Novak



Fonte: <http://significando-aprendizagem.blogspot.com/2015/03/criticas-teoria-de-ausubel.html> (2023)

Em outra perspectiva, tem-se a visão interacionista social da aprendizagem significativa “que é a abordagem triádica (aluno ↔ professor ↔ materiais educativos do currículo) de D.B. Gowin (1981; Novak e Gowin, 1996)” [Moreira 2011], esquematizada na figura 2 a seguir.

Figura 2. A aprendizagem significativa na visão interacionista social de Gowin (1981)

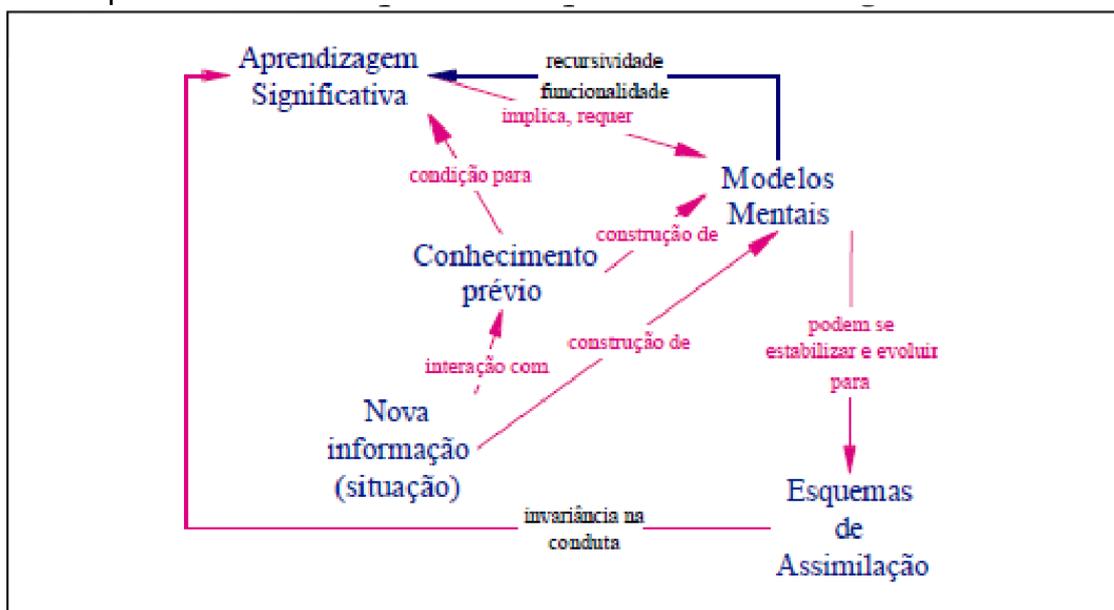


Fonte: <http://significando-aprendizagem.blogspot.com/2015/03/criticas-teoria-de-ausubel> (2023)

A visão internacionalista social é basicamente sociointeracionista, onde o processo de ensino aprendizagem é visto como uma negociação de significados, no qual o professor como mediador apresenta de diversas maneiras esses significados para que o aluno possa captar essas informações. Para [Moreira 2011] “nesse processo de negociação de significados típico dessa abordagem, a linguagem (mediação semiótica) tem um papel fundamenta”.

Já a visão cognitivista contemporânea, é uma abordagem que se concentra nos modelos mentais e cognitivos da aprendizagem, no pensamento e representação de que o indivíduo constrói na memória. Isso está esquematizado na figura 3. “Mas o modelo mental tem um único compromisso que é o da funcionalidade para o sujeito. Não implica, portanto, em uma aprendizagem significativa no sentido de compartilhar conhecimento” [Moreira 2011].

Figura 3. A aprendizagem significativa em uma visão cognitivista contemporânea



Fonte:<http://significando-aprendizagem.blogspot.com/2015/03/criticas-teoria-de-ausubel> (2023)

De uma forma geral, a visão cognitivista contemporânea, enfatiza os processos mentais cognitivos que estão presente no desenvolvimento da aprendizagem no pensamento humano.

Na visão da complexidade e da progressividade, que é uma abordagem educacional, envolve a compreensão das interações e relações das diferentes partes da complexidade em vários campos e que a aprendizagem se faz de um processo contínuo no decorrer da vida. Esta visão está bastante clara na teoria dos campos conceituais de Vergnaud (1990;2009; Moreira, 2002). De acordo com [Moreira 2011]:

Para Vergnaud, o conhecimento está organizado em campos conceituais cujo domínio, por parte do sujeito que aprende, ocorre ao longo de um extenso período de tempo. Campo conceitual é sobre tudo, um conjunto de situações-problema, cujo domínio requer o domínio de vários conceitos de natureza distinta. Os conhecimentos dos alunos são moldados pelas situações que encontram e progressivamente dominam.

Essa perspectiva de complexidade e progressividade está presente na apresentação do quadro 2 a seguir.

Quadro 2. Proposições básicas da visão da progressividade e da complexidade da aprendizagem significativa.

- A aquisição, ou domínio, de um corpo de conhecimento (i.e., um campo conceitual) é um processo lento, não linear, com rupturas e continuidades.
- A aprendizagem significativa é, então, progressiva.
- Os conhecimentos são moldados pelas situações (em crescentes níveis de complexidade) previamente dominadas.
- Há um contínuo entre aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa.

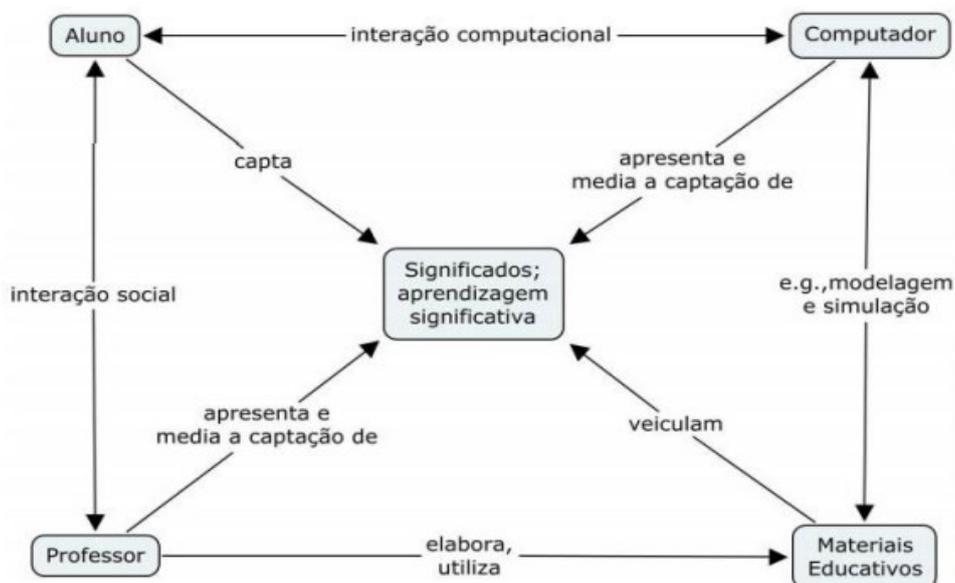
Fonte: Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares, 2011.

A teoria de Vergnaud sobre os campos conceituais fornece um referencial adequado para uma análise mais minuciosa da aprendizagem significativa, esclarecendo que essa é progressiva e que pode levar bastante tempo e inclusive diversas situações até atingir um grau bem mais alto de significância [Moreira 2011].

Para a visão computacional da aprendizagem significativa, a abordagem educacional busca usar os princípios computacionais como ferramentas de

aprendizagem. Valorizando a importância da visualização de informações e representações complexas de dados na forma mais clara e compreensível para o aluno. A visão computacional da aprendizagem facilita as descobertas e melhora a construção e interação de conhecimentos. Sugere-se, na figura 4, que a relação triádica proposta por Gowin passa a ser quadrática. O computador passa a fazer parte da interação na aprendizagem em sala de aula junto com o professor e colegas.

Figura 4. A aprendizagem significativa (captação de significativos) na visão computacional.



Fonte: <http://www.ebrapem2016.ufpr.br/> (2023)

Como afirma [Moreira 2011]:

O objetivo do ensino continua sendo a captação de significados compartilhados no contexto da matéria de ensino, mas a mediação é feita também pelo computador. Atividades como simulação e modelagem computacionais passam a integrar o ensino não apenas como um recurso didático, mas como mecanismo que podem levar a um outro tipo de cognição a novos processos cognitivos, quiçá a uma outra aprendizagem significativa.

A visão crítica (subversiva, antropológica) da aprendizagem significativa, busca questionar e promover reflexão crítica sobre o conhecimento, sobre a sociedade e de certa forma sobre a prática educacional. Essa perspectiva crítica enfatiza a importância da aprendizagem e reconhece que o

conhecimento é uma ferramenta de transformação social, político, econômico e cultural.

Essa abordagem educacional da visão crítica, permite aos alunos questionar e os encoraja a problematizar e criticar o conhecimento na busca de compreender as desigualdades sociais, compartilhando suas próprias experiências e desenvolvendo suas habilidades de análise crítica, promovendo a empatia e a capacidade de agir de forma ética. De acordo com [Moreira 2011] “ao mesmo tempo em que é preciso viver nessa sociedade, integra-se a ela, é necessário também ser crítico dela”. Para o ensino, deve-se observar os princípios listados no quadro 3.

Quadro 3. Princípios facilitadores de uma aprendizagem significativa

- Conhecimento prévio (aprendemos a partir do que já sabemos)
- Perguntas ao invés de respostas (estimular o questionamento ao invés de dar respostas prontas)
- Diversidade de materiais (abandono do manual único)
- Aprendizagem pelo erro (é normal errar, aprende-se corrigindo os erros)
- Aluno como perceptor representador (o aluno representa tudo o que percebe)
- Consciência semântica (o significado está nas pessoas, não nas palavras)
- Incerteza do conhecimento (o conhecimento humano é incerto, evolutivo)
- Desaprendizagem (às vezes, o conhecimento prévio funciona como obstáculo epistemológico)
- Conhecimento como linguagem (tudo o que chamamos conhecimento é linguagem)
- Diversidade de estratégias (abandono do quadro de giz)
- Abandono da narrativa (simplesmente narrar não estimula a compreensão)

crítica.

Fonte: Moreira (2011)

É perceptível que a aprendizagem significativa está explícita em todas as perspectivas de aprendizagem, e que o conhecimento prévio é uma variável que influencia na aquisição de novos conhecimentos.

2.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO ENSINO DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO

O ser humano está sempre a aprender e a construir, possibilitando seu crescimento intelectual sobre sua natureza, no entanto, é preciso disposição para aprender de forma significativa.

A teoria de Ausubel enfatiza a aprendizagem significativa como “um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura do conhecimento do indivíduo”, [Moreira 1995]. Quando o aluno consegue relacionar um novo material com o conhecimento prévio existente na sua estrutura cognitiva, a aprendizagem significativa ocorre diante dessa interação de informações. De acordo com [Moreira 1995], “Ausubel vê o armazenamento de informações no cérebro humano como sendo organizado, formando uma hierarquia conceitual”, segundo esse mesmo autor, em física por exemplo:

Se os conceitos de força e campo já existem na estrutura cognitiva do aluno, eles servirão de subsunçores para novas informações referentes a certos tipos de forças e campo, como por exemplo, a força e o campo eletromagnéticos. Entretanto esse processo de “ancoragem” da nova informação resulta em crescimento e modificação do conceito subsunçor.

Pode-se dizer que dependendo se o subsunçor for bem desenvolvido ou limitado, à medida que novos conhecimentos forem adquiridos, haverá um ressignificado no subsunçor, e dessa forma configurando a aprendizagem. Para [Neto 2016]:

No processo de ensino e de aprendizagem dos conteúdos disciplinares de Física, os alunos precisam construir novos conceitos e relacioná-los com seus conhecimentos prévios adequados e estruturados aos assuntos construídos anteriormente, por meio de suas experiências pessoais que facilitaram a compreensão dos novos conceitos.

A interação do subsunçor e o conhecimento científico que a Física traz para o ensino médio, resulta numa ampliação e modificação de conhecimentos, numa aprendizagem significativa.

O trabalho em sala de aula, ao abordar os conceitos de FMC, devem ter como proposta a interação do novo conhecimento com as experiências vivenciadas pelos alunos. O papel do professor nas aulas de Física é de fundamental importância pois, como mediador e facilitador no processo de ensino, ele estará a permitir que o ensino de Física seja de fato uma disciplina de fácil e importante compreensão e que o aprendiz pode aprender de forma significativa.

3 UM BREVE ESTUDO SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO

Este capítulo trata-se de um breve resumo do tema Efeito Fotoelétrico. É imediato afirmar que o Efeito Fotoelétrico é um fenômeno quântico no qual a luz comporta-se como partículas. As partículas de luz ou fótons, são pequenos “pacotes” ou quantum de luz, capazes de transportar a energia contida nas radiações eletromagnéticas.

O Efeito Fotoelétrico consiste na ejeção de elétrons da superfície de algum material iluminado que é exposta a uma fonte luminosa de certa frequência. O efeito fotoelétrico foi explicado, teoricamente, por Albert Einstein, e uma das maiores aplicações desse fenômeno é a produção de energia elétrica por meio da energia solar usando placas fotoelétricas.

3.1 O CONTEXTO HISTÓRICO DO EFEITO FOTOELÉTRICO

Historicamente foram muitas as tentativas de explicar vários experimentos relacionados a ondas eletromagnéticas. Em meados do século XIX e XX, Heinrich Hertz conseguiu provar, a partir de uma de suas experiências a veracidade da teoria de James Clark Maxwell (1831-1879) sobre os conceitos de ondas eletromagnéticas. Hertz observou que cargas elétricas negativas eram ejetadas de uma superfície metálica quando essa superfície era exposta à luz, no entanto, somente em 1905 Albert Einstein explicou o fenômeno do efeito fotoelétrico.

3.1.1 Heinrich Hertz até Albert Einstein

Um dos maiores físicos que atuou na área eletromagnética, foi o físico alemão Heinrich Rudolf Hertz nascido no dia 22 de fevereiro de 1857 em Hamburgo, Alemanha. Hertz foi um gênio precoce que faleceu em 1894 aos 36 anos de idade, e com suas descobertas, deixou uma imensurável contribuição para a evolução da física.

Figura 5: Heinrich Rudolf Hertz.



Fonte: unicentro.br/petfisica/2016/09/28/heinrich-hertz-1857-1894 (2016)

E foi na tentativa de produzir as ondas eletromagnéticas, previstas nos estudos teóricos por Maxwell, que Hertz pôde observar, que ao incidir luz sobre certas superfícies metálicas ocorria e emissão de elétrons da mesma. [Halliday 2009], relata:

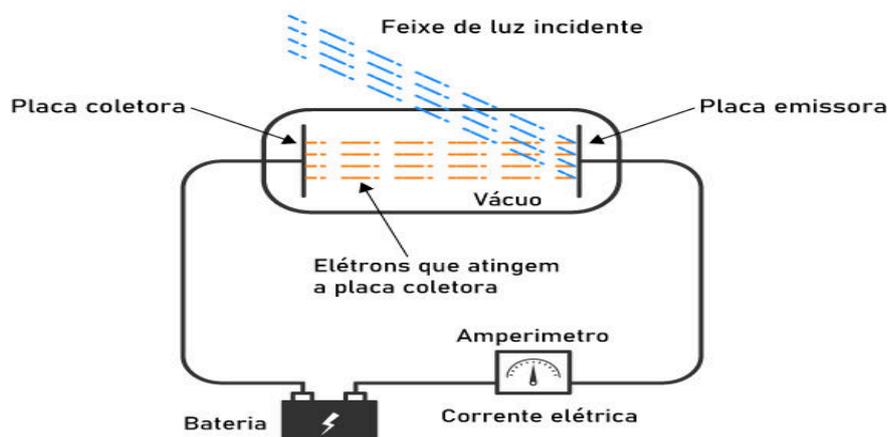
Foi em 1886 e 1887 que Heinrich Hertz realizou as experiências que pela primeira vez confirmaram a existência de ondas eletromagnéticas e a teoria de Maxwell sobre a propagação da luz. É um desses fatos paradoxais e fascinantes na história da ciência que Hertz tenha notado, no decorrer de suas experiências, o efeito que Einstein mais tarde usou para contradizer outros aspectos da teoria eletromagnética clássica. Hertz descobriu que descarga elétrica entre dois eletrodos ocorre mais facilmente quando se incide sobre um deles luz ultravioleta.

A emissão de elétrons observado por Hertz, se deu a partir de vários experimentos, onde de acordo com [Peruzzo 2014] “A produção de centelhas entre dois eletrodos era facilitada quando sobre eles incidia luz”. Depois de Hertz outros cientistas investigaram o fenômeno que ficou conhecido como Efeito Fotoelétrico.

Phillips Lenard, ex assistente de Hertz, foi quem realizou experimentos mais sistemáticos e avançados na compreensão do fenômeno, ao realizar suas análises, segundo [Melo 2019] e [Peruzzo 2014], percebeu que partículas negativas eram emitidas, somente em algumas frequências de luz, e número de elétrons arrancados do metal dependiam da intensidade da luz nessas frequências. Lenard concluiu ainda que, não havia uma relação de dependência entre a intensidade da luz e a energia dos elétrons emitidos.

Lenard realizou uma configuração experimental que pode ser observada na figura 6, onde é apresentado um aparato para demonstrar o Efeito Fotoelétrico, esse esquema físico é composto por um tubo de vidro a vácuo com duas placas metálicas, placas emissoras e coletoras. Essas placas são conectadas a uma bateria elétrica, para criar uma diferença de potencial elétrico entre as placas. Quando incide luz monocromática de frequência f e intensidade i_0 na placa metálica emissora, há ocorrência de um fluxo de cargas elétricas entre as duas placas, e uma diferença de potencial V entre a placa alvo e a placa coletora. A placa coletora, recebe os elétrons ejetados, os quais são chamados de fotoelétrons. Esses elétrons ejetados e coletados são quem produzem nesse experimento uma corrente elétrica extremamente pequena, na ordem de 10^{-12} A (pA), medida pelo amperímetro.

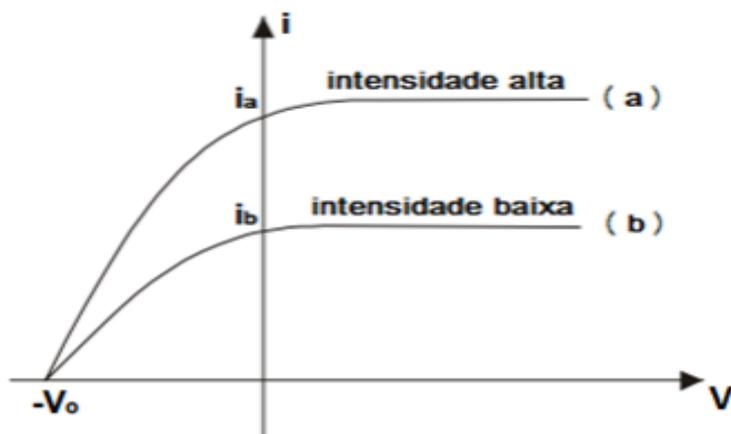
Figura 6: Aparato para demonstrar o Efeito Fotoelétrico



Fonte: Mundo educação – efeito fotoelétrico

Os resultados obtidos por Lenard do experimento da figura 6, são mostrados nas figuras 7 e 8.

Figura 7. Gráfico da corrente elétrica em função da diferença de potencial entre os eletrodos.



Fonte: <http://dfisweb.uefs.br/caderno/vol19n1/S4Artigo03EfeitoFotoeletrico.pdf>

A figura 7 mostra duas curvas (a) e (b) que representam duas fontes de luz com incidência i_a e i_b , sendo $i_a > i_b$, ambas com a mesma frequência f , tanto no (a) quanto (b), foram retirados elétrons pela luz e coletados pela placa coletora, quando $V > 0$, dando origem às correntes i_a e i_b . Porém, quando $V < 0$, os elétrons serão freados e não acelerados. Logo, embora a corrente elétrica continue passando no mesmo sentido, ela irá diminuir com o aumento de $|-V|$, até anular-se em $V = -V_0$, conhecido como potencial de corte.

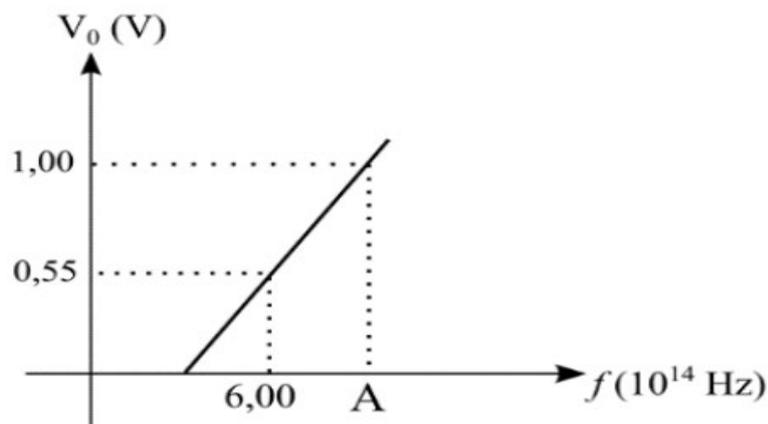
Para as curvas (a) e (b), representadas na figura 3, é importante ressaltar que independente da intensidade da luz, o potencial de corte é o mesmo, sendo um resultado contrário ao que a teoria clássica dizia.

Na teoria clássica esperava-se que com o aumento da intensidade da luz, aumentaria a energia cinética dos elétrons ejetados da placa emissora, e consequentemente de V_0 , pois a energia cinética máxima K_{max} é dada por:

$$K_{max} = eV_0$$

Porém, esse comportamento foi testado muitas vezes depois dos experimentos de Lenard, mesmo cobrindo um intervalo na variação da intensidade da luz de 10^{+7} , em todos o potencial de corte foi o mesmo.

Figura 8. Gráfico do potencial de corte em função da frequência da luz incidente.



Fonte: <http://dfisweb.uefs.br/caderno/vol19n1/S4Artigo03EfeitoFotoeletrico.pdf>

O gráfico da Figura 8 mostra uma relação entre o potencial de corte V_0 e a frequência f da luz incidente em uma placa metálica de sódio (cátodo). Utilizando filtros ópticos, foram selecionadas diferentes frequências associadas à luz que incide na placa, e observou-se que o valor do potencial de corte V_0 aumenta à medida que a frequência f aumenta. Em outras palavras, quanto maior a frequência da luz incidente, maior é o valor do potencial de corte V_0 . Através desse experimento, também foi observado que há uma frequência específica, denominada frequência de corte f_0 , abaixo da qual a produção de fotoelétrons cessa, ou seja, o efeito fotoelétrico deixa de ocorrer.

Esse resultado indica que a energia cinética dos fotoelétrons ejetados do cátodo está diretamente relacionada à frequência da luz incidente. Essa conclusão contradiz as expectativas clássicas, nas quais não se prevê nenhuma relação entre a energia cinética e a frequência. Outra questão que surgiu nos estudos do efeito fotoelétrico está relacionada à observação de um retardo temporal. De acordo com a física clássica, espera-se que um átomo leve um certo tempo para absorver energia antes de emitir um fotoelétron. No entanto, essa diferença de tempo nunca foi verificada experimentalmente [Batista 2021].

Lenard identificou diversas características marcantes do efeito fotoelétrico, que desempenham um papel fundamental na compreensão posterior desse fenômeno:

- Dependência da frequência da luz: Lenard notou que apenas certas frequências de luz podiam liberar elétrons de um material específico. Frequências mais baixas não causavam emissão de elétrons, independentemente da intensidade da luz. No entanto, quando a frequência da luz ultrapassava um determinado valor limite, ocorria a emissão de elétrons. Isso indicava que a energia dos elétrons emitidos estava relacionada à frequência da luz incidente.
- Relação entre a intensidade da luz e o número de elétrons: Lenard também observou que a quantidade de elétrons emitidos aumentava com a intensidade da luz incidente. Quanto maior a intensidade, maior era a corrente elétrica gerada. No entanto, a energia cinética dos elétrons emitidos não dependia da intensidade da luz, mas sim da frequência.
- Variação da energia cinética dos elétrons: Lenard percebeu que a energia cinética dos elétrons emitidos era proporcional à diferença entre a energia do fóton incidente e a energia de ligação dos elétrons no material. Essa observação foi essencial para a formulação posterior da equação da energia no efeito fotoelétrico.

As descobertas de Lenard forneceram informações valiosas sobre o efeito fotoelétrico, ajudando a estabelecer as bases para o desenvolvimento de teorias posteriores e a compreensão mais profunda desse fenômeno.

A descoberta do Efeito Fotoelétrico proporcionou uma maior compreensão para a natureza da luz, foi uma daquelas particularidades obscuras do século XIX que os físicos esperavam explicar. [Ortolli 1986], ressalta:

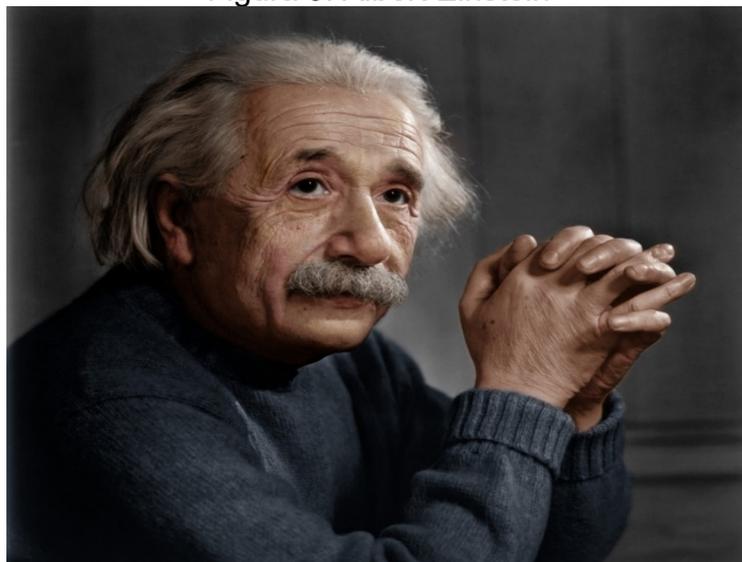
Já se sabia, desde a histórica descoberta de Hertz (1887), que a luz ultravioleta tinha a propriedade de extrair da superfície de uma placa metálica corpúsculos carregados negativamente, isto é, electrões. Mas, enquanto, por um lado, um número de electrões arrancados à massa do metal era proporcional à

intensidade da radiação incidente, ou seja, à quantidade de luz fornecida, por outro lado, a velocidade com que os electrões saíam dela, ou, por outras palavras, a sua energia cinética, não dependia de maneira nenhuma da intensidade da radiação incidente. Só dependia da composição espectral da luz que iluminava a placa: quanto menor fosse o comprimento de onda da radiação, maior seria a energia cinética dos electrões arrancados. Além disso, existia um comprimento de onda máximo, acima do qual nenhum electrão era arrancado. Na realidade, havia nisto um mistério que a física clássica não conseguia ainda explicar.

Essa descoberta foi um parâmetro para outras análises e conclusões, onde influenciado pela explicação de Lenard, houve a contribuição de Albert Einstein, um físico alemão que marcou a história da ciência, que a partir da ideia de Max Planck (1858-1947) sobre a quantização de energia, propôs que a luz fosse composta por pacotes de energia, os fótons.

Albert Einstein, nasceu em 14 de março de 1879 na Alemanha, foi um físico com grande curiosidade intelectual. Em 1905, publicou quatro artigos que causaram uma transformação de conhecimentos no pensamento científico do século XX, um deles intitulado “Um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz”, propondo a teoria de Efeito Fotoelétrico. Dos estudos voltados ao comportamento da luz, Einstein conseguiu explicar o Efeito Fotoelétrico de forma mais sucinta, recebendo então em 1921 o Prêmio Nobel de Física referente a esse trabalho.

Figura 9: Albert Einstein



Fonte: socientifica.com.br/enciclopedia/albert-einstein/ (2022)

Foi retornando a hipótese de Planck, e adaptando-a à luz, que Einstein pode ir além. Inicialmente Planck, limitando-se ao conceito de quantização de energia dos elétrons nas paredes da cavidade do corpo negro, acreditava que quando irradiada a energia eletromagnética, essa se espalharia ao espaço. Com tudo, Einstein considerou que a energia radiante é quantizada em pequenos pacotes, chamados de fótons [Gomes 2021]. [Hewitt 2002], relata:

Planck havia considerado que a emissão de luz em quanta se devia às restrições sobre os átomos em vibrações que produziam a luz. Ou seja, ele considerou que a energia na matéria está quantizada, mas que a energia radiante é contínua. Einstein, por outro lado atribuiu propriedades quânticas à própria luz, e via a radiação como uma saraivada de partículas.

Com relação a quantização, [Peruzzo 2014] nos diz que “era uma característica fundamental da radiação. As moléculas emitem ou absorvem energia em unidades discretas, os quanta ou fótons”.

O trabalho proposto por Albert Einstein para explicar o Efeito Fotoelétrico se concentrou na ideia da luz como partículas ou teoria corpuscular, relacionando a energia do fóton com sua frequência, onde também temos a constante de Planck. A teoria de Einstein foi verificada e confirmada, de acordo com [Hewitt 2002]:

A verificação experimental da explicação dada por Einstein para o Efeito Fotoelétrico foi realizada 11 anos após ter sido proposta, pelo físico norte-americano Robert Millikan. Curiosamente, Millikan gastou cerca de dez anos tentando negar a teoria de Einstein do fóton apenas para se convencer de sua validade a partir dos resultados de seus próprios experimentos, o que lhe valeu um prêmio Nobel.

Essa verificação experimental do Efeito Fotoelétrico realizada por Millikan, não deixava dúvidas sobre a teoria de Einstein, e cada aspecto de interpretação da teoria foi validado.

3.2 O COMPORTAMENTO DA LUZ

O entendimento sobre a natureza da luz, gerou muitas controvérsias no século XVII, onde Christiaan Huygens propôs que a luz consistia em ondas, e Isaac Newton propôs a teoria que, a luz consistia em partículas, essas duas teorias concorrentes descreviam o comportamento da luz e de acordo com [Yamamoto 2016] “àquela época não se poderia imaginar que, em certo sentido, ambas as interpretações estavam corretas, uma vez que a matéria e energia eram consideradas entidades de natureza distintas, quase antagônica”.

Certamente, ondas e partículas contêm características distinguíveis entre si e com propriedades exclusivas, classificar a luz, foi como desvenda um mistério a séculos, [Hewitt 2002] relata que:

Thomas Young realizou em 1801 o seu “experimento da fenda dupla”. Este parecia provar, finalmente, que a luz era um fenômeno ondulatório. Essa visão foi reforçada em 1862 pela previsão de Maxwell de que a luz transporta energia em campos elétricos e magnéticos oscilante. Vinte e cinco anos mais tarde, Hertz usou circuitos elétricos que produziam faíscas para demonstrar a realidade das ondas eletromagnéticas (frequência de rádio).

Com tudo, Albert Einstein, em sua teoria, contrariava a teoria ondulatória da luz, ele propôs que a luz interagia com a matéria, não como ondas contínuas previstas por Maxwell, e sim como pequenos pacotes de energia conhecidas hoje como fótons. Os fótons interagem com a matéria a partir de colisões entre duas partículas.

Essa grandiosa descoberta de Einstein não elimina o comportamento ondulatório da luz, apenas revela que a luz pode se comportar como onda ou partícula, dependendo de cada fenômeno a ser analisado. Como relata [Yamamoto 2016] “o efeito fotoelétrico não é compatível com a natureza ondulatória. Somente a teoria corpuscular da luz, considerando-a composta de fótons, pode esclarecer o fenômeno”.

O comportamento da luz, de acordo com [Pessoa 2003], “é um fato empírico notável que um experimento não pode ser ao mesmo tempo

corpúscular e ondulatório”, onde, nessa totalidade, Niels Bohr chamou de complementaridade. [Pessoa 2003], relata:

Um sistema quântico ou exibe aspectos corpusculares (seguindo trajetórias bem definidas), ou aspectos ondulatórios (como a formação de um padrão de interferência), dependendo do arranjo experimental, mas nunca ambos ao mesmo tempo.

A natureza dual da luz, que surgiu com o avanço da mecânica quântica, traz no decorrer dos séculos uma resposta na busca para o entendimento da natureza do homem e suas transformações tecnológicas.

3.3 DEFINIÇÃO DO EFEITO FOTOELÉTRICO

O Efeito Fotoelétrico é um fenômeno que ocorre quando materiais geralmente metálicos são expostos à radiação eletromagnética de alta frequência a ponto de emitirem elétrons. Esse fenômeno pôde ser explicado por Einstein em 1905, a partir da ideia de quantização de energia proposta por Planck. [Hewillt 2002] relata que:

De acordo com Planck, a energia de cada pacote de energia é proporcional à frequência da radiação. Essa hipótese iniciou uma revolução de ideias que mudou por completo a maneira segundo a qual nós pensamos a respeito do mundo físico.

Para esse fenômeno quântico, a luz se comporta como partícula, e transfere energia para os elétrons a ponto de serem ejetados do metal. De acordo com [Carron 2006], “a energia chega aos elétrons do metal em pacotes, cada pacote é um *quantum* de energia, ou seja, carrega uma quantidade bem definida de energia”. O fóton é um corpúsculo ou partícula de luz carregado de energia.

Para explicar as observações do efeito fotoelétrico, Einstein recorreu à hipótese da quantização da energia proposta por Planck, representada pela equação

$$E = hf$$

onde f é a frequência em Hertz (Hz), h é a constante de Planck cujo valor é $6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s. e E é a quantidade de energia associada à frequência em joules. Essa equação estabeleceu que a energia da luz é transferida em pacotes discretos, chamados de fótons, em vez de ser uma forma contínua de energia. De acordo com [Hewillt 2022],

A constante de Planck é um constante fundamental da natureza, que serve para estabelecer um limite inferior para a pequenez das coisas (...). A equação $E = hf$ expressa a menor quantidade de energia que pode ser convertida em luz de frequência f .

A energia que o elétron recebe do fóton, precisa ter um valor mínimo para que possa ser ejetado da superfície do material, caso contrário esse elétron não terá energia suficiente para sair e então o Efeito Fotoelétrico não ocorrerá. Isso explica o fato de o Efeito Fotoelétrico depender exclusivamente da frequência da luz incidente para acontecer.

Após examinar as implicações da hipótese de Einstein nos resultados experimentais do efeito fotoelétrico, é hora de descrever quantitativamente os resultados obtidos por ele, conforme apresentado em seu artigo de 1905. Utilizando o princípio de conservação de energia, Einstein formulou a seguinte equação:

$$E = K_{max} + \Phi$$

Nessa equação, E representa a energia total do sistema, K_{max} é a energia cinética máxima dos elétrons emitidos e Φ é a função trabalho, que representa a energia necessária para liberar um elétron do material.

A partir da equação de Einstein, podemos observar que o elétron adquire uma energia cinética K quando $f > f_0$, ou seja, quando $E > \Phi$. Nesse caso, a energia cinética será máxima (K_{max}) quando for igual a eV_0 . Portanto, podemos concluir que a energia mínima necessária para arrancar o elétron do

cátodo deve ser igual a Φ . Utilizando a equação de Einstein, podemos escrever:

$$E = K_{max} + \Phi$$

$$hf = eV_0 + \Phi \text{ ou}$$

$$eV_0 = hf - \Phi$$

Dividindo a equação por e , obtemos:

$$V_0 = \frac{h}{e}f - \frac{1}{e}\Phi$$

Considerando que h , e e Φ são constantes, podemos afirmar que a proposta de Einstein descreve o efeito fotoelétrico por meio de uma equação linear, ou seja, uma equação de reta, relacionando V_0 e f . Nessa equação, os coeficientes são $-\frac{1}{e}\Phi$ (coeficiente linear) e $\frac{h}{e}$ (coeficiente angular). Esse resultado teórico está em total consonância com o gráfico apresentado na Figura 8, que foi obtido experimentalmente. Quando o potencial de corte é nulo ($V_0 = 0$), a equação revela a existência de uma frequência de corte f_0 , abaixo da qual o efeito fotoelétrico não é observado [Batista 2021].

$$V_0 = \frac{h}{e}f - \frac{1}{e}\Phi$$

$$0 = \frac{h}{e}f_0 - \frac{1}{e}\Phi$$

$$\frac{1}{e}\Phi = \frac{h}{e}f_0$$

$$f_0 = \frac{\Phi}{h}$$

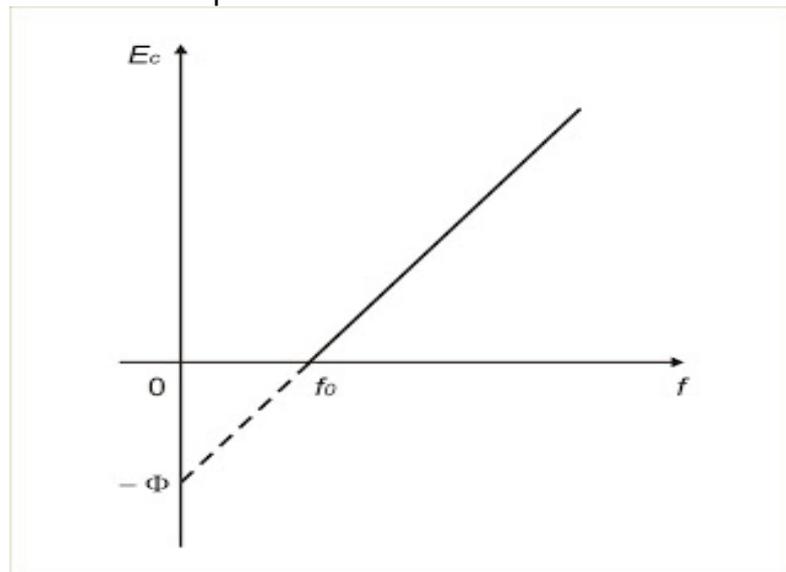
O valor da frequência de corte corresponde a um comprimento de onda específico, denominado comprimento de onda de corte. A equação que expressa o comprimento de onda de corte para um determinado metal é dada por:

$$\lambda_0 = \frac{h.c}{\phi}$$

onde c é a velocidade da luz e λ_0 é o comprimento de onda de corte.

A figura 10, mostra a energia cinética do elétron ejetado em função da frequência de luz incidente, onde observa-se o comportamento linear nesta função.

Figura 10. Gráfico da energia cinética do elétron ejetado em função da frequência de luz incidente



Fonte: noic.com.br/materiais-fisica/cursos/aula-7-1-o-comeco-da-fisica-moderna-efeito-fotoeletrico/ (2019)

Uma vez que a energia cinética só existe a partir da frequência de corte (f_0), a parte abaixo do eixo das abscissas é uma extensão linear do gráfico. O coeficiente angular desse gráfico é numericamente igual à constante de Planck (h), o que significa que, independentemente do tipo de metal, o coeficiente angular será o mesmo.

O coeficiente linear, por outro lado, é numericamente igual ao negativo da função trabalho do metal e varia de acordo com o tipo de metal. A tabela a seguir apresenta a função trabalho de alguns metais:

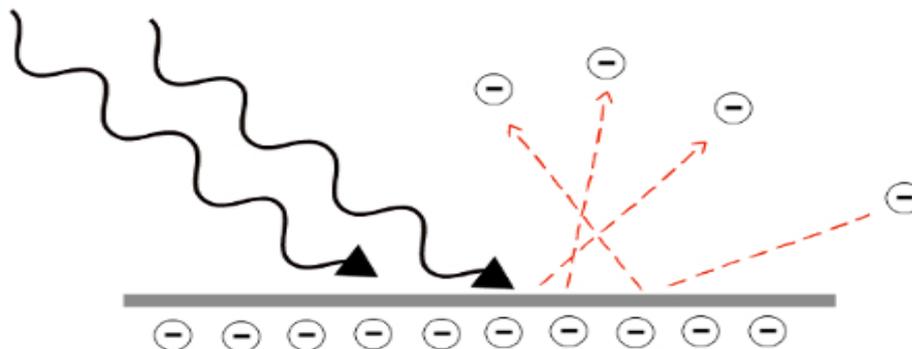
Figura 11. Função trabalho de diferentes metais

Funções trabalhos de alguns metais	
Metal	ϕ (eV)
Na	2,28
Co	3,90
Al	4,08
Cu	4,70
Pb	4,14
Zn	4,31
Fe	4,50
Ag	4,73
Pt	6,35

Fonte: <https://noic.com.br/materiais-fisica/cursos/aula-7-1-o-comeco-da-fisica-moderna-efeito-fotoeletrico>

Na figura 12, na forma básica, pode ser observado o Efeito Fotoelétrico. Inicialmente observa-se uma radiação eletromagnética incidindo com uma certa frequência f na superfície metálica emissora eletrizada negativamente.

Figura 12: Observação do Efeito Fotoelétrico



Fonte: brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-efeito-fotoeletrico.htm (2022)

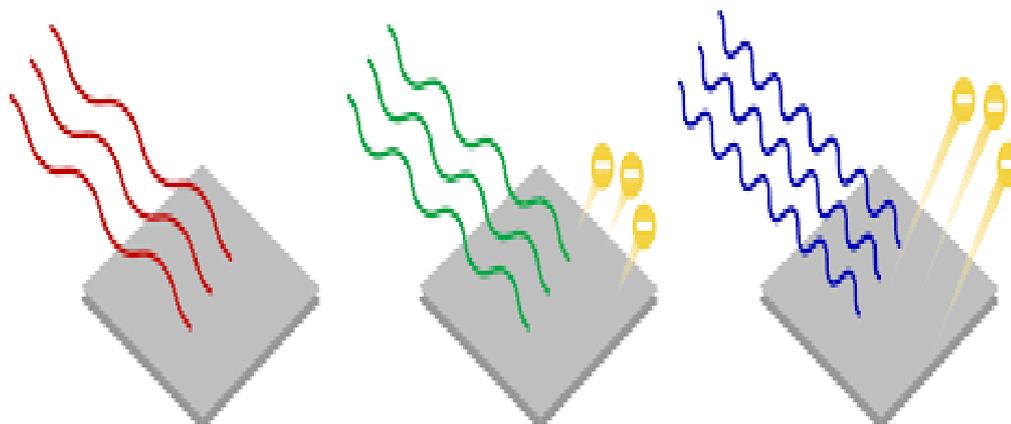
É importante lembrar que quando se trata da natureza corpuscular da luz, [Hewitt 2002] ressalta que:

Um fóton é completamente absorvido por cada elétron ejetado do metal. A absorção é um processo de *tudo ou nada*, e é imediato de forma que não existe um atraso durante o qual se acumula a energia absorvida da onda.

O Efeito Fotoelétrico propõe, que a luz incidente da superfície metálica seja percebida como uma sequência quase sem interrupção de corpúsculos (ou fótons). De acordo com [Hewitt 2002], “o número de fótons presente num feixe luminoso controla o brilho do feixe todo, enquanto a frequência da luz controla a energia de cada fóton individual”.

A figura 13, mostra um exemplo do Efeito Fotoelétrico onde a incidência da luz vermelha nesse material tem uma baixa frequência, logo não há ejeção de elétrons. A luz verde e a azul causam foto emissão, sendo que a luz azul, de maior energia, ejeta elétrons com maior energia cinética, em comparação com a luz verde.

Figura 13: Demonstração da emissão de elétrons.



Fonte: pt.khanacademy.org/science/physics/quantum-physics/photons/a/photoelectric-effect (2018)

É possível observar que caso a radiação incidente tenha uma frequência menor que a frequência mínima, não ocorre o efeito fotoelétrico, precisa-se de uma frequência maior, independente da amplitude da luz.

3.3.1 Aplicações na indústria e no cotidiano

A descoberta do efeito fotoelétrico permitiu uma maior compreensão da natureza da luz. E com o avanço da tecnologia, a sociedade vem se beneficiando cada vez mais com essas inovações, tornando-se importante à

vida das pessoas, contribuindo na indústria e no cotidiano. Vários dispositivos funcionam a partir do Efeito Fotoelétrico, [Braunn 2019] ressalta que:

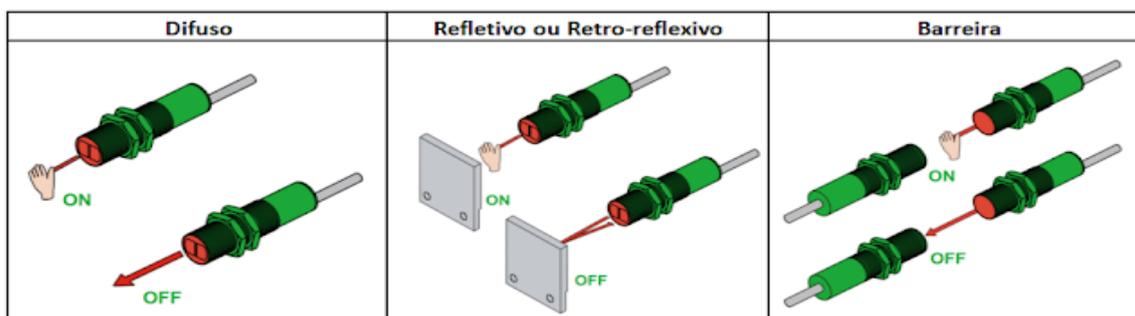
Diversas aplicações tecnológicas surgiram com base na explicação do efeito fotoelétrico. A mais famosa delas seja talvez a das células fotovoltaicas. Essas células são as unidades básicas dos painéis solares, por meio delas é possível converter a energia luminosa em corrente elétrica. Algumas das principais invenções baseadas no efeito fotoelétrico são: Células fotovoltaicas; Relés; Sensores de movimento; Foto resistores.

Nos dias atuais, a indústria é uma grande beneficiária da aplicação de sensores fotoelétricos, esses recursos tecnológicos são basicamente conhecidos como um conversor de luz, eles funcionam com base num feixe de luz incidente, possuem um emissor e receptor de luz luminosa, e estão relacionados de três maneiras diferentes: sensor foto elétrico de barreira, retro reflexivo e difuso.

Os sensores fotoelétricos podem emitir luz vermelha, infravermelha, e laser que são as mais comuns. A luz vermelha, a mais usada, serve para a identificação de objeto de grande e médio porte como embalagens que não possuem material metálico e caixas de papelão. A luz infravermelha, é usada em portas automáticas, sistemas de segurança e smartphones, o sensor com infravermelho detecta a aproximação por meio da reflexão dos raios dessa luz. A luz de laser vermelho é ideal para detectar objetos de pequeno porte, onde a luz pode focar de forma mais precisa [Citissystems 2022].

A figura 14 mostra os três tipos de sensores utilizados onde seu princípio de funcionamento é a propagação da luz, com base no efeito fotoelétrico.

Figura 14. Sensores com base no Efeito Fotoelétrico



Fonte: blog.sense.com.br/2019/02/sensores-fotoeletricos-o-que-sao-quais.html (2019)

Esses sensores fotoelétricos, tem grande utilidade no setor industrial, com resultados em suas operações como: detecção de presença, controle de distância, análise de volumes, monitoramento de presença e de aproximação, contagem de objetos, prevenção de comportamentos de risco laboral.

O efeito fotoelétrico está presente em muitos dos dispositivos eletrônicos com base na incidência da luz, [Peruzzo 2014] relata que:

Atualmente o efeito fotoelétrico é a base de funcionamento de inúmeros instrumentos, como por exemplo, os que ativam a iluminação pública ao anoitecer, regulam a densidade do toner nas máquinas de fotocópias e comandam o tempo de exposição das câmeras fotográficas. De maneira geral, está envolvido em quase todos os dispositivos eletrônicos que controlam ou são acionados pela luz.

As inúmeras aplicações do efeito fotoelétrico, muitas vezes passam despercebidos ao conhecimento teórico sobre esse fenômeno, as pessoas convivem, mas não conhecem a fundo essa tecnologia.

Um exemplo bem comum na vida de muitas pessoas, são as portas automáticas. Sem dúvida nenhuma a maioria das pessoas tem acesso, quando vão ao banco, em lojas, farmácias, shopping, escolas, hotéis, entre outros lugares, onde é possível encontrar a abertura de portas de forma automáticas com base no efeito fotoelétrico. [Leal 2017] relata:

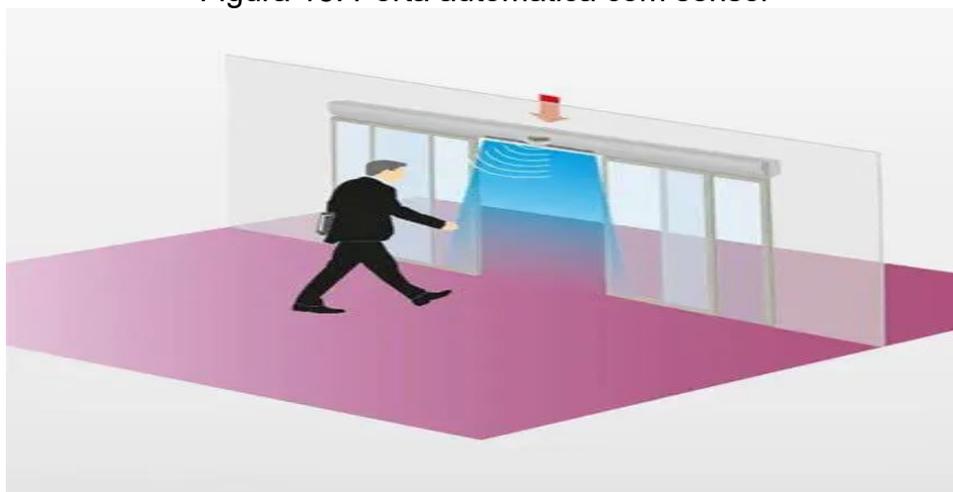
A abertura automática de portas de shoppings ou elevadores, ocorre quando o feixe de luz é interrompido pelo o corpo de uma pessoa ao passar em frente ao feixe, ou seja, quando há diminuição da intensidade de luz que chega ao sensor, com isso, os elétrons deixam de serem ejetados, anulando a corrente elétrica, conseqüentemente acionando um sistema automático, que faz com que abra automaticamente a porta.

A maioria das portas automáticas nos dias atuais, fazer uso de sensores de aproximação ou sensores óticos, esses sensores são instalados nas laterais das portas, acionando sua abertura ou fechamento. O movimento é detectado através por um feixe de micro-ondas.

De acordo com [Leal 2017], outra forma para a abertura de porta automática é através de emissão de infravermelho do corpo humano, detectado por sensores específicos. Sendo que, durante haver detecção de infravermelho no campo estipulado de alcance, a porta não se fechará evitando assim acidentes.

Observa-se na figura 15, a representação de um sensor de aproximação em uma porta automática.

Figura 15. Porta automática com sensor

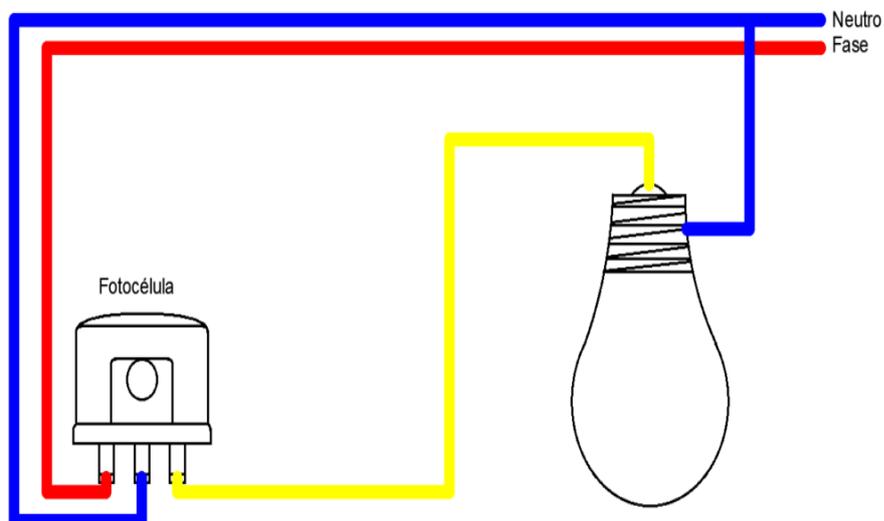


Fonte: directindustry.com/pt/prod/faac-spa/product-63478-2155897.html

Para que finalize esse ciclo de abrir e fechar as portas automáticas, os sensores são conectados a um trem de acionamento eletrônico, preso aos painéis da porta por um acionamento auxiliar, esse acionamento auxiliar está conectado a correias de borracha que facilitam a abertura e fechamento da porta.

Outro exemplo de aplicação é a iluminação externa, praças públicas, áreas esportivas, área externa de residências entre outros. Provavelmente, muitas pessoas se perguntam como funciona o acionamento para aceder automaticamente as lâmpadas desses lugares. O dispositivo tecnológico, conhecido como *relé fotoelétrico*, que tem como base o efeito fotoelétrico é responsável pelo acionamento da iluminação externa de muitos ambientes. O relé fotoelétrico aciona as lâmpadas quando escurece (a noite) e controla a lâmpada para ficar apagada durante o dia, através da luz do dia. A figura 9 mostra um relé fotoelétrico também conhecido como *fotocélula*.

Figura 16. fotocélula



Fonte: telredes.com.br/como-instalar-uma-fotocelula-na-pratica/ (2022)

A fotocélula é um dos tipos de sensor fotoelétrico, que possui um rele que está conectado a um sensor LDR, que depende de luz. De acordo com [Mendes 2013]

O LDR, Resistor Dependente da Luz, é um dispositivo semicondutor eletrônico que possui dois terminais e a característica de possuir certa resistência de acordo com a quantidade de luz incidente sobre ele de forma quase linear, além de ser um elemento não polarizado, fazendo com que a corrente possa circular em ambos os sentidos. Seu funcionamento é explicado pelo efeito fotoelétrico.

O relé fotoelétrico é um dispositivo eletrônico e seu funcionamento tem o auxílio de contatos e uma bobina. O relé tem uma janela, por onde passa a luminosidade solar, atrás dessa janela tem um sensor, o LDR, onde, dentro desse circuito ele toma a decisão de acionar ou não a lâmpada.

Pode-se observar que o efeito fotoelétrico está presente em vários contextos do cotidiano na sociedade, e tudo graças as células fotoelétricas, dispositivo tecnológico capaz de transformar a luz em energia elétrica. Temos muitos outros exemplos de aplicação do efeito fotoelétrico, como: visão noturna, cinema falado, sistemas de alarme e câmera fotográfica que contém elementos fotossensíveis.

As diversas aplicações do Efeito Fotoelétrico presentes no dia a dia, gera um ganho de conhecimento que envolve ciência e tecnologia, além de proporcionar melhores condições de vida para a sociedade, também permite a compreensão de um fator importantíssimo que é a luz.

4 O ESTUDO DO EFEITO FOTOELÉTRICO APOIADO NA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Esse capítulo descreve que o estudo do Efeito Fotoelétrico no ensino médio apresentado neste trabalho apoiou-se na teoria da aprendizagem significativa, usando elementos importantes, que contribuíram para a efetiva aprendizagem dos alunos, dando um direcionamento com sua base teórica.

Considerando que o tema Efeito Fotoelétrico, mesmo estando presente no cotidiano, não é comum entre os conteúdos estudados pelos discentes na disciplina de Física do ensino médio, e considerando ainda, que os alunos trazem consigo diversas experiências adquiridas com o meio em que vivem e, é possível de certa forma usar esse conhecimento em uma abordagem diferenciada.

Do ponto de vista, voltado para a realidade dos alunos, eles têm hoje, um envolvimento tecnológico grandioso de avanços, que vem proporcionando melhorias à sociedade. O contato com dispositivos tecnológicos, que envolve o Efeito Fotoelétrico, encontrados em seu dia a dia, faz de certa forma, com que os alunos tenham um certo conhecimento sobre o tema, sem saber distinguir com clareza o fenômeno.

Esse conhecimento inicial, adquirido pelo aluno no meio social, será a base desta pesquisa. Na busca de estabelecer uma relação, entre o senso comum e a teoria científica, chegando a uma verdadeira aprendizagem significativa. De acordo com [Moreira 2011], “o conhecimento prévio é, na visão de Ausubel, a variável isolada mais importante para a aprendizagem significativa de novos conhecimentos”.

Além do conhecimento prévio é importante que os alunos tenham disposição para aprender e dominar determinado campo de conhecimento, como [Moreira 2011] explica:

O aluno aprende a partir do que já sabe. É a estrutura cognitiva prévia, ou seja, conhecimentos prévios (conceitos, proposições, ideias, esquemas, modelos, construtos, ...)

hierarquicamente organizados, a principal variável a influenciar a aprendizagem significativa de novos conhecimentos.

Dessa forma, à medida que o conhecimento científico passa a ser significativo, as subsunções dos alunos passam por uma reestruturação e transformação de forma diferenciada. Muitas vezes o professor não considera o conhecimento prévio do aluno, isso pode se tornar um obstáculo, pois, em muitas situações a ideia inicial do aluno passa ser uma informação fixa na mente dele, onde ele toma como verdade. Nesse caso é importante investir no conhecimento que os discentes já têm e levar à interação com conhecimento científico e gerando uma mudança na sua capacidade de compreender. [Moreira,2011] explica que:

Uma segunda premissa da teoria da aprendizagem significativa é que o sujeito que aprende vai diferenciando progressivamente e, ao mesmo tempo, reconciliando, interativamente, os novos conhecimentos em interação com aqueles já existentes.

O ensino por sua vez, deve ser elaborado pelo professor, mapeado, inclusivo e estruturado com as ideias mais gerais, trabalhando seus conceitos a serem exemplificados na perspectiva de diferenciar o conteúdo, e inserir em situações e abordagens do seu convívio.

Um fator importante que se busca ao ensinar sobre Efeito Fotoelétrico no ensino médio, é envolver o aluno com o tema a ser estudado, e incentivá-lo a ter uma predisposição para aprender. O professor deve dispor de uma sequência de ensino organizada, inovar e diferenciar as aulas. O ensino de FMC deve estar presente na vida dos discentes, com suas aplicabilidades na sociedade.

4. 1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO ESTRATÉGIA PARA APRENDIZAGEM

O ensino de Física, ainda é visto como algo complexo para alunos do ensino médio, há uma grande dificuldade em relacionar os conceito e

aplicações no cotidiano. É preciso uma busca para melhorar a qualidade de ensino, e o professor deve estar disposto a se planejar de forma organizada. [Pereira 2018] relata que:

O professor enquanto mediador do conhecimento deverá programar suas atividades, selecionando os materiais necessários para facilitar a aprendizagem dos estudantes, demonstrando os fenômenos físicos e relacionando-os com experiências vividas pelo estudante em seu cotidiano.

Diante disso, uma das estratégias para facilitar o planejamento e melhorar o processo de ensino aprendizagem, através de ferramentas e ideias, é a construção de uma sequência didática, que de acordo com [Zabala 1998], uma sequência didática é “um conjunto de atividades organizadas, estruturadas e articuladas para a realização de objetivos educacionais, que têm um começo e um fim conhecido por professores e alunos”.

É importante ressaltar que, cada professor deve levar em consideração da realidade da sala de aula, seu espaço para desenvolver as atividades e experimentações de Física, e adaptar sua sequência didática. De acordo com [Lima 2018], “toda e qualquer sequência didática planejada deve ser desenvolvida para atingir um objetivo, mas não é qualquer objetivo. Esse objetivo deve atender as necessidades do aluno”. [Zabala, 1998] ressalta que:

Os grandes propósitos estabelecidos nos objetivos educacionais são essenciais e também úteis para realizar a análise global do processo educacional ao longo de todo o curso e, sem dúvida, durante todo um ciclo ou uma etapa.

Como conceitua [Brasil 2012] ao organizar a sequência didática, o professor poderá incluir atividades diversas como leitura, pesquisa individual ou coletiva, aula dialogada, produções textuais, aulas práticas, etc., pois a sequência de atividades visa trabalhar um conteúdo específico, um tema ou um gênero textual da exploração inicial até a formação de um conceito, uma ideia, uma elaboração prática, uma produção escrita. [Zabala 1998] relata que:

Assim, podemos analisar as diferentes formas de intervenção de acordo com as atividades que são realizadas e, sobretudo,

pelo significado que adquirem em relação a uma sequência com o objetivo de atingir os objetivos educacionais.

Com tudo, uma sequência didática, quando bem estruturada e planejada alcança os objetivos propostos na construção do conhecimento. Em especial nas aulas de Física, a sequência didática é uma estratégia com grande potencial.

4.2 O USO DE SIMULADORES NO ENSINO DE FÍSICA

Uma maneira de tornar o ensino de Física mais envolvente e facilitar a compreensão dos conceitos é através do uso de simuladores. Essas ferramentas permitem que os alunos visualizem e interajam com fenômenos físicos de forma virtual, proporcionando uma experiência prática e imersiva.

Com simuladores, é possível explorar diferentes cenários, realizar experimentos virtuais e observar os resultados em tempo real. Isso não apenas desperta o interesse dos estudantes, mas também promove uma compreensão mais profunda dos princípios físicos, ao permitir a manipulação de variáveis e a observação de suas consequências.

Os simuladores no ensino de Física são uma valiosa adição ao ambiente educacional, promovendo a aprendizagem ativa e estimulando o pensamento crítico dos alunos. De acordo com [Carraro 2014]:

A utilização de simulações virtuais no ensino de Física possibilita ao estudante desenvolver a compreensão de conceitos, e levá-lo a participar efetivamente no seu processo de aprendizagem, sair de uma postura passiva e começar a perceber e a agir sobre o seu objeto de estudo, relacionando o objeto com acontecimentos do seu cotidiano

A utilização de experimentos é amplamente adotada por muitos professores para facilitar a visualização dos fenômenos físicos. Essa abordagem é extremamente importante e eficaz, pois desperta o interesse dos alunos e demonstra que a Física vai além dos cálculos matemáticos.

Além disso, a integração da informática também se mostra uma estratégia eficiente para auxiliar na compreensão dos fenômenos pelos alunos, especialmente com o uso de simuladores. Através dessas ferramentas

interativas, os estudantes têm a oportunidade de explorar e experimentar virtualmente diversos aspectos da Física, o que contribui para uma aprendizagem mais dinâmica e envolvente.

A combinação de experimentos e recursos tecnológicos, como os simuladores, enriquece o processo de ensino e aprendizagem, oferecendo uma perspectiva mais abrangente e acessível aos conteúdos físicos. [Carraro 2014] afirma que:

As simulações virtuais são divididas em dois grupos de acordo com as suas características: as estáticas e as dinâmicas. Nas simulações estáticas, o estudante tem pouco ou nenhum controle sobre os parâmetros da simulação. Enquanto que nas dinâmicas, os parâmetros podem ser modificados e, portanto, o estudante pode verificar as implicações de cada variável no resultado do fenômeno estudado.

Os simuladores, como o próprio nome sugere, oferecem a possibilidade de realizar simulações de situações experimentais. Um exemplo amplamente reconhecido é o PHET, um site famoso desenvolvido pela Universidade do Colorado, que disponibiliza uma ampla variedade de aplicativos voltados para as disciplinas de Física, Matemática, Química e Biologia.

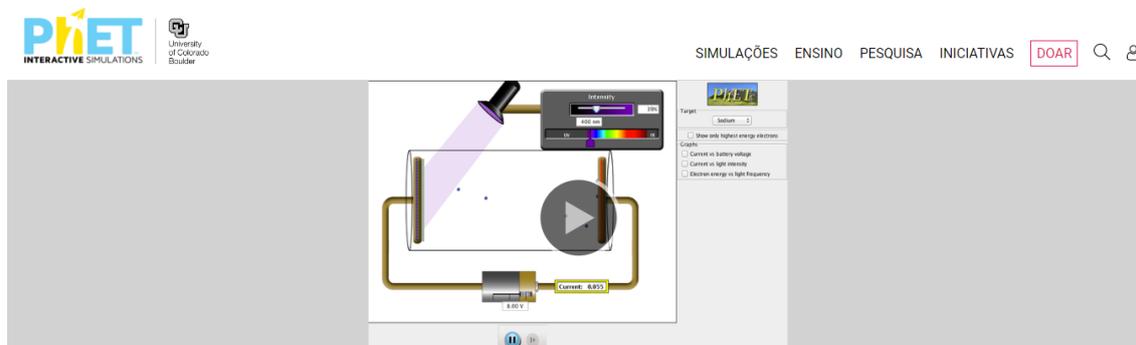
O PHET oferece aos estudantes uma plataforma interativa onde eles podem explorar e manipular diferentes variáveis em cenários virtuais, permitindo uma compreensão mais prática e visual dos conceitos abordados. Através desses simuladores, os alunos podem realizar experimentos simulados e observar os resultados em tempo real, o que facilita o aprendizado e contribui para uma compreensão mais profunda dos fenômenos estudados. O PHET e outros recursos similares são valiosas ferramentas que auxiliam os professores a tornar as aulas mais envolventes e promovem uma aprendizagem mais significativa para os alunos.

4.2.1 simulação do efeito fotoelétrico no aplicativo phet

O PhET *Interactive Simulations* é um projeto educacional aberto e sem fins lucrativos sediado na *University of Colorado Boulder*. Fundado em 2002 pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, o PhET tem como objetivo aprimorar o ensino e a aprendizagem da ciência. Sua missão declarada é avançar a alfabetização

e a educação em ciências e matemática em todo o mundo, por meio da disponibilização de simulações interativas gratuitas [Wikipedia 2023].

Figura 17. Apresentação da simulação do Efeito Fotoelétrico



Efeito Fotoelétrico



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/filter?subjects=physics&type=html,prototype

O PhET Interactive Simulations desempenha um papel fundamental no estudo do efeito fotoelétrico, fornecendo aos estudantes uma ferramenta interativa e envolvente para explorar esse fenômeno físico complexo. O efeito fotoelétrico é um dos pilares da física quântica e tem implicações significativas em áreas como a óptica, a eletrônica e a ciência dos materiais.

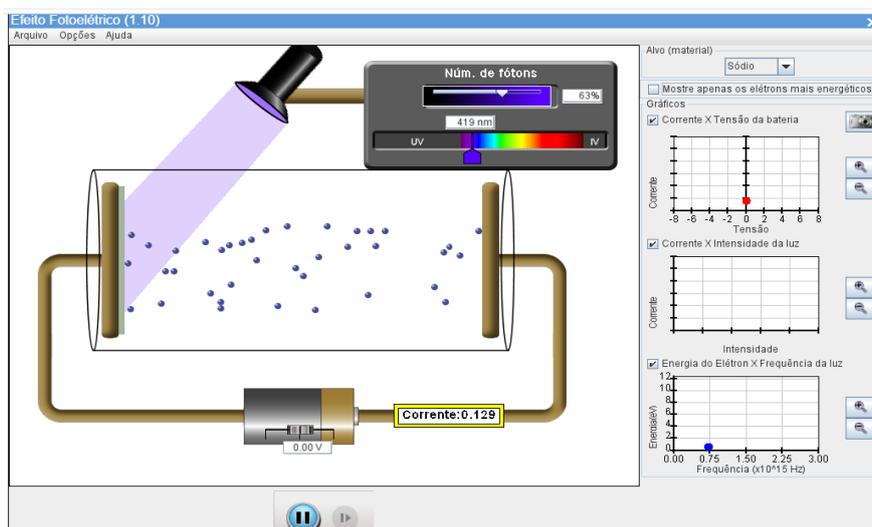
Ao utilizar os simuladores do PhET relacionados ao efeito fotoelétrico, os estudantes podem experimentar diferentes parâmetros, como a intensidade da luz, a frequência e a energia dos fótons incidentes, bem como a variação dos materiais utilizados. Essas simulações permitem que os alunos visualizem e compreendam as relações complexas entre esses fatores e as respostas observadas, como a corrente elétrica gerada e a energia cinética dos elétrons emitidos.

Com o auxílio dessas simulações, os estudantes podem realizar experimentos virtuais, analisar dados e tirar conclusões sobre o efeito fotoelétrico. Eles podem explorar como a energia dos fótons afeta a energia cinética dos elétrons, compreender a dependência da frequência de corte e do

potencial de corte, e investigar as características específicas de diferentes materiais em relação ao efeito fotoelétrico.

Além disso, o PhET oferece recursos adicionais, como textos explicativos, dicas interativas e guias de atividades, que auxiliam os alunos na compreensão dos conceitos envolvidos no efeito fotoelétrico. Essas ferramentas interativas e informativas permitem que os estudantes explorem o efeito fotoelétrico de maneira mais abrangente e aprofundada, auxiliando-os a construir uma compreensão sólida dessa importante área da física [Wikipedia 2023].

Figura 18. Simulação do Efeito Fotoelétrico



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/filter?subjects=physics&type=html,prototype

O PhET desempenha um papel essencial no estudo do efeito fotoelétrico, proporcionando aos estudantes uma plataforma interativa e educacionalmente enriquecedora para explorar e compreender os aspectos teóricos e práticos desse fenômeno. Ao tornar a aprendizagem mais acessível, envolvente e interativa, esse aplicativo contribui para a formação de uma base sólida de conhecimento e promove uma compreensão mais profunda do efeito fotoelétrico e suas aplicações.

5 METODOLOGIA E ITINERÁRIO DA PESQUISA

Esse capítulo descreve a metodologia e itinerário da pesquisa, o caminho percorrido para a realização desse trabalho.

Ensinar física no ensino médio, faz parte do desafio de muitos professores, principalmente em escolas públicas, as quais muitas vezes não dispõe de materiais de apoio para suas experimentações, fazendo com que os docentes dessa área foquem apenas no estudo matemático do conteúdo, deixando o contexto teórico e aplicações em segundo plano, e permitindo o distanciamento desse conhecimento científico e fundamental.

A Física para o ensino médio, exige cada vez mais, novas metodologia e estratégia, capazes de transformar a aprendizagem numa ponte para uma visão mais científica dessa física que nos cerca. Incentivar os alunos e motivá-los, é sem dúvida um momento desafiador, pois muitos desses discentes do ensino médio, não demonstram se quer um interesse em seguir uma carreira nas áreas de exatas, é preciso diferenciar nas atividades estabelecidas. [Pereira 2018], relata que:

Para que atinjam os objetivos estabelecidos em cada atividade e alcancem os resultados esperados, é preciso que o professor defina uma meta e organize as atividades didáticas. No entanto, orientar os estudantes a alcançarem os objetivos das atividades através de metodologias tradicionais é complexo. Por isso, muitos pesquisadores do ensino de Ciências, em particular de Física desenvolvem metodologias e sequências didáticas diferenciadas para os estudantes alcançarem os objetivos propostos.

A ensino de Física, tem sua total importância, não só por estar presente em diversas aplicações no dia a dia, mas, por ser algo fundamental na compreensão da natureza humana. Muitos professores, por falta de tempo ou falta de material pedagógico, não incluem os diversos temas, como por exemplo, o tema Efeito Fotoelétrico, o qual deu a Albert Einstein o Prêmio Nobel e trouxe várias contribuições para a sociedade.

Com a intenção de apresentar o tema Efeito Fotoelétrico, para os alunos de ensino médio, esse trabalho propõe uma abordagem simples, e

principalmente diferenciada, permitindo aos professores uma fácil compreensão em sua aplicação. Para isso buscou-se organizar e aplicar uma sequência didática, com base nas ideias da aprendizagem significativa de David Ausubel.

A abordagem do Efeito Fotoelétrico, usando uma sequência didática como estratégia, foi aplicada para duas turmas de alunos do terceiro ano do ensino médio integrado, do Instituto Federal de Educação do Amazonas – IFAM/ Campus Itacoatiara, no ano letivo de 2021.

A sequência didática delimitou-se em quatro etapas básicas de abordagem: i) identificar o conhecimento prévio dos alunos; ii) reviver o contexto histórico de compreensão do tema Efeito Fotoelétrico, revendo conceitos fundamentais para o entendimento, assim como suas aplicações, que estão presentes no cotidiano dos alunos; iii) utilizar um experimento computacional (PHET); iv) realizar um teste com questões de vestibulares.

5.1 A PESQUISA QUALITATIVA

Para este trabalho utilizou-se a pesquisa qualitativa, com intuito de analisar e conhecer os problemas que envolvem o estudo do Efeito Fotoelétrico. Pois de certa forma permite que haja um acompanhamento das atividades dos discentes, apontando uma busca de dados nas informações existentes na experiência, atitudes e reflexões dos participantes da pesquisa, [Serrano 1994].

A pesquisa qualitativa tem grande relevância para o ensino de Física, pois trata-se do estudo com pessoas, proporcionando uma descrição de todo o contexto de envolve o estudo e facilitando a compreensão dos resultados. [Mól 2007], comenta:

“A pesquisa qualitativa compreende a ciência como uma área do conhecimento que é construída pelas interações sociais no contexto sociocultural que as cercam. Por isto, seu foco é compreender os significados dos fenômenos a partir de quem os vivenciam, considerando tempos e espaços de atuações e reflexões. Compreende, portanto, que a Ciência é uma área de conhecimento produzida por seres humanos que significam o mundo e seus fenômenos.”

Nessa pesquisa em ensino de FMC, a metodologia qualitativa induz o ensino como um processo interativo, que acontece de forma livre entre alunos, professores e o conhecimento científico apresentado no ensino de Física.

5.2 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

A pesquisa apresentada, deu-se início, a partir de um levantamento bibliográfico e revisão da literatura sobre o tema abordado, para uma contextualização teórica o problema em questão.

Na revisão bibliográfica, buscou-se a fundamentação teórica deste trabalho, através de conceitos que pertencem aos conteúdos de Física, em particular, o estudo do Efeito Fotoelétrico. E na revisão literária, procurou-se uma contextualização teórica em relação ao problema em questão e ao estudo abordado.

Em seguida, foi construído uma sequência didática sobre o Efeito Fotoelétrico. Essa sequência didática foi uma estratégia encontrada para facilitar a apresentação do conteúdo, pois se trata de uma sequência organizada das atividades propostas para apresentar e desenvolver o fenômeno em questão.

Diante disso, como forma de contribuir para a aprendizagem, a sequência didática foi delimitada da seguinte forma:

i). Identificar o conhecimento prévio dos alunos, através de um teste-diagnóstico, pois segundo [Moreira 2011] para Ausubel, “a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação entre eles”.

ii). Conhecer o contexto histórico sobre o tema Efeito Fotoelétrico, desde a descoberta o físico alemão Heinrich Hertz, até a proposta feita por Einstein em 1905, para a explicação do fenômeno; e lembrar o conceito de dualidade onda partícula;

iii). Apresentar a definição de Efeito Fotoelétrico, sua equação para calcular a energia dos fótons, bem como a aplicação do fenômeno no cotidiano;

iv). Demonstrar o Efeito Fotoelétrico através de um aplicativo de computador (PHET *simulations*);

v). Aplicar um teste com questões de vestibulares sobre o tema abordado. Depois da aplicação da sequência didática, foi feita a tabulação dos dados na pesquisa para então uma discussão dos resultados e conclusões.

5.3 TÉCNICA DE PESQUISA

5.3.1 Observação participante

A observação participante, de acordo com [Queiroz 2007] “é uma das técnicas muito utilizada pelos pesquisadores que adotam a abordagem qualitativa e consiste na inserção do pesquisador no interior do grupo observado, tornando-se parte dele, (...)”.

Essa técnica de pesquisa está no processo de interação com os sujeitos em questão, pôde ser usado ao aplicarmos a sequência didática, onde a professora pesquisadora esteve inserida na sala de aula com os discentes, convivendo as dificuldades encontradas. [Queiroz 2007] relata que:

Com o auxílio da observação participante, o pesquisador analisa a realidade social que o rodeia, tentando captar os conflitos e tensões existentes e identificar grupos sociais que têm em si a sensibilidade e motivação para as mudanças necessárias.

O objetivo de usar essa técnica foi estar lado a lado dos alunos nesse processo de ensino aprendizagem, que permitiu ganhar a confiança dos mesmos e garantindo a interação de discentes e docente sobre as dificuldades em compreender o conteúdo abordado.

5.3.2 Observação direta extensiva

A técnica de pesquisa direta extensiva, deu-se a partir da aplicação de questionários, permitindo uma coleta de dados sobre as opiniões e atitudes dos

discentes, com perguntas abertas e de forma livre. A elaboração do questionário precisou do cumprimento de normas precisas, para que sua eficácia seja mantida, permitindo uma investigação válida de forma mais profunda, referente a percepção sobre o tema abordado.

5.3.3 Entrevista livre

A intenção deste item foi fazer uma coleta de dados subjetivos, referentes as opiniões e convicções dos alunos, a entrevista é uma técnica bastante usada em pesquisas qualitativas, onde é possível a interação do pesquisador e dos sujeitos que fazem parte da pesquisa.

Através dessa técnica os sujeitos da pesquisa podem se expressar livremente, mostrando suas dificuldades e anseios em aprender física. Um diálogo com base na ideia de que as informações dos alunos poderiam dar significado à pesquisa e alcançar seus objetivos.

5.3.4 Análise de dados

Para os procedimentos de análise de dados, considerou-se os procedimentos seguintes:

i) Organização dos dados coletados, através do mapeamento de todas as informações obtidas na observação participante e entrevista. Esse procedimento é importante para visualizarmos os resultados dos questionários apresentados, releitura do material, assim como os resultados da avaliação diagnóstica e o teste com questões de vestibulares;

ii) separação dos dados, foi fundamental para a elaboração da análise e partiu dos questionamentos que foram levantados e do que foi construído na base de fundamentação teórica;

iii) Análise final, para uma articulação mais clara dos dados e os referenciais teóricos da pesquisa, e com base no objetivo geral, e demais problemas levantados a partir dele, poder gerar respostas às questões da pesquisa.

5.4 PROBLEMA

Nesse trabalho foi abordado:

i). Quais são as ideias e opiniões os alunos têm sobre a natureza da luz, sobre o tema Efeito Fotoelétrico e suas aplicações no cotidiano?

ii). É possível modificar essas concepções prévias, em caso de errôneas, fazendo uma intervenção de ensino aprendizagem, através de uma sequência didática, estrutura e organizada, com o intuito de levar os alunos do senso comum ao conhecimento científico, baseando-se nos preceitos da aprendizagem significativa?

5.5 QUESTÃO DA PESQUISA

De início, tratando-se do tema Efeito Fotoelétrico, e partindo do senso comum, os alunos são levados a buscar informações encontradas no dia a dia através da mídia (TV, internet, etc), e que muitas vezes não mostram clareza sobre o tema abordado.

O efeito fotovoltaico, por exemplo, é muito confundido pelos alunos com efeito fotoelétrico, ambos têm suas diferenças. O efeito fotovoltaico é a criação de tensão elétrica ou de uma corrente elétrica num material, após sua exposição à luz. Embora o efeito fotovoltaico esteja diretamente relacionado com o efeito fotoelétrico, trata-se de processos diferentes. Apesar do Efeito Fotoelétrico estar presente no cotidiano de uma sociedade evoluída tecnologicamente, os alunos não conseguem distinguir o fenômeno aplicado em muitos dispositivos eletrônicos com base no Efeito Fotoelétrico.

O efeito fotovoltaico consiste na geração de corrente elétrica ou tensão elétrica a partir da exposição de um material semicondutor à luz visível. Ou seja, através desse processo é criada a energia elétrica. Este fenômeno foi observado pela primeira vez em 1839, pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel [Wikipédia].

Com tudo, após a aplicação e desenvolvimento das atividades propostas na sequência didática, será possível perceber nesse processo de construção

de conhecimento a compreensão do tema Efeito Fotoelétrico, partindo do contexto histórico do tema e clareza sobre o conceito dualidade onda partícula.

Os alunos poderão entender a definição da luz como partícula para o estudo do fenômeno. E poderão identificar a contribuição e benefícios que o Efeito fotoelétrico trouxe para a sociedade, como por exemplo as portas automáticas, a iluminação de áreas externas, os sensores utilizados na indústria e no dia a dia, mesmo que muitas vezes não são notados.

5.6 OBJETIVOS: GERAL E ESPECÍFICOS

- Geral:

Desenvolver uma sequência didática sobre Feito Fotoelétrico para alunos do ensino médio integrado, apresentando as principais contribuições no processo de construção sobre o fenômeno abordado, assim como seus conceitos e aplicações.

- Específicos:

i). Questionar os alunos sobre suas concepções prévias a ser abordado, para constar possíveis concepções errôneas;

ii). Apresentar o contexto histórico do tema Efeito Fotoelétrico, bem como os conceitos sobre a natureza da luz;

iii) Mostrar através de vídeos de curta duração o processo de construção do tema Efeito Fotoelétrico e suas aplicações no cotidiano;

iv) Visualizar através de um aplicativo de computador (PHET *simulations*) a simulação do fenômeno abordado;

v) Reconhecer a Física Moderna e Contemporânea como importante instrumento na construção humana, cujo desenvolvimento está atrelado a contextos: cultural, social, político e econômico, definidos historicamente.

6 SOBRE O PRODUTO EDUCACIONAL

Nesse capítulo abordaremos o Produto Educacional da pesquisa desenvolvida. O produto Educacional proposto neste trabalho é a aplicação de uma sequência didática, com objetivo de proporcionar a compreensão de um conteúdo de física moderna, o Efeito Fotoelétrico.

O tema Efeito Fotoelétrico foi escolhido por estar presente no cotidiano dos alunos, tanto nas aplicações tecnológicas como em questões de vestibulares, e muitas vezes, ou quase sempre, não é devidamente abordado em sala de aula de escolas públicas.

É importante ressaltar que, o público-alvo dessa pesquisa, foram alunos de duas turmas, um total de quarenta e quatro alunos do 3º ano do ensino médio. A sequência foi aplicada no 4º bimestre do ano letivo de 2021, pois nesse período, os alunos já tinham adquirido conhecimentos sobre frequência de onda e corrente elétrica, conteúdos relevantes na compreensão do tema abordado.

A escola onde ocorreu a realização das atividades, possui um laboratório de informática que foi fundamental para que os alunos pudessem observar o fenômeno Efeito Fotoelétrico, com o uso de um aplicativo de computador, PHET *simulations*, de uso livre na internet.

6.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO

Foi feito um contato inicial com a direção-geral da escola, onde foi apresentado as intenções da pesquisa e um pedido de autorização para que a aplicação do produto acontecesse na instituição. A direção demonstrou interesse e autorizou o desenvolvimento do trabalho, tendo em vista que a abordagem de Física, de um jeito diferenciado, proporciona um ganho de conhecimento aprofundado, na busca de uma visão mais científica, de um tema que faz parte do cotidiano dos alunos.

A sequência didática elaborada para essa pesquisa, foi dividida em quatro etapas, que se desenvolvem em cinco tempos de aula, cada um de cinquenta minutos. A primeira etapa (aula 01) foi a apresentação do produto sobre o tema a ser abordado e um teste diagnóstico, desenvolvido em um tempo de aula de cinquenta minutos. A segunda etapa (aulas 02, 03), se deu em dois tempos de aula de cinquenta minutos cada, onde trabalhamos o contexto histórico do tema Efeito Fotoelétrico, conceitos de dualidade onda partícula e do Efeito Fotoelétrico assim como suas aplicações. A terceira etapa (aula 4), mostramos o fenômeno abordado com o uso de um aplicativo de computador. A quarta etapa (aula 05), finalizamos com um teste avaliativo.

Aula 1- Teste diagnóstico sobre Efeito Fotoelétrico.

Apresentação: Nesta aula aplica-se um questionário, com intuito de obter informações sobre as concepções dos alunos sobre o tema abordado. Essas informações serão usadas nas aulas, como meio de confrontar e conhecimento prévio dos alunos e causando uma possível mudança quando necessário.

Nível escolar: 3º ano do ensino médio.

Duração: 45 minutos.

Objetivo: Analisar os subsunçores dos alunos acerca do tema Efeito Fotoelétrico.

Atividade: Aplicação de questionário com 7 questões, sendo perguntas subjetivas para uma verificação dos conhecimentos prévios dos alunos.

Avaliação: os alunos serão avaliados conforme sua participação em sala de aula.

Recursos necessários e material de apoio: quadro branco, pincel, apagador, caneta e papel (questionário). Questionário 1 (Apêndice B).

Aula 2- Contexto histórico do tema Efeito Fotoelétrico e conceito de dualidade onda partícula

Apresentação: Nessa aula mostra-se aos alunos a construção do conhecimento científico, que o empenho, curiosidade e muito estudo podem desvendar os fenômenos que os cercam no contexto histórico, político, econômico, social e cultural de um processo que faz parte de uma grande descoberta que envolvem pessoas comuns e que foram capazes de mudar a história de uma sociedade. Nessa aula também é apresentado o conceito de dualidade onda partícula para compreensão que a luz no fenômeno abordado será tratada como partícula.

Nível escolar: 3ºano do ensino médio Integrado.

Duração: 25 + 20 minutos.

Objetivo: Reconhecer que a física faz parte da construção histórica da humanidade através do contexto histórico de “efeito fotoelétrico” e através do conceito de dualidade onda partícula compreender a natureza da luz.

Atividades:

1- Vídeo “efeito fotoelétrico” disponível na internet, de curta duração (4 min e 33 s.) que retratam as observações Hertz e a conclusão de Einstein sobre o fenômeno Efeito Fotoelétrico, seguido de aula expositiva e dialogada com uso de slide.

2- Leitura de trecho do texto “dualidade onda partícula”, seguido de um vídeo disponível na internet, de curta duração (4 min e 39 s) que trata do comportamento da luz como onda e como partícula, e que para nosso estudo ela será tratada como corpúsculo, seguido de aula dialoga com as observações dos alunos.

Avaliação: os alunos serão avaliados conforme sua participação em sala de aula.

Recursos necessários e material de apoio: notebook, projetor multimídia, caixa de som, quadro branco, pincel, caneta e papel. Apresentação de slide (Apêndice E), texto de apoio (Anexo A).

Aula 3 – Definição de Efeito Fotoelétrico e suas aplicações

Apresentação: Nessa aula mostra-se aos alunos o que de fato é o efeito fotoelétrico, como ocorre, e suas principais características que não podiam ser explicadas pela física clássica, bem como sua aplicação no cotidiano.

Nível escolar: 3º ano do ensino médio Integrado.

Duração: 25 + 20 minutos.

Objetivo: Apresentar a definição de Efeito Fotoelétrico, e suas aplicações no dia a dia.

Atividades:

1 - Leitura de trecho do texto Efeito Fotoelétrico seguido de aula expositiva dialogada, com uso de slide, mostrando as principais características do fenômeno e sua equação, resolvendo uma questão de vestibular para calcular a energia do fóton.

2 – Vídeo disponível na internet, de curta duração (11 min) seguido de aula expositiva e dialogada com uso de slide sobre a aplicação do “efeito fotoelétrico”, e participação dos alunos com suas observações e curiosidades.

Avaliação: os alunos serão avaliados conforme sua participação em sala de aula.

Recursos necessários e material de apoio: notebook, projetor multimídia, caixa de som, quadro branco, pincel, caneta e papel. Apresentação de slides 1 e 2 (Apêndice F e G) e texto de apoio (Anexo B).

Aula 4 – simulação do Efeito Fotoelétrico com uso de aplicativo de computador (PHET *simulations*)

Apresentação: Essa aula deve ser desenvolvida em laboratório de informática, para facilitar a compreensão dos alunos sobre o tema abordado, visando que o fenômeno não é possível ser visto a olho nu, pois se trata de

frequência de luz na qual a visão humana não tem alcance. Cada aluno ocupa um computador, de preferência com o aplicativo aberto para essa atividade.

Nível escolar: 3º ano do ensino médio Integrado.

Duração: 45 minutos.

Objetivo: proporcionar maior interação com o fenômeno Efeito Fotoelétrico com a ajuda da tecnologia disponível.

Atividades: cada aluno deve estar em um computador que já estará com o aplicativo (PHET *simulations*) aberto. O tutorial do simulador do Efeito Fotoelétrico do aplicativo computacional deve ser entregue aos alunos, onde esse roteiro deverá ser lido antes de iniciar a manipulação do aplicativo, em seguida com a ajuda do roteiro os alunos poderão conhecer o aplicativo, observar as partículas de luz e sua interação com os vários tipos de metais disponíveis. Em seguida podem responder a um exercício de análise, com perguntas guiadas para cada modificação nas características que fazem o Efeito Fotoelétrico acontecer de acordo com as condições propostas.

Avaliação: O exercício de análise do aplicativo computacional para o Efeito Fotoelétrico é avaliativo, contendo 5 questões.

Recursos necessários e material de apoio: laboratório de informática, computadores, quadro branco, pincel, caneta e papel. Exercício de análise (Apêndice C) e tutorial do simulador (Anexo C).

Aula 5 – Teste avaliativo final da sequência didática

Apresentação: Essa aula é para a atividade final da sequência didática, onde ocorrerá a avaliação de aprendizagem. Com questões de vestibulares, uma forma de mostrar que os alunos adquiriram o conhecimento acerca do tema abordado.

Nível escolar: 3º ano do ensino médio Integrado.

Duração: 45 minutos.

Objetivo: considerar a capacidade dos alunos em aprender o conteúdo Efeito Fotoelétrico, bem como a abstração de informações relevantes para seu contexto social, político, econômico e cultural.

Atividade: avaliação final – com cinco questões de vestibulares, de múltipla escolha, os alunos não poderão se comunicar entre si, pois se tratando de uma atividade individual e sem consulta.

Avaliação: os alunos serão avaliados conforme sua participação em sala de aula e das respostas do teste final.

Recursos necessários e material de apoio: quadro branco, pincel, caneta e papel (avaliação). Avaliação – Efeito Fotoelétrico (Apêndice D).

6.2 ROTEIRO DE APLICAÇÃO

Quadro 04: Roteiro de atividades da sequência didática

Roteiro – Sequência Didática			
Tema abordado: Efeito Fotoelétrico			
Público alvo: Alunos do 3° ano do ensino médio integrado			
Objetivo Geral: Compreender o “Efeito Fotoelétrico”, bem como os conceitos que contribuirão no processo de construção do fenômeno e suas aplicações.			
Aulas	Objetivos específicos	Conteúdos	Dinâmica das atividades
01	Analisar os subsunçores dos alunos acerca do tema Efeito Fotoelétrico.	-	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação de questionário, para obter informações das concepções prévias dos alunos sobre o tema Efeito Fotoelétrico. • Atividade individual.
02	Reconhecer que a física faz parte da construção histórica da humanidade através do contexto histórico de “efeito fotoelétrico” e através do conceito de dualidade onda partícula	Efeito Fotoelétrico: Contexto histórico Dualidade da luz	<ul style="list-style-type: none"> • Os alunos deverão assistir o vídeo “efeito fotoelétrico” disponível em https://www.youtube.com/watch?v=IA0wLIDNBUs que retratam as observações Hertz e a conclusão de Einstein sobre o fenômeno Efeito Fotoelétrico • Seguido de aula expositiva e dialogada com slide. • Leitura de trecho do texto “dualidade onda partícula”, seguido de um vídeo disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Mq9_JOzF8iw que trata do comportamento da luz

	compreender a natureza da luz.		<p>como onda e como partícula.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seguido de aula dialogada com as observações dos alunos.
03	Apresentar a definição de Efeito Fotoelétrico, e suas aplicações no dia a dia.	Conceito de Efeito Fotoelétrico	<ul style="list-style-type: none"> • Leitura de trecho do texto “efeito fotoelétrico” seguido de aula expositiva dialogada, com uso de slide, mostrando as principais características do fenômeno e sua equação; • Resolver uma questão de vestibular para calcular a energia do fóton. • Assistir um vídeo disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=jtN1ij5U7sQ • Aula expositiva e dialogada com uso de slide sobre a aplicação do “efeito fotoelétrico”, e participação dos alunos com suas observações e curiosidades.
04	Proporcionar maior interação com o fenômeno “efeito fotoelétrico” com a ajuda da tecnologia de informação disponível.	Efeito Fotoelétrico: simulação do com uso de aplicativo de computador	<ul style="list-style-type: none"> • Cada aluno utilizará em um computador que já deverá estar com o aplicativo (PHET <i>simulations</i>) disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/ aberto. • Terão o apoio de um roteiro da simulação do Efeito Fotoelétrico do aplicativo computacional, e deverão ler esse roteiro antes de iniciar a manipulação do aplicativo; • Com a ajuda do roteiro os alunos poderão conhecer o aplicativo, observar as partículas de luz e sua interação com os vários tipos de metais disponíveis. • Em seguida poderão responder a um exercício de análise, com perguntas guiadas para cada modificação nas características que fazem o Foto Elétrico acontecer ou não.
05	Considerar a capacidade dos alunos em aprender o conteúdo Efeito Fotoelétrico, bem como a abstração de informações relevantes para seu contexto social, político, econômico e cultural.	Efeito fotoelétrico	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação final – com cinco questões de vestibulares, de múltipla escolha, os alunos não poderão se comunicar entre si, pois se tratando de uma atividade individual e sem consulta.
<p>Avaliação: Os alunos serão avaliados conforme sua participação em sala de aula, bem como pelas respostas do exercício de análise em laboratório e teste final.</p>			

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

7 IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DA PESQUISA

Neste capítulo, apresenta-se a implementação e análise da pesquisa, os resultados das atividades realizadas pelos alunos, bem como as anotações de observações da docente e participação dos discentes.

As estratégias pedagógicas exigem o uso de ferramentas para subsidiar o processo de ensino aprendizagem, haverá sempre situações imprevisíveis ou até mesmo complexas, por isso, é importante que haja um planejamento de acordo com a realidade da escola e principalmente dos alunos a serem inseridos no processo educacional.

Todas as atividades antes de serem aplicadas, devem ter um objetivo a ser alcançado, por meio de questionários formativos, leitura de texto, discussões orais e até mesmo os relatos breves dos alunos, que são fundamentais para o decorrer da coleta de dados.

A sala de aula é o ambiente onde se realiza a análise da prática pedagógica, lá observa-se cada ponto importante do processo de ensino, desde o conhecimento prévio do aluno, a mudança de comportamento diante do novo conhecimento, e até mesmo pode observar o quão válido são as ferramentas que ajudam na intervenção de uma área específica que é a Física Moderna para o ensino médio.

A sequência didática proposta para esse trabalho, foi realizada de forma que facilitasse tanto para o aluno quanto para o professor, o entendimento do início, meio e fim do estudo de Efeito Fotoelétrico. Mesmo com os objetivos alcançados, a utilização de tecnologia disponível se tornou o ponto de mais interesse dos alunos, o uso de computadores foi a ferramenta que de fato mostrou o que é o Efeito Fotoelétrico, trazendo bons resultados nas avaliações.

7.1 RELATO DESCRITIVO PARA APRESENTAÇÃO DE DADOS

O início desse trabalho se deu no dia 16 de novembro de 2021 com uma carta de apresentação e um pedido de autorização na direção do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas/ IFAM – Campus Itacoatiara, para o desenvolvimento da pesquisa, na qual foi aceito. O Campus trabalha com turmas de 1º, 2º e 3º ano do ensino médio integrado.

Depois da sinalização positiva da direção, foram convidadas duas turmas do terceiro ano do ensino médio, que participaram das atividades da pesquisa. A menção a essas turmas será como turma A e turma B, para preservar a imagem dos alunos como preconiza a Estatuto da Criança e do Adolescente. Foi feito um pedido de autorização para os responsáveis dos alunos, através de um termo de consentimento (Apêndice A) de participação na pesquisa. Apenas quarenta e quatro responsáveis assinaram a autorização. Aos alunos foi necessário sensibilizá-los da importância da participação na pesquisa, pois tratar-se de um tema que faz parte do cotidiano e é conteúdo abordado em vestibulares.

As aulas dos alunos são de tempo integral, porém a aplicação da sequência didática foi organizada para acontecer no contra turno, de um dia que os alunos só teriam um turno de aula, ou seja, a aplicação aconteceu em cinco tempos de aula seguidos, de um mesmo dia para cada turma. Com isso foi possível realizar esse trabalho no turno matutino, com a turma A no dia 19 de novembro de 2021 e no turno vespertino com a turma B, no dia 22 de novembro de 2021.

7.2 AULA 01 – PRIMEIRA ETAPA – APRESENTAÇÃO E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO

A turma A, tinha um total de trinta alunos, sendo que só vinte e cinco (25) alunos compareceram para participarem das atividades. A turma B, tinha um total de vinte e nove alunos, sendo que somente dezenove (19) aceitaram participar das atividades. Com isso tivemos um total de 44 participantes.

A aula 1, foi para a apresentação da professora de física como aluna do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), e o tema do projeto a ser abordado. Logo em seguida ocorreu a aplicação do questionário diagnóstico, sobre o tema Efeito Fotoelétrico. O questionário (Apêndice A) contendo sete questões abertas, foram entregues aos alunos, onde tiveram trinta minutos para responderem as questões.

Figura 19. primeiro momento da aula 1, turma B.



Fonte: Arquivo da própria autora (2021)

A partir do início da aplicação do questionário iniciou-se a observação dos alunos, a atividade era individual e sem qualquer tipo de consulta. Muitos ficaram em dúvida ou se mostraram inseguros em responder as questões, mesmo se tratando de perguntas que envolviam questões do seu dia a dia, não sabiam como expressar suas ideias.

Alguns alunos comentaram que não sabiam nada, nesse caso houve a intervenção da professora, ressaltando que se sabia que nesse primeiro momento eles não teriam um conhecimento mais profundo sobre as questões, mas com tudo era importante que eles respondessem da forma mais simples com suas próprias ideias e opiniões acerca do que se perguntava.

A primeira questão a ser tratada, foi baseada no fato da escola ter porta automática e seguiu-se o questionamento “tente explicar com suas próprias palavras como funciona o sistema da porta automática da sua escola, na qual permite ela abrir e fechar sem você precisar tocá-la”. Da turma A, dois alunos responderam de forma distinta dos demais, o aluno 1 relacionou a repulsão e atração de corpos e o aluno 2 disse que tinha um espaço indicado para pisar perto da porta. Os outros alunos da turma A, além de relacionarem a um sensor, tentaram explicar como ocorria, através da aproximação e infravermelho.

Na turma B todos os alunos citaram o sensor como sendo responsável pela abertura da porta, e completaram as respostas falando da detecção de movimento, ou aproximação, ou infravermelho, porém não entraram em detalhes sobre qual princípio físico faz parte desse processo.

Para os alunos das turmas A e B, as respostas referentes a questão 1 do questionário prévio, mesmo fazendo parte do cotidiano dos alunos, atribuíram em suas respostas que a porta “funciona através de um sensor de proximidade”, isso nos mostra que mesmo eles não sabendo ainda identificar o fenômeno abordado, essa tecnologia além de estar presente no dia a dia, também está inserido no conhecimento que eles adquirem com suas experiências diárias.

A segunda pergunta, também foi em busca de saber o conhecimento que eles adquiriram sobre a iluminação pública, com o questionamento “como o sistema de iluminação dos postes podem acender e apagar sozinhos?”, nessa questão, no total de 44 alunos das turmas A e B, quatorze alunos relacionaram esse evento com sensores que detectam a luz solar, quatro citaram fotocélulas, um aluno citou o relé. Apesar de eles não saberem detalhes do funcionamento, ainda assim esses alunos tem um conhecimento importante que tentaram relacionar. Porém os restantes dos alunos não conseguiram fazer uma relação mais relevante, muitos falaram que sobre o fato de acender a luz do poste a noite e apagar durante o dia é devido “ligação automática ou com hora marcada, programada em um relógio”, tivemos ainda respostas de alunos dizendo que “alguém tinha a função de ligar e desligar manualmente” e um aluno relacionou à temperatura do dia.

Figura 20: Alunos participantes da aula 1, turma A



Fonte: Arquivo da própria autora (2021)

Na terceira pergunta, a intenção era saber se eles ainda lembravam de conteúdos que teoricamente já haviam sido abordados em suas trajetórias acadêmicas, por isso, o questionamento “quais os tipos de ondas eletromagnéticas que você conhece?”. As respostas foram como esperadas, a maioria dos alunos lembraram e citaram de forma aleatória “ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, raio x, raio gama”, mas ainda tivemos as respostas do aluno 1, 2 e 3, dizendo que não sabiam, assim como o aluno 4 relacionou ao ímã. De modo geral, a maioria dos alunos das turmas A e B, se mostraram detentores do conteúdo que foi questionado.

A quarta pergunta também tinha a intenção de conhecer o que eles ainda lembravam do conteúdo, com o questionamento “o que você entende sobre frequência de onda?”. Do total de alunos das turmas A e B, somente os alunos 1, 2, 3 e 4 conseguiram relacionar a frequência de onda a número de oscilações da onda, o restante de alunos, não conseguiram chegar a uma resposta favorável.

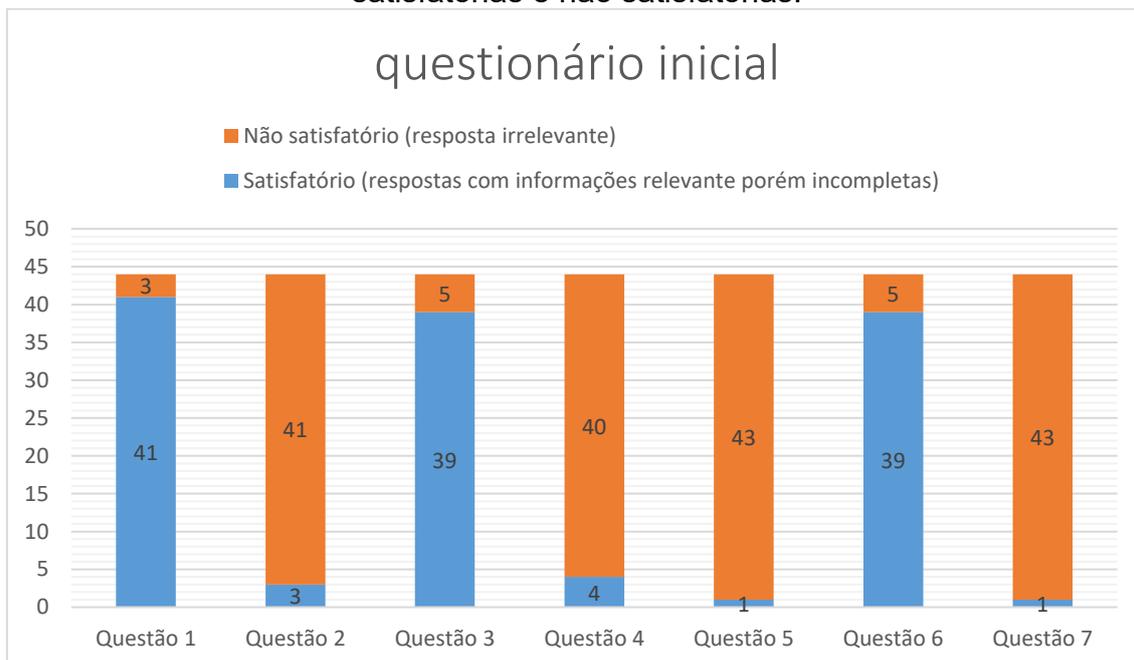
A quinta pergunta “você conhece os tipos de comportamento da luz?”, as respostas foram como esperadas, já que esses conceitos quase não são abordados pois estão mais relacionados com a física moderna. Apenas o aluno 1 respondeu “onda e partícula”, o aluno 2 relacionou a velocidade da luz, e o restante dos alunos, apenas respondeu “não” ou “nunca ouvi falar”.

Na sexta questão, “você sabe o que é fóton?”, a maioria dos alunos respondeu que é uma partícula, alguns completaram dizendo ser uma partícula de luz. Somente os alunos 1, 2, 3 e 4 disseram que não sabiam e o aluno 5 relacionou a detecção de imagem.

E a sétima pergunta, que é a nossa pergunta chave do tema abordado “já ouviu falar sobre o Efeito Fotoelétrico? Se sua resposta for *sim*, resuma o que é. Se sua resposta for *não* comente o que você acha que é”. Do total de alunos das turmas A e B, somente o aluno 1 respondeu “sim, é um fenômeno que emite elétrons. Os alunos 2, 3 e 4, responderam apenas “não, não sei”, esses não quiseram arriscar em dar sua opinião sobre o fenômeno abordado. O restante dos alunos apesar de responderem que nunca tinham ouvido falar de Efeito Fotoelétrico, ainda assim arriscaram em responder que Efeito Fotoelétrico estava relacionado com fóton, provavelmente pelo fato de termos abordado “fóton” na pergunta anterior.

Percebeu-se nessa primeira aula que as questões abordadas geraram um momento de reflexão aos alunos, onde puderam responder de forma livre o que de fato estava presente na ideia de conhecimento deles. O Efeito Fotoelétrico está presente no dia a dia dos alunos, mas o conhecimento científico do fenômeno não estava presente nos seus subsunçores.

Gráfico 1: Resultado quantitativo para o questionário inicial, com respostas satisfatórias e não satisfatórias.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2021)

7.3 AULAS 02 E 03 – SEGUNDA ETAPA – APLICAÇÃO DE CONHECIMENTO

Essa segunda etapa, foi o momento de apresentar o conhecimento científico a partir do que os alunos já tinham no seu conhecimento prévio. Uma etapa que requer atenção, mas que possibilita aos alunos participar ativamente através de perguntas ou comentários.

A aula 2, iniciou-se com o contexto histórico de construção do tema Efeito Fotoelétrico, utilizando um vídeo de curta duração e slide. Os alunos puderam conhecer a participação de Heinrich Rudolf Hertz e Albert Einstein, dois físicos brilhantes que estão presentes na história da física, mas que os alunos pouco conhecem seus feitos. Os estudantes disseram conhecer Hertz do estudo de frequência de onda, e alguns alunos atribuíam Einstein a uma fotografia bem conhecida do físico mostrando a língua, e dizendo que ele era o mais inteligente. Todos se mostraram empolgados em conhecerem essa parte histórica de uma forma mais profunda.

Seguindo a aula 2, finalizamos abordando o conceito de dualidade da luz, utilizando também um vídeo de curta duração. Foi um momento de muita

atenção já que a maioria dos alunos não sabiam distinguir o comportamento da luz. Após o vídeo, utilizamos um pequeno texto “Dualidade onda-partícula e o Efeito Fotoelétrico”, esse texto só reforçou o que eles tinham visto no vídeo juntamente com a abordagem da professora onde pontuou, que a luz pode se comportar como onda ou também como partícula, dependendo do estudo ou fenômeno abordado, mas que nunca apresentará os dois comportamentos num mesmo experimento. Esse foi um ponto importante a ser estudado pelos alunos, pois para o estudo do Efeito Fotoelétrico em questão a luz se comportará como partícula.

Os alunos se mostraram muito interessados no estudo, muito atentos, fizeram anotações, alguns comentaram sobre ser uma novidade a palavra “dualidade” da luz, mesmo já terem ouvido em algum momento algo do tipo “partícula de luz” não tinham ainda relacionado ao comportamento dual da luz.

Na aula 3, foi trabalhado o conceito de Efeito Fotoelétrico, a equação para calcular a energia do fóton e as aplicações do “efeito fotoelétrico” no cotidiano. Essa aula se deu com a leitura de um texto de apoio “O Efeito Fotoelétrico no cotidiano”, que foi uma continuidade do texto “Dualidade onda-partícula e o Efeito Fotoelétrico”, onde no final do texto que aborda a dualidade da luz diz que uma boa evidência de que a luz se comporta como partícula é observado no Efeito Fotoelétrico, “vamos conhecê-lo melhor!”, a partir dessa ênfase pudemos conhecer melhor sobre o que é o fenômeno estudado, quais as características que o descrevem e que a Física clássica não poderia explicar.

Seguindo a aula 3, deu-se continuidade no estudo do conceito de Efeito Fotoelétrico, utilizamos nos slides imagens do simulador do aplicativo PHET para figurar o fenômeno estudado, principalmente para familiarizar os alunos com o aplicativo de computador o qual será ferramenta para a aula posterior. Um aluno chegou a comentar “pensei que era só colocar qualquer luz e ia dar certo, mas já vi que tem muitas regras para isso acontecer”, diante disso pudemos perceber que eles estavam percebendo que o fenômeno abordado apesar de parecer simples tem suas condições para acontecer, inclusive, eles tiraram dúvidas sobre a intensidade da luz, onde não importa a quantidade de luz, se não estiver numa frequência adequada o fenômeno não ocorre.

Foi apresentado ainda nessa aula, a equação que calcula a energia do fóton. A professora fez uma questão no quadro abordando a equação, para que os alunos pudessem acompanhar a aplicação da equação, desenvolvendo uma aula expositiva e dialogada, permitindo a participação dos alunos, sempre se mostrando interessados e expondo suas ideias e opiniões.

Para finalizar a aula 3, falamos sobre as aplicações do Efeito Fotoelétrico no cotidiano, e eles ficaram bem surpresos quando o fenômeno abordado foi incluído em vários exemplos que eles têm acesso diariamente. As portas automáticas foram as mais comentadas, já que a informação deles se limitava em “sensor”. A partir do estudo mais profundo eles conseguiram mudar a ideia inicial e complementar com novas informações. Os alunos ficaram impressionados com a importância e utilidade desse fenômeno na indústria e no dia a dia como por exemplo o uso de sensores baseado no Efeito Fotoelétrico.

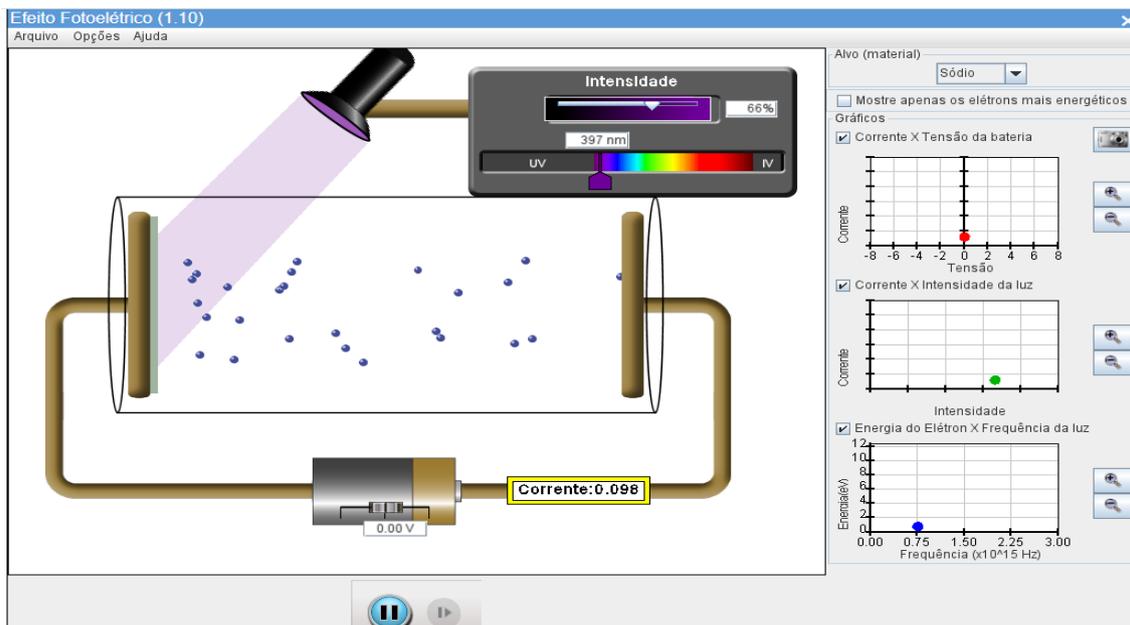
Ao final da aula era muito nítido a mudança de comportamento e pensamento dos alunos com relação ao tema, onde eles identificaram a importância do efeito fotoelétrico e como esse conhecimento faz parte da sociedade e está presente no cotidiano, trazendo melhorias e benefícios. De fato, quase sempre não se tem o conhecimento sobre a ciência que proporciona na vida facilidades, e quando se pode incluir a compreensão dos alunos, eles mudam de postura, tornando a aula mais prazerosas para os mesmos.

7.4 AULA 04 – TERCEIRA ETAPA - SIMULADOR

Para a aula 4, fizemos uso de um aplicativo de computador (PHET *simulations*), o simulador do Efeito Fotoelétrico desse aplicativo proporcionou uma visão geral de como acontece o fenômeno abordado. O uso desse aplicativo permitiu a observação ampla de cada detalhe da ocorrência do Efeito Fotoelétrico. Essa aula teve duração de 45 minutos.

Pelo simulador é possível escolher o metal (material alvo), mudar as variáveis da intensidade e da frequência da luz, e observar a ocorrência ou não do fenômeno, e também é possível gerar gráficos.

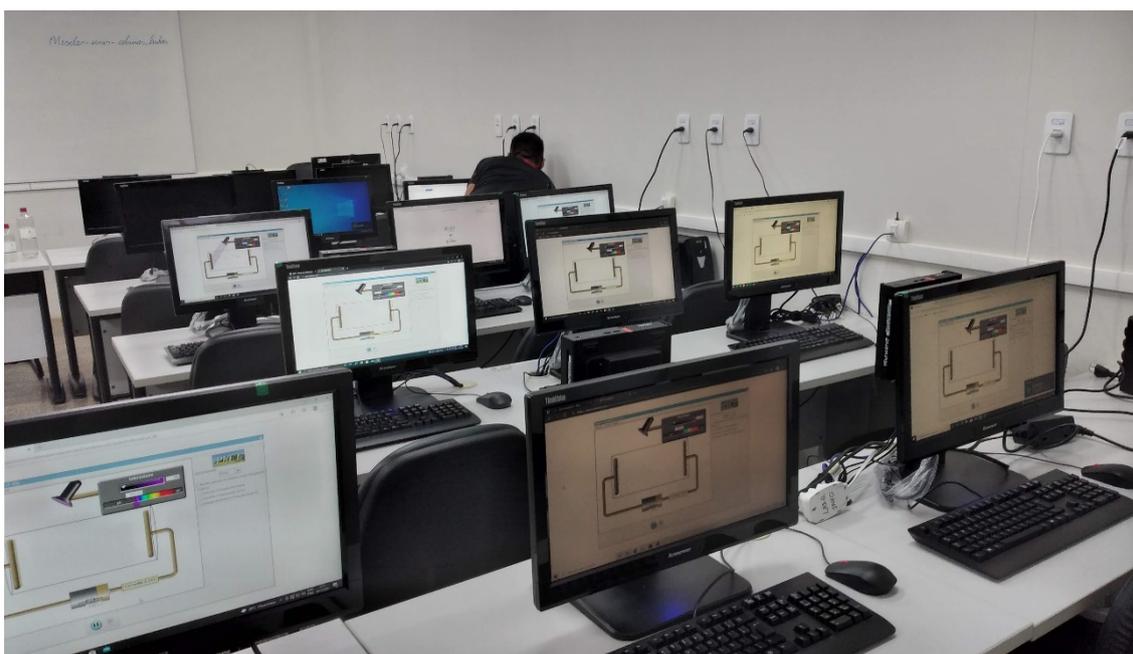
Figura 21. Simulador do Efeito Fotoelétrico – PHET *simulations*



Fonte: Arquivo da própria autora (2021).

No primeiro momento da aula 4, os alunos foram convidados a ir para o laboratório de informática, o laboratório usado tem a capacidade para trinta computadores e acesso à internet, sendo assim cada aluno pôde utilizar um computador para a atividade individual. Foi importante deixar os computadores ligados e com o simulador aberto para não perdermos tempo em realizar a atividade.

Figura 22: Computadores com simulador do Efeito Fotoelétrico.



Fonte: Arquivo da própria autora (2021)

Em seguida, com todos os alunos no laboratório de informática, foi disponibilizado um tutorial de como manipular o simulador, com imagens que facilitaram a compreensão da atividade. O tutorial deu as informações de como alterar a intensidade da luz, de selecionar a frequência de onda, de mudar o valor da tensão da bateria, de mudança o material alvo, e o uso dos gráficos de acordo com o interesse dos alunos. Foi pedido para os alunos lessem o tutorial antes de começar qualquer atividade, depois ficaram livres para fazer as mudanças das variáveis no simulador.

No terceiro momento dessa aula, os alunos receberam um exercício de análise do simulador do Efeito Fotoelétrico, com cinco questões, onde os estudantes puderam responder as questões a partir das observações de cada item que a atividade pedia. Foi um momento tranquilo, os alunos se mostraram interessados na atividade, e a professora acompanhou a atividade tirando dúvidas que apareciam em relação ao simulador. O acompanhamento da professora foi importante para que não houvesse dúvidas sobre o tema abordado.

Figura 23. Momento de leitura do tutorial do simulador do Efeito Fotoelétrico.



Fonte: Arquivo da própria autora (2021).

Notou-se que o uso do simulador fornece de forma dinâmica imagens que ilustram o fenômeno abordado. Quando os alunos mudavam as variáveis, o Efeito Fotoelétrico ocorre ou não, e isso potencializa a compreensão das

condições do fenômeno, e proporciona respostas para eventuais dúvidas que surgiram.

Figura 24. Momento da realização da atividade de análise do Efeito Fotoelétrico com o uso de um simulador computacional.



Fonte: Arquivo da própria autora (2021).

Nas cinco questões do exercício de análise, cada aluno respondeu de acordo com a sua escolha de variável, o material alvo das superfícies descritos nos relatos dos alunos foram na sua maioria o sódio e a platina, os outros foram o cálcio, magnésio e o cobre. O zinco não apareceu em nenhum relato.

As 5 figuras a seguir mostram as respostas de cinco alunos que conseguiram responder de forma mais clara possível.

Figura 25. Questão 1 do exercício de análise do simulador de Efeito Fotoelétrico – aluno 6.

1) Escolha um dos 6 elementos para compor a placa coletora, mantenha um determinado valor de intensidade da luz, e descreva o que ocorre quando alteramos o comprimento de onda da luz?

O material escolhido da placa coletora foi o sódio, com a intensidade da luz fixa em 85%, quando o comprimento de onda estava em 651 nm, luz vermelha observei que não saía elétrons, e quando mudei pra 500 nm, luz amarela, muitos elétrons foram ejetados.

Fonte: Material disponibilizado pela própria autora (2021)

Figura 26. Questão 2 do exercício de análise do simulador de Efeito Fotoelétrico – aluno 7.

2) Mantenha fixo um comprimento de onda da sua escolha, no qual tenhamos elétrons passando de uma placa para a outra, e em seguida escolha diferentes valores de intensidade de luz. O que podemos observar?

Comprimento de onda fixe "207 nm", material cobre. Temos elétrons passando a partir da intensidade 1%, podemos observar que quanto maior a intensidade maior a quantidade de elétrons.

Fonte: Material disponibilizado pela própria autora (2021).

Figura 27. Questão 3 do exercício de análise do simulador de Efeito Fotoelétrico – aluno 8.

3) Selecione diferentes valores de tensão para um mesmo comprimento de onda, no qual os elétrons estejam sendo ejetados de uma placa para outra, e procure explicar o que ocorre?

No material sócio com comprimento de onda 400 nm, e a intensidade no 50%, com a tensão -4,00 V não tem energia suficiente pra chegar na outra placa, no 4,00V os elétrons atravessam.

Fonte: Material disponibilizado pela própria autora (2021)

Figura 28. Questão 4 do exercício de análise do simulador de Efeito Fotoelétrico – aluno 9.

4) Para um dado valor de comprimento de onda, tente identificar o potencial de corte (valor limite de tensão para que os elétrons consigam atravessar de uma placa para outra).

O valor identificado foi de -0,30V. pelo o valor de comprimento de onda de 185 nm com o placa de platino.

Fonte: Material disponibilizado pela própria autora (2021)

Figura 29. Questão 5 do exercício de análise do simulador de Efeito Fotoelétrico – aluno 10.

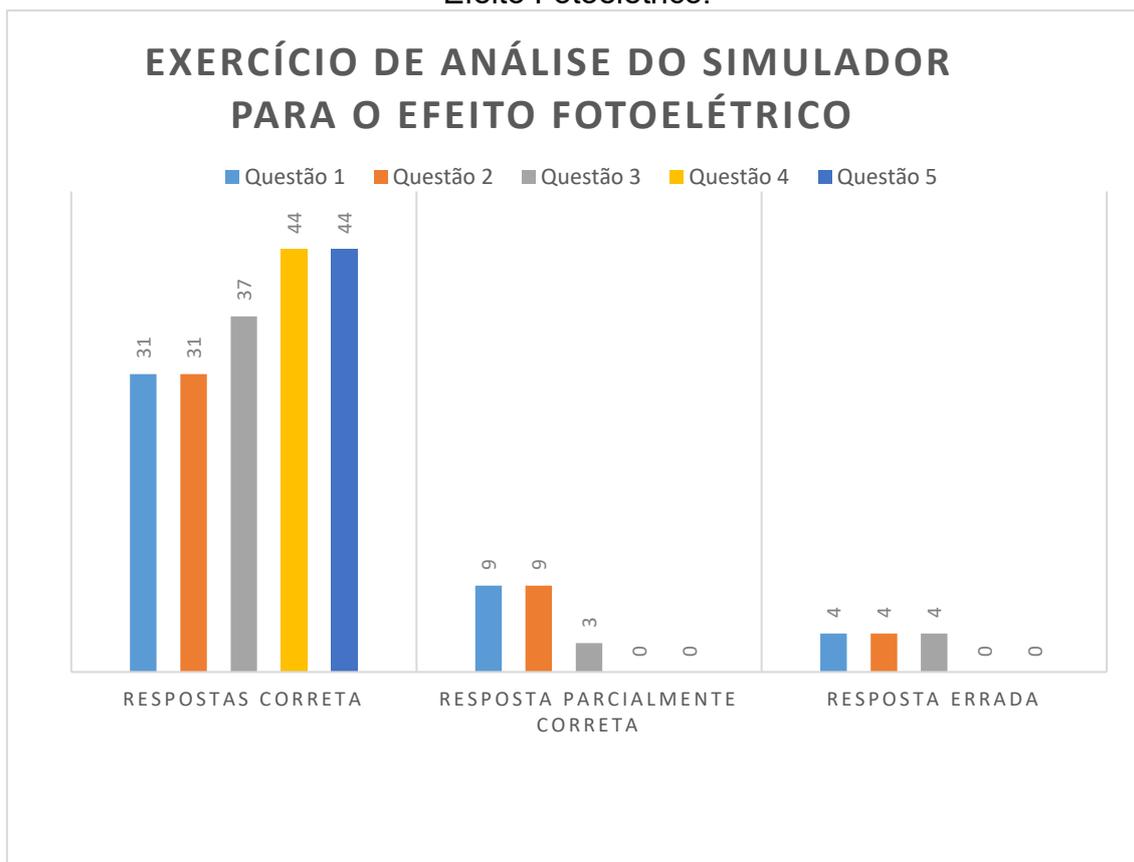
5) É possível identificar o comportamento corpuscular da luz no experimento? Justifique.

Sim, pois com simulador é possível escolher uma opção que nos qual conseguimos enxergar as partículas da luz.

Fonte: Material disponibilizado pela própria autora (2021)

No gráfico 2 abaixo, pode-se observar o resultado quantitativo dos acertos e erros das questões da atividade, assim como os acertos parciais, referentes às respostas que não foram completas de acordo com as informações solicitadas.

Gráfico 2: Resultado quantitativo da atividade análise do simulador para o Efeito Fotoelétrico.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2021)

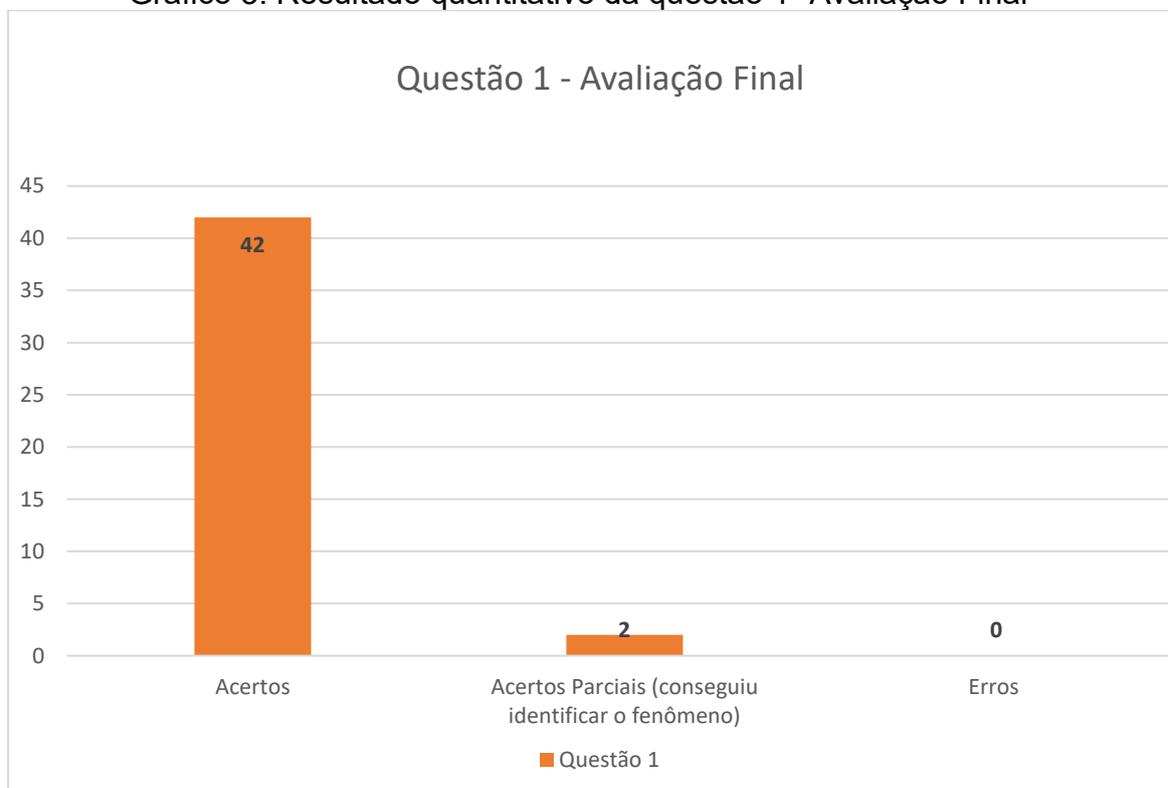
Como o Efeito Fotoelétrico é de difícil ilustração, o simulador ora apresentado, pôde ser uma ferramenta usada na compreensão do tema, que aliada aos subsunçores dos alunos, corroborada com a teoria de Ausubel, dá sentido a uma aprendizagem, através das várias ilustrações que a simulação proporciona. De certo, há uma reestruturação no conhecimento dos alunos, que uma vez transformada, há um ganho de conhecimento de forma significativa. Nessa atividade conseguimos observar através do gráfico 2, que a quantidade de acertos foi maior, nos mostrando de forma clara, que foi possível alcançar os objetivos propostos para a aula 4.

7.5 AULA 05 – ETAPA FINAL – AVALIAÇÃO FINAL

A aula 5 se deu com a última atividade da sequência didática, a aplicação de uma avaliação final contendo cinco questões de vestibulares e ENEM, com respostas de múltipla escolha, com uma apenas uma alternativa correta, sobre o tema Efeito Fotoelétrico. A atividade proposta foi individual e sem consulta.

A primeira questão aplicada foi retirada do vestibular da UFRN, e relacionou o fenômeno abordado na construção de dispositivos eletrônicos, dando ênfase ao comportamento corpuscular da luz. Como o conceito de dualidade onda-partícula foi explanado na etapa três, era esperado que essa questão não fosse problemática, ainda assim, dois alunos erraram parcialmente. Eles conseguiram identificar o fenômeno abordado, porém, não identificaram o comportamento corpuscular na abordagem do mesmo, atribuindo o comportamento da luz como onda para o Efeito Fotoelétrico. O gráfico 2 mostra o resultado da questão 1 para um total de alunos das turmas A e B.

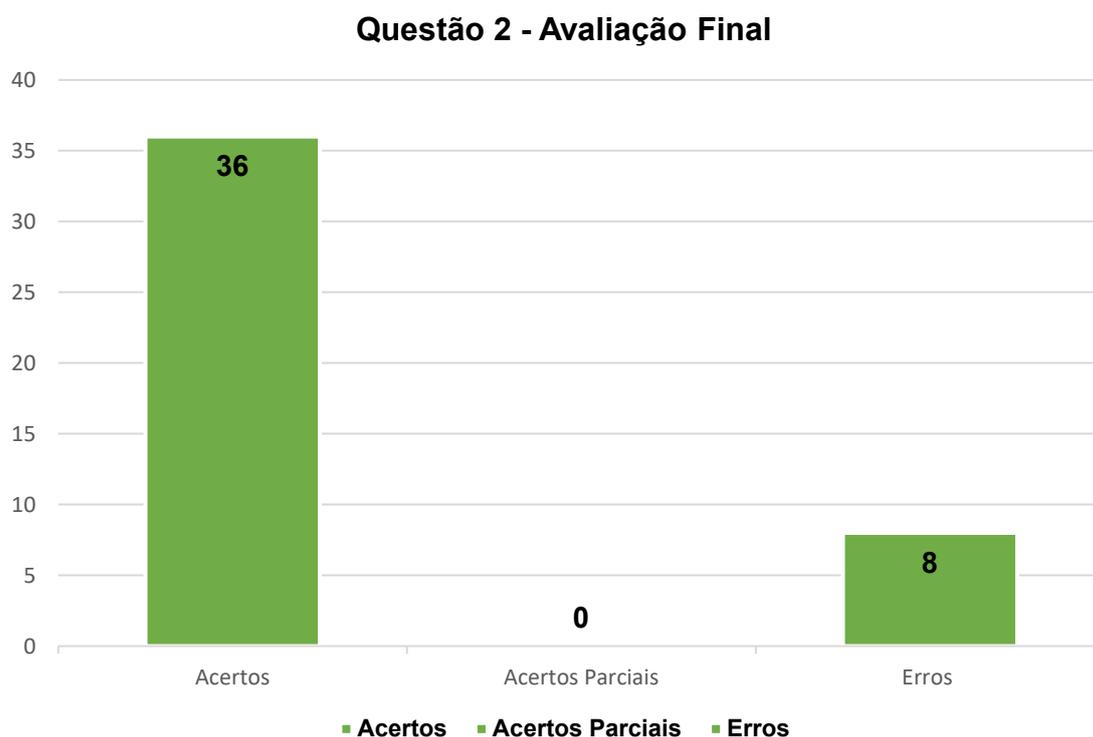
Gráfico 3: Resultado quantitativo da questão 1- Avaliação Final



Fonte: Elaborado pela própria autora (2021).

A segunda questão, foi retirada do ENEM, essa questão aborda as previsões contrariadas da Física clássica onde o Efeito Fotoelétrico depende da frequência e não da amplitude da radiação incidente para acontecer. Essa característica importante na ocorrência do fenômeno, apesar de ter sido trabalhado desde o contexto histórico ainda assim gerou confusão, fazendo com que oito alunos do total de participantes errassem. O gráfico 4 mostra o resultado da questão 2.

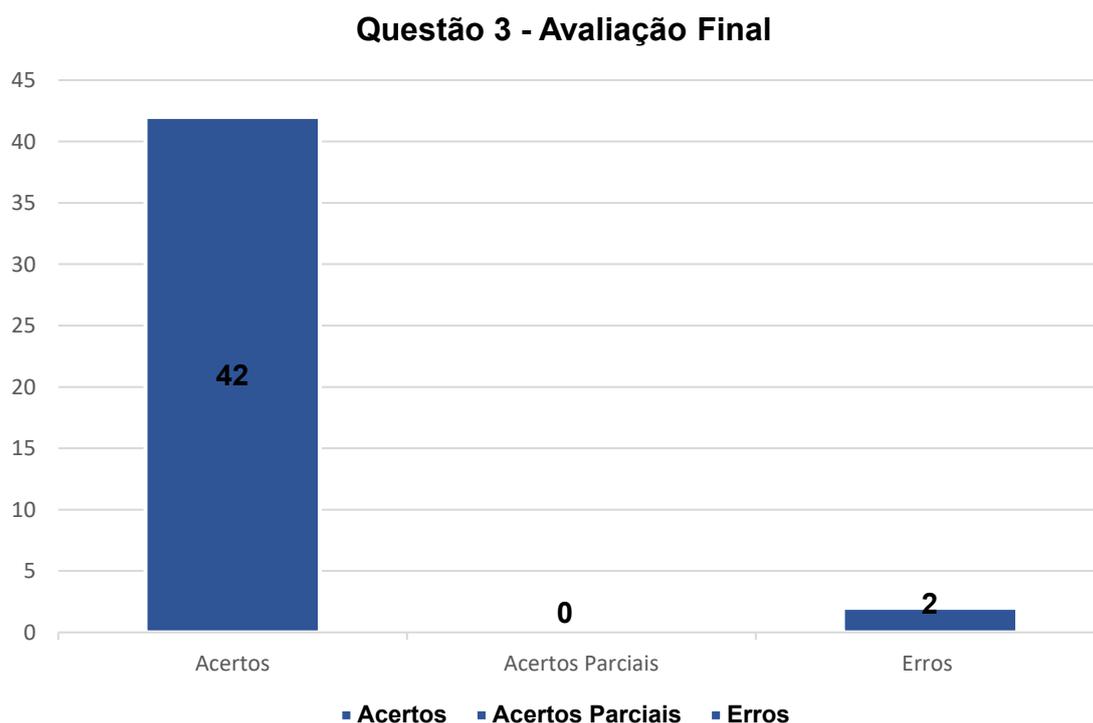
Gráfico 4 - Resultado quantitativo da questão 2- Avaliação final



Fonte: Elaborado pela própria autora (2021)

Na terceira questão, que foi retirada do vestibular de URCA, que abordava as observações realizadas pelo físico alemão Heinrich Hertz, sobre o Efeito Fotoelétrico, e nesta questão somente uma alternativa estava incorreta, a que enfatiza o fato de o Efeito Fotoelétrico ter sido explicado pelo físico Albert Einstein dentro da teoria ondulatória da luz, e não estando associado a teoria dos quanta de luz. Essa questão envolve estudos do contexto histórico do fenômeno abordado, o qual os alunos não tiveram dúvidas sobre a participação de Hertz e Einstein, porém com a resposta pedida incorreta, provavelmente confundiu os alunos e 2 (dois) estudantes erraram.

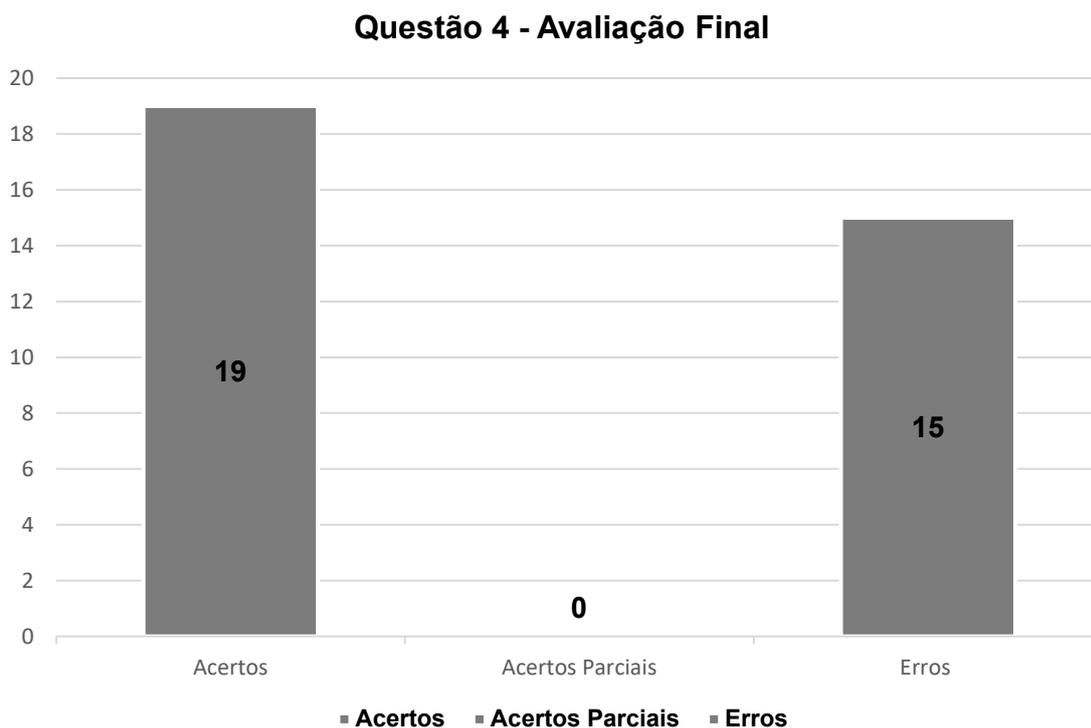
Gráfico 5 - Resultado quantitativo da questão 3 - Avaliação final.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2021)

A questão 4, foi retirada do vestibular de IESDE, essa questão enfatizava os trabalhos publicados por Albert Einstein em 1995, entre eles o Efeito Fotoelétrico, que tem importantes aplicações no cotidiano, como em células fotovoltaicas, sensores, etc. Com isso pediu-se que os alunos analisassem a afirmativa. Do total de 44 alunos das turmas A e B, pelo menos 15 alunos erraram a questão relacionando a descoberta de Einstein com características ondulatórias, isso mostrou que apesar de o estudo ter sido abordado no comportamento corpuscular da luz, esse número de alunos confundiu as informações. O gráfico 6 mostra o resultado da questão 4.

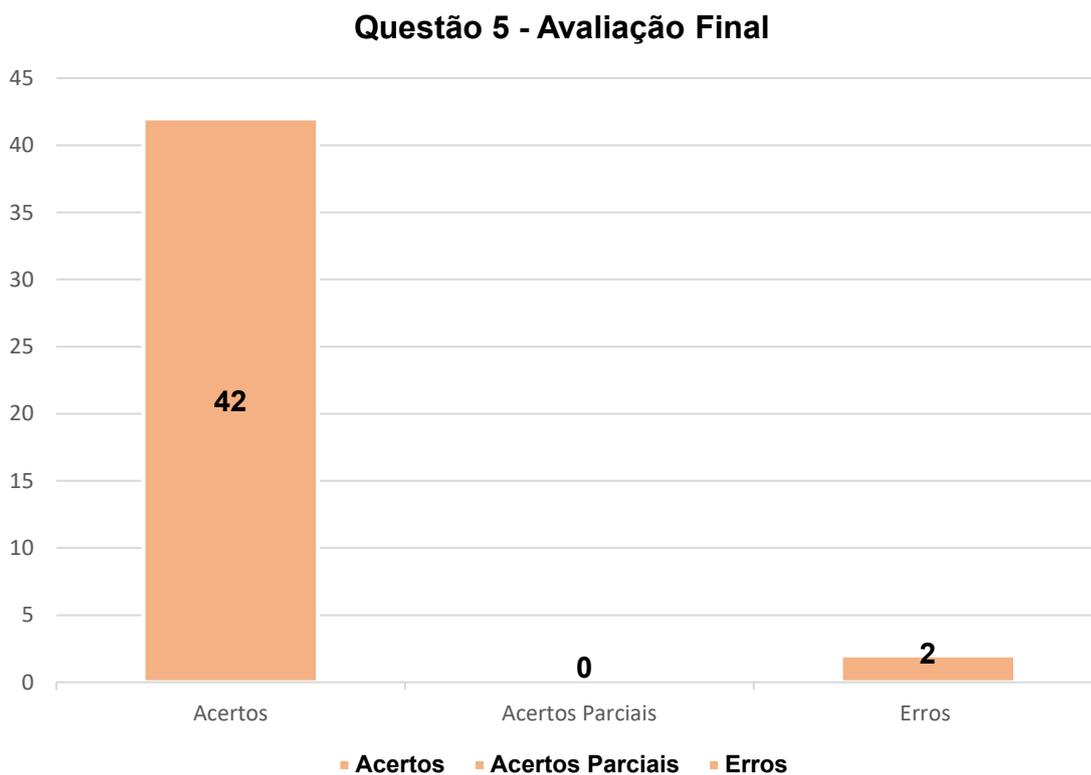
Gráfico 6 - Resultado quantitativo da questão 4 - Avaliação final.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2021)

Por fim, a questão 5, foi retirada da UFPE, tratava da explicação sobre o Efeito fotoelétrico por Einstein como um dos marcos iniciais da Física Quântica. A questão pede para marcar a única característica observada no Efeito Fotoelétrico que está de acordo com a Física Clássica, que, na questão seria o crescimento da corrente fotoelétrica de acordo com a intensidade da radiação incidente, onde somente 2 (dois) alunos erram a questão. O gráfico 7 mostra o resultado da questão 5.

Gráfico 7 - Resultado quantitativo da questão 5 - Avaliação final.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2021)

Numa visão geral a atividade avaliativa final mostrou o quanto é importante as ferramentas de potencializar o ensino, proporcionando aos alunos um bom rendimento mesmo com algumas dificuldades, foi observado que um número de alunos, mesmo não sendo expressivo, ainda confundem a ocorrência do fenômeno abordado a intensidade da luz, mas, a maioria dos alunos de forma expressiva adquiriram o conhecimento de forma significativa. Isso nos mostra que os objetivos para a aula final foram alcançados com sucesso, e que mesmo diante de muitos desafios os alunos conseguem chegar ao conhecimento científico, mudando muitas de suas ideias que antes não tinham tanto significado.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de Física Moderna no ensino médio ainda é pouco abordado em sala de aula, há uma grande dificuldade para muitos professores incluírem os temas e principalmente as experimentações. Há muitos fatores que impedem o desenvolvimento das aulas como por exemplo, os materiais adequados para aula prática, tempo para as aulas teóricas e principalmente os temas de Física Moderna que devem estar inseridos na grade curricular do ensino médio.

Como qualquer outra área a ser trabalhada em sala de aula, o ensino de Física precisa estar planejado e organizado de acordo com a realidade dos alunos, é importante levar em consideração o conhecimento que os estudantes trazem das suas experiências diárias. É preciso uma abordagem metodológica capaz de transformar a realidade dos alunos de forma que eles possam utilizar para a transformação da sociedade.

A busca de conhecimento é diária, tanto para o aluno, quanto para o professor, devem estar dispostos à novas mudanças. O professor é o mediador do conhecimento, e precisa estar disposto a aprender a ensinar, e os alunos precisam estarem dispostos a aprender novos conhecimentos, em tempos que a tecnologia toma conta de tudo que nos cerca, e principalmente permite uma vida melhor.

O tema Efeito Fotoelétrico abordado nessa dissertação, faz parte de um dos marcos mais importantes para o desenvolvimento da Física Quântica, suas diversas aplicações estão presentes em variados dispositivos eletrônicos, como sensores, utilizados na indústria e comércio, assim como, está disponível para o uso diário das pessoas, mesmo que a maioria da população não tenha o conhecimento científico sobre o fenômeno.

Para inserir o tema Efeito Fotoelétrico no ensino médio, foi preciso um estudo de literaturas para conectar o novo conhecimento na estrutura cognitiva dos alunos, baseando-se na teoria de aprendizagem de David Ausubel sobre a aprendizagem significativa, que nos guia sobre a importância de valorizar o conhecimento prévio dos alunos, o subsunção, que faz parte do cotidiano dos

indivíduos e é o caminho para que ocorra uma mudança saindo do senso comum para o pensamento científico.

Os objetivos propostos nesse trabalho foram alcançados, usou-se uma ferramenta com grande potencial, a aplicação de uma sequência didática fundamentada nas ideias de Zabala. Ficou evidente que este material é capaz de facilitar o ensino para alcançar as metas estabelecidas. A sequência didática aqui utilizada como estratégia de aprendizagem, foi organizada de uma forma que facilitasse o entendimento do professor e alunos, com um início, meio e fim bem definidos.

A problemática em questão foi resolvida, foi possível conhecer as ideias e opiniões dos alunos sobre a natureza da luz, sobre o tema Efeito Fotoelétrico e suas aplicações no cotidiano, assim como, foi possível modificar suas concepções prévias, em caso de errôneas, fazendo uma intervenção no ensino aprendizagem, através de uma sequência didática, levando os alunos do senso comum ao conhecimento científico, baseando-se nos preceitos da aprendizagem significativa.

Os discentes que participaram da pesquisa em questão tiveram a oportunidade de compreender o fenômeno Efeito Fotoelétrico com a ajuda de um aplicativo de computador. A dinâmica que o simulador (PHET) do Efeito Fotoelétrico proporciona é apenas um exemplo de muitas outras atividades que podem ser abordadas com o uso da tecnologia de informação.

Os resultados alcançados mostraram a capacidade que os alunos têm em aprender de forma diferenciada. Os relatos mostrados fazem parte de um processo de construção na vida dos estudantes em seu meio social, político, econômico e cultural, pois cada aluno pôde responder as atividades de forma individual e pondo em análise a importância do conhecimento da tecnologia que nos cerca.

Por fim, esse trabalho abre um leque de possibilidades de aperfeiçoamento no ensino de Física, apresentamos aqui apenas uma ideia de estratégia para alcançar um público-alvo de ensino médio, mas que pode ser adaptado de acordo com ideias novas de qualquer professor disposto a apresentar os conceitos que envolvem o tema Efeito Fotoelétrico.

REFERÊNCIAS

BATISTA, D. C. BATISTA, M. C. FUSINATO, P. A. Oscar Rodrigues dos Santos. Atividade experimental para o ensino de física: efeito fotoelétrico. Caderno de física da UEFS 19 (01): 1403.1-15 2021.

BRASIL. Ministério Da Educação. Secretaria De Educação Básica. Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio- Física. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica: Brasília (DF), 2000.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Ciências humanas e suas tecnologias. Brasília. 2006.

BRASIL. Ministério Da Educação. Secretaria De Educação Básica. Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Fundamental - Ciências Naturais. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica: Brasília (DF), 1998.

BRAUNN, R. A. LARSEN, G. Efeito Fotoelétrico. XVI encontro anual de produção científica. ENAPROC. 2019.

CARRARO, F. L. O uso de simuladores virtuais do phet como metodologia de ensino de eletrodinâmica. Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE. Paraná. 2014.

CARRON, W. GUIMARÃES, O. As faces da física. Vol. Único / Wilson Carron, Osvaldo Guimarães. 3 ed. São Paulo. 2006.

CITISYSTEMS. Citisystems: Sensor-optico. Disponível em <<https://www.citisystems.com.br/sensor-optico/>>. Acesso em dezembro de 2022.

FIGUEIREDO, A. M. R. GHEDIN, E. A teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel e o ensino de ciências. Boa Vista. 2012.

GOMES, V. C. Uso de simulações computacionais do efeito fotoelétrico no ensino médio/ Valdelenes Caralho Gomes. 2011.

HALLIDAY, D. RESNIK, R. WALLKER, J. Fundamentos de Física. Óptica e Física Moderna. Vol. 4. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sergio de Biasi. Rio de Janeiro. 2009.

HEWITT, P. G. Física conceitual/Paul G Hewitt; tradução Trieste Freire Ricci; Maria Helena Gravina. -9, ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

LEAL, J. S. Uma proposta de sequência didática sobre o efeito fotoelétrico para o ensino de física moderna e contemporânea na educação básica / Jânio de Sousa Leal -Ilhéus, BA: UESC, 2017.

MELO, M. W. A. ARAÚJO, R. S. SOUSA, D. F. M. SILVA, R. A. M. Determinação da constante de Planck por meio do Efeito Fotoelétrico. Congresso nacional de pesquisa e ensino em ciências CONAPESC. 2019.

MENDES, J. J. A. J. STEVAN, S. L. J. LDR e Sensores de Luz Ambiente: funcionamento e aplicações. Semana de Eletrônica e Automação SEA. Paraná. 2013.

MÓL, G. S. Pesquisa Qualitativa em Ensino de Química. Revista Pesquisa Qualitativa. São Paulo (SP), v.5, n.9, p. 495-513, dez. 2007.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares / Marco Antonio Moreira. São Paulo. 2011.

MOREIRA, M. A. Teorias de aprendizagem / Marco Antonio Moreira. São Paulo: EPU. 1999.

NETO, P. A. S. SOUSA, M. P. BARBOSA, A. C. L. LAVOR, O. P. Ensino de Física e Aprendizagem Significativa: Um olhar discente no semiárido. CONIDIS. I Ingresso Internacional da Diversidade do Semiárido. 2016.

NOVAK, J. D. Aprender a Aprender. Cambridge University Press. 1984.

ORTOLI, S. PHARABOD, J. P. Introdução à Física Quântica. Publicações Dom Quixote. Lisboa. 1986.

PEREIRA, P. N. COSTA, H. R. GUERINI, S. C. Efeito Fotoelétrico: sequência didática como metodologia para o ensino de física moderna no ensino médio. VII ENAIIIC. Fortaleza - CE. 2018.

PERUZZO, J. Física Quântica: Conceitos e Aplicações / Jucimar Peruzzo. Irani (SC): 2014.

PESSOA, O. J. Conceitos de Física Quântica / Osvaldo Pessoa Jr. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003.

QUEIROS, D. T. VALL, J. SOUZA, A. M. A. VIEIRA, N. F. C. Observação participante na pesquisa qualitativa: conceitos e aplicações na área da saúde. Rio de Janeiro, 2007.

SANTOS, Elaine Oliveira. A cognição e a aprendizagem. UNINTER. 2022.

VEITE, A. TEODORO, V.D. Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Revista Brasileira de Ensino de Física. Vol. 24. 2002.

WIKIPEDIA. Efeito fotovoltaico. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_fotovoltaico. Acesso em março de 2023.

WIKIPEDIA. Phet simulations. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Acesso: junho. 2023.

YAMAMOTO, K. FUKU, L. F. Física para o ensino médio. vol. 3. Eletricidade/física moderna / Kazuhito Yamamoto, Luís Felipe Fuke. 4.ed. São Paulo. 2016

ZABALA, A. V. La Práctica educativa. Como ensinar. 4ª ed: Espanha, 1998.

APÊNDICE A – Produto Educacional

PRODUTO EDUCACIONAL

**Abordagem do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio: uma
Sequência Didática como Estratégia**

Ariane da Silva Gonçalves



UFAM



INSTITUTO FEDERAL
AMAZONAS



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



CAPES



FAPEAM

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

POLO 04

Ariane da Silva Gonçalves

PRODUTO EDUCACIONAL

**Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio: uma Sequência Didática como
Estratégia**

Manaus-AM
2023

Ariane da Silva Gonçalves

Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio: uma Sequência Didática como Estratégia

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: Abordagem do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio: uma Sequência Didática como Estratégia, 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. José Roberto Viana Azevedo.

Manaus-AM
2023

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

P654e Pinheiro, Ariane Gonçalves.
Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio: uma sequência didática como estratégia /
Ariane Gonçalves Pinheiro. – Manaus, 2023.
27 p. : il. color.

Produto Educacional proveniente da Dissertação - Abordagem teórica e experimental para aplicação da luz como onda ou como partícula nas aulas de física 3 no ensino médio. (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2023.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Viana Azevedo.
ISBN 978-65-85652-19-3

1. Física – ensino. 2. Efeito fotoelétrico. 3. Sequência didática. 4. Aprendizagem significativa. I. Azevedo, José Roberto Viana. (Orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 530

AGRADECIMENTOS

Agradeço infinitamente a Deus pela oportunidade de aprender e compartilhar conhecimento, e por me proporcionar a grandiosidade da fé.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo apoio concedido para a realização desse trabalho – código de financiamento 001.

À meu esposo e filha, pelo apoio e incentivo diário, e pelo amor que me ofertam todos os dias.

Aos professores e orientadores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), que estão lado a lado nessa luta em busca dessa conquista.

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	9
1.1 OBJETIVOS: GERAL E ESPECÍFICOS.....	10
1.2 CONTEUDOS A SEREM ABORDADOS.....	10
1.3 METODOLOGIA.....	11
1.3.1 Público alvo	11
1.3.2 As aulas.....	11
1.4 ROTEIRO DE APLICAÇÃO	15
2 REFENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 O CONHECIMENTO PRÉVIO E A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA..	17
3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO ESTRATÉGIA PARA O ENSINO DE FÍSICA	18
4 ABORDANDO O EFEITO FOTOELÉTRICO	19
4.1 DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA.....	19
4.2 CONTEXTO HISTÓRICO DO EFEITO FOTOELÉTRICO	20
4.3 O EFEITO FOTOELÉTRICO E SUAS APLIAÇÕES	21
5 CONSIREÇÕES FINAIS	23
6 REFERÊNCIAS.....	24
APÊNDICE A- QUESTIONÁRIO FINAL	25
ANEXO A – RECORTE DE TEXTO – A DUALIDADE ONDA PARTÍCULA	27
ANEXO B – RECORTE DE TEXTO – EFEITO FOTOELÉTRICO	28

APRESENTAÇÃO

Caro (a) colega professor (a),

Este trabalho traz informações sobre o produto educacional “Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio: uma Sequência Didática como Estratégia”, desenvolvido no curso do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 04 – UFAM/IFAM.

Sabemos das dificuldades que os professores têm, em inserir física moderna nas suas aulas, porém, esse produto educacional te guiará a fazer uma abordagem diferenciada, que proporcionará uma aprendizagem verdadeiramente significativa aos alunos.

Com o intuito de facilitar o ensino do conteúdo Efeito Fotoelétrico, para alunos de ensino médio, elaboramos uma Sequência Didática dividida em quatro momentos. Onde abordaremos o contexto histórico, conceitos e aplicações do referido tema, além de fazer uso de um aplicativo de computador, através da tecnologia disponível.

Vale lembrar que, esse produto tem um início meio e fim bem definidos, por isso, pode ser adaptável de acordo com a realidade dos seus alunos.

Ariane da Silva Gonçalves

Orientador: Dr. José Roberto Viana Azevedo

INTRODUÇÃO

Com o avanço das tecnologias e inovações, a sociedade vem se beneficiando de vários equipamentos tecnológicos que proporcionam melhores condições de vida. Homens e mulheres fazem parte desse contexto histórico na construção e desenvolvimento do mundo científico.

Apesar do avanço tecnológico nos dias atuais, inserir o ensino de Física Moderna no ensino médio, ainda não é uma tarefa fácil para muitos professores, e isso tem a ver com a falta de tempo para trabalhar diversos conteúdos, bem como um espaço adequado para desenvolver atividades experimentais, transformando o ensino de física em algo limitado em muitos cálculos.

Essa realidade do professor, não é geral, mas acontece em muitos casos, principalmente em escolas públicas, carentes de materiais de apoio pedagógico. Nesses casos, o professor, precisa buscar estratégias que possam transformar o ensino de física em algo mais compreensível para o aluno.

A maioria dos alunos veem a física no ensino médio como algo muito complexo, pois não conseguem ver a utilidade desse conhecimento em seu dia a dia. Isso causa um grande afastamento desses alunos das áreas de exatas, dificilmente escolhem a física como foco para uma vida acadêmica.

Diante dessa cena, vivenciada diariamente, tanto pelos alunos quanto pelos professores, propomos nesse Produto Educacional o desenvolvimento uma Sequência Didática como estratégia para ensinar um conteúdo de física moderna, o tema abordado é o Efeito Fotoelétrico.

O objetivo desse trabalho, é proporcionar aos alunos novos conhecimentos e, traves do desenvolvimento da sequência didática trabalhar o tema Efeito Fotoelétrico, proporcionando uma aprendizagem eficaz e satisfatória. Essa sequência se baseia na teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel para aquisição de conhecimento.

O Efeito Fotoelétrico, está presente em diversos equipamentos e dispositivos eletrônicos que fazem parte do cotidiano das pessoas. Além de ser um tema muito abordado em vestibulares. O descobrimento desse fenômeno

transformou a física quântica, trazendo uma maior compreensão da natureza da luz.

Para tornar a aula mais interessante faremos o uso de um aplicativo de computador (PHET *simulations*), que simula o Efeito Fotoelétrico, permitindo aos alunos manipularem diversos itens que permitem ou não a ocorrência do fenômeno.

Este trabalho está organizado como segue: 1- Apresentação do produto educacional, neste capítulo apresentamos o produto, suas características e objetivos, metodologia e o roteiro da sequência didática. 2- Referencial teórico, neste capítulo apresentaremos a contribuição da teoria de Ausubel que pautam este trabalho. 3 – Sequência didática como estratégia para o ensino de física, neste capítulo falamos sobre a SD como uma ferramenta importante no processo de ensino aprendizagem. 4 - Abordando o efeito fotoelétrico, este capítulo aborda o tema escolhido a ser desenvolvido na SD, bem como seu contexto Histórico, conceito como dualidade da luz e as aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano. 5 - Considerações finais. 6 – Referências. Em seguida temos os materiais de apoio em apêndices e anexos.

1 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Este produto educacional é uma produção que faz parte da dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, polo 04.

A proposta desse trabalho é levar ao professor uma estratégia de como abordar o tema “**Efeito Fotoelétrico**”, que é um conteúdo de física moderna para ensino médio, na forma de alcançar os objetivos de forma significativa.

Como estratégia faremos a utilização de uma Sequência Didática (SD), pautada na teoria de David Ausubel sobre a aprendizagem significativa. A SD, está dividida em quatro etapas, que serão desenvolvidas em cinco tempos de aula de cinquenta minutos cada, sendo que para essa pesquisa utilizaremos o primeiro e último tempo para testes diagnósticos.

Abordaremos na SD, o tema em questão, desde seu contexto histórico com a contribuição de dois grandes físicos muito conhecidos pelos alunos de ensino médio, o físico Heinrich Rudolf Hertz e Albert Einstein. Também será abordado pela sequência didática o conceito da dualidade da luz, pois esse conhecimento é importante para que os alunos compreendam o conceito de efeito fotoelétrico de forma clara. Será feito uma abordagem das aplicações do fenômeno, e sua importância no dia a dia.

E para tornar a abordagem do Efeito Fotoelétrico mais interessante, faremos o uso de aplicativo de computador (PHET *simulations*), um simulador virtual disponível na internet. Esse simulador virtual vai permitir aos alunos manipularem diversos itens que permitem ou não a ocorrência do fenômeno Efeito Fotoelétrico.

1.1 OBJETIVOS: GERAL E ESPECÍFICOS

- Geral:

Desenvolver uma sequência didática sobre Efeito Fotoelétrico para alunos do ensino médio integrado, apresentando as principais contribuições no processo de construção sobre o fenômeno abordado, assim como seus conceitos e aplicações.

- Específicos:

i). Questionar os alunos sobre suas concepções prévias a ser abordado, para constar possíveis concepções errôneas;

ii). Apresentar o contexto histórico do tema Efeito Fotoelétrico, bem como os conceitos sobre a natureza da luz;

iii) Mostrar através de vídeos de curta duração o processo de construção do tema Efeito Fotoelétrico e suas aplicações no cotidiano;

v) Visualizar através de um aplicativo de computador (PHET *simulations*) a simulação do fenômeno abordado;

vi) Reconhecer a Física Moderna e Contemporânea como importante instrumento na construção humana, cujo desenvolvimento está atrelado a contextos: cultural, social, político e econômico, definidos historicamente.

1.2 CONTEÚDOS A SEREM ABORDADOS

- Contexto histórico do Efeito fotoelétrico;
- Dualidade onda partícula;
- Definição de Efeito fotoelétrico
- Aplicações do Efeito Fotoelétrico no cotidiano;

1.3 METODOLOGIA

Para este trabalho utilizaremos a metodologia ativa, estimulando e permitindo o aluno ser dono da sua própria aprendizagem. Nas aulas propostas utilizaremos materiais de apoio como textos informativos, vídeos de curta duração, bem como um aplicativo computacional de um simulador virtual (PHET), para a simulação do Efeito Fotoelétrico. Os alunos poderão dialogar com o(a) professor(a) e colegas sobre o tema abordado.

1.3.1 Público Alvo

O público alvo para o estudo do Efeito Fotoelétrico, são alunos de terceiro ano do ensino médio. Essa SD será aplicada no 4º bimestre, pois nesse período os alunos já terão o conhecimento sobre carga elétrica, também já trarão consigo certos conhecimentos sobre frequência.

1.3.2 As Aulas

A sequência didática será desenvolvida em quatro etapas, ocorrendo em cinco tempos aulas de cinquenta minutos cada, sendo que é importante deixar pelo menos cinco minutos de cada tempo para a organização da sala ou materiais. As aulas que seguem:

Aula 1: Aplicação de um teste diagnóstico sobre Efeito Fotoelétrico, com duração de 45 minutos. O objetivo é analisar os subsunçores dos alunos acerca do tema Efeito Fotoelétrico. Os alunos serão avaliados conforme sua participação em sala de aula. Como recursos necessários e material de apoio vamos precisar de quadro branco, pincel, apagador, caneta e papel.

Elaboramos sete questões, para que os alunos possam expor suas concepções sobre o tema abordado, as questões seguem:

1). Tente explique com suas próprias palavras como funciona o sistema da porta automática da sua escola, na qual permite ela abrir e fechar sem você precisar toca-la.

2) De acordo com seu conhecimento, explique como o sistema de iluminação dos postes nas ruas públicas podem se apagar e se acender sozinhos.

3). Quais os tipos de ondas eletromagnéticas que você conhece?

4) O que você entende sobre frequência de onda?

5). Você conhece os tipos de comportamentos da luz?

6) O que são fótons?

7) já ouviu falar sobre o Efeito Fotoelétrico? Se sua resposta for “sim” resuma o que é. Se sua resposta for “não” comente o que você acha que é.

Os alunos deverão ser instruídos a não compartilhar ideia com o colega e nem se preocupar com respostas certas ou erradas. É importante ressaltar que essas questões podem ser elaboradas de acordo com a realidade dos alunos, pois pode haver uma necessidade de por outras perguntas ou retirar algumas.

Aula 2- Contexto histórico do tema Efeito Fotoelétrico e conceito de dualidade onda partícula, duração de 25 + 20 minutos. O objetivo é reconhecer que a física faz parte da construção histórica da humanidade através do contexto histórico de “efeito fotoelétrico” e através do conceito de dualidade onda partícula compreender a natureza da luz. Para essa aula utilizaremos:

1- Vídeo “efeito fotoelétrico” disponível na internet, de curta duração (4 min e 33 s.) que retratam as observações Hertz e a conclusão de Einstein sobre o fenômeno Efeito Fotoelétrico, seguido de aula expositiva e dialogada com uso de slide.

2- Leitura de um recorte do texto “A dualidade onda partícula” retirado da internet, seguido de um vídeo disponível na internet, de curta duração (4 min e 39 s), que trata do comportamento da luz como onda e como partícula, e que para nosso estudo ela será tratada como corpúsculo, seguido de aula dialogada com as observações dos alunos.

Os alunos serão avaliados conforme sua participação em sala de aula. E os recursos necessários e material de apoio, vamos precisar de notebook,

projektor multimídia, caixa de som, quadro branco, pincel, caneta e papel, texto de apoio (Anexo A).

Os links dos vídeos estão disponíveis no item 1.4 Roteiro de aplicação.

Aula 3 – Definição de Efeito Fotoelétrico e suas aplicações, com duração de 25 + 20 minutos. O objetivo dessa aula é apresentar a definição de Efeito Fotoelétrico, e suas aplicações no dia a dia. Como atividades temos:

1 - Leitura de trecho do texto “Efeito Fotoelétrico” seguido de aula expositiva dialogada, com uso de slide, mostrando as principais características do fenômeno e sua equação, resolvendo uma questão de vestibular para calcular a energia do fóton.

2 – Vídeo disponível na internet, de curta duração (11 min) seguido de aula expositiva e dialogada com uso de slide sobre a aplicação do “efeito fotoelétrico”, e participação dos alunos com suas observações e curiosidades. Os alunos serão avaliados conforme sua participação em sala de aula. Recursos necessários e material de apoio: notebook, projetor multimídia, caixa de som, quadro branco, pincel, caneta e papel, texto de apoio (Anexo B).

Aula 4 – Simulação do Efeito Fotoelétrico com uso de aplicativo de computador (PHET *simulations*). Duração: 45 minutos. Objetivo: proporcionar maior interação com o fenômeno Efeito Fotoelétrico com a ajuda da tecnologia disponível.

Como atividade, cada aluno deve estar em um computador que já estará com o aplicativo (PHET *simulations*) aberto. O tutorial do simulador do Efeito Fotoelétrico do aplicativo computacional deve ser entregue aos alunos, onde esse roteiro deverá ser lido antes de iniciar a manipulação do aplicativo, em seguida com a ajuda do roteiro os alunos poderão conhecer o aplicativo, observar as partículas de luz e sua interação com os vários tipos de metais disponíveis. Em seguida podem responder a um exercício de análise, com perguntas guiadas para cada modificação nas características que fazem o Efeito Fotoelétrico acontecer de acordo com as condições propostas. As questões seguem:

1-Escolha um dos 6 elementos para compor a placa coletora, mantenha um determinado valor de intensidade da luz, e descreva o que ocorre quando alteramos o comprimento de onda da luz?

2- Mantenha fixo uma determinada frequência de luz da sua escolha, onde os elétrons estarão passando da placa emissora para a placa coletora. O que você pode observar se alterar a intensidade da luz para diferentes valores?

3- O que ocorre quando fixamos uma determinada frequência de luz e mudamos os valores de tensão? Os elétrons devem estar sendo ejetados.

4- Tente identificar valor limite de tensão onde os elétrons conseguem atravessar de uma placa para outra (potencial de corte). Mantenha fixo um comprimento de onda.

5- É possível identificar o comportamento corpuscular da luz no experimento? Justifique.

Os alunos serão avaliados como o exercício de análise do aplicativo computacional para o Efeito Fotoelétrico é avaliativo, contendo 5 questões. Recursos necessários e material de apoio: laboratório de informática, computadores, quadro branco, pincel, caneta e papel. O tutorial do simulador (Anexo C).

O link do simulador (*PHET simulations*) e do tutorial está disponível no item 1.4 Roteiro de aplicação.

Aula 5 – Teste avaliativo final da sequência didática. Duração: 45 minutos. Objetivo: considerar a capacidade dos alunos em aprender o conteúdo Efeito Fotoelétrico, bem como a abstração de informações relevantes para seu contexto social, político, econômico e cultural. Avaliação final – com cinco questões de vestibulares, de múltipla escolha, os alunos não poderão se comunicar entre si, pois se tratando de uma atividade individual e sem consulta. Recursos necessários e material de apoio: quadro branco, pincel, caneta e papel (avaliação). Avaliação – Efeito Fotoelétrico (Apêndice A).

1.4 ROTEIRO DE APLICAÇÃO

Quadro 01: Roteiro de atividades da Sequência Didática

Roteiro – Sequência Didática			
Tema abordado: Efeito Fotoelétrico			
Público alvo: Alunos do 3º ano do ensino médio integrado			
Objetivo Geral: Compreender o “Efeito Fotoelétrico”, bem como os conceitos que contribuirão no processo de construção do fenômeno e suas aplicações.			
Aulas	Objetivos específicos	Conteúdos	Dinâmica das atividades
01	Analisar os subçunsos dos alunos acerca do tema Efeito Fotoelétrico.	-	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação de questionário, para obter informações das concepções prévias dos alunos sobre o tema Efeito Fotoelétrico. • Atividade individual.
02	Reconhecer que a física faz parte da construção histórica da humanidade através do contexto histórico de “efeito fotoelétrico” e através do conceito de dualidade onda partícula compreender a natureza da luz.	Efeito Fotoelétrico: Contexto histórico Dualidade da luz	<ul style="list-style-type: none"> • Os alunos deverão assistir o vídeo “efeito fotoelétrico” disponível em https://www.youtube.com/watch?v=IA0wLIDNBUs que retratam as observações Hertz e a conclusão de Einstein sobre o fenômeno Efeito Fotoelétrico • Seguido de aula expositiva e dialogada com slide. • Leitura de trecho do texto “dualidade onda partícula”, seguido de um vídeo disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Mq9_JOzF8iw que trata do comportamento da luz como onda e como partícula. • Seguido de aula dialogada com as observações dos alunos.
03	Apresentar a definição de Efeito Fotoelétrico, e suas aplicações no dia a dia.	Conceito de Efeito Fotoelétrico	<ul style="list-style-type: none"> • Leitura de trecho do texto “efeito fotoelétrico” seguido de aula expositiva dialogada, com uso de slide, mostrando as principais características do fenômeno e sua equação; • Resolver uma questão de vestibular para calcular a energia do fóton. • Assistir um vídeo disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=jtN1ij5U7sQ • Aula expositiva e dialogada com uso de slide sobre a aplicação do “efeito fotoelétrico”, e participação dos alunos com suas observações e curiosidades.
04	Proporcionar maior interação com o fenômeno “efeito fotoelétrico” com a ajuda da	Efeito Fotoelétrico: simulação do com uso de aplicativo de computador	<ul style="list-style-type: none"> • Cada aluno utilizará em um computador que já deverá estar com o aplicativo (PHET <i>simulations</i>) disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/ aberto. • Terão o apoio de um roteiro da simulação do Efeito Fotoelétrico do aplicativo

	tecnologia de informação disponível.		computacional disponível em: https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/4433/Ricardo%20Monteiro%20da%20Silva%20-%20Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y , e deverão ler esse roteiro antes de iniciar a manipulação do aplicativo; <ul style="list-style-type: none"> • Com a ajuda do roteiro os alunos poderão conhecer o aplicativo, observar as partículas de luz e sua interação com os vários tipos de metais disponíveis. • Em seguida poderão responder a um exercício de análise, com perguntas guiadas para cada modificação nas características que fazem o Foto Elétrico acontecer ou não.
05	Considerar a capacidade dos alunos em aprender o conteúdo Efeito Fotoelétrico, bem como a abstração de informações relevantes para seu contexto social, político, econômico e cultural.	Efeito fotoelétrico	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação final – com cinco questões de vestibulares, de múltipla escolha, os alunos não poderão se comunicar entre si, pois se tratando de uma atividade individual e sem consulta.
Avaliação: Os alunos serão avaliados conforme sua participação em sala de aula, bem como pelas respostas do exercício de análise em laboratório e teste final.			

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O ensino de Física Moderna, apesar de ser uma parte de física, pouco abordada com os alunos do ensino médio, quando incluída ao seu currículo, pode proporcionar a esses alunos diversas novas possibilidades de compreender o mundo em que vivem. Ainda assim, é importante lembrar que eles, no seu dia a dia, adquirem saberes que servem como base para a compreensão de novos conhecimentos, e esse saberes adquiridos pelos alunos, foi chamado de subsunçor, ideia ancora ou conhecimento prévio, por David Ausubel (1918-2008), o que permitiriam aos alunos assimilar o significado de novos conhecimentos.

2.1 O CONHECIMENTO PRÉVIO E A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

O aluno do ensino médio, carrega consigo várias experiências e conhecimentos adquiridos no seu cotidiano, segundo Ausubel (2003) esse conhecimento pode estar mais ou menos elaborado em termos de significado. Mas serve de ideia-ancora para novos conhecimentos, onde ele mesmo se modifica adquirindo novos significados, sendo um processo interativo, validando significados já existentes. De acordo com [Moreira 2011], para Ausubel:

Um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel define como conceito subsunçor; ou simplesmente subsunçor, existente na estrutura cognitiva do indivíduo.

A aprendizagem significativa, é o conhecimento que se matem na memória do aprendiz, mesmo que passe muito tempo sem ter acesso ao subsunçor, o aprendiz consegue resgatar e retomar as ideias e reorganiza-las. Ainda de acordo com [Moreira 2011] “vários são os fatores que influenciam a aprendizagem, mas se pudéssemos isolar um, este seria, mais do que qualquer outro, aquilo que o aprendiz já sabe”.

É importante levar em consideração que, para que a aprendizagem ocorra de forma verdadeiramente significativa, o aluno deve estar disposto a aprender. A interação do subsunçor e o conhecimento científico que a Física traz para o ensino médio, resulta numa ampliação e modificação de conhecimentos, numa aprendizagem significativa.

3 SEQUENCIA DIDÁTICA COMO ESTRATÉGIA PARA O ENSINO DE FÍSICA

O processo de ensino aprendizagem requer uma busca incessante de conhecimento, tanto para o aluno quanto para o professor. O professor de física precisa se dispor a novas transformações em seu processo de ensinar, e para ensinar ele também precisa estar em constante aprendizado, e reflexão sobre como e onde melhorar seu trabalho.

O ensino de física pode se tornar menos complexo para o aluno, e uma boa estratégia é a construção de uma sequência didática. A sequência didática entra na vida do professor de física, como uma ferramenta capaz de modificar o jeito de ensinar e aprender, pois a SD é uma forma organizada de alcançar objetivos propostos em sala de aula. Segundo [Zabala 1998]:

A sequência didática é a forma de encadear e articular as diferentes atividades ao longo de uma unidade de ensino Os grandes propósitos estabelecidos nos objetivos educacionais são imprescindíveis e também úteis para realizar a análise global do processo educacional ao longo de toda uma série e, sem dúvida, durante todo um ciclo ou uma etapa.

É importante ressaltar que, cada professor deve levar em consideração a realidade da sala de aula, seu espaço para desenvolver as atividades e experimentações de Física, podendo adaptar sua sequência didática. Uma sequência didática, quando bem estruturada e planejada alcança os objetivos propostos na construção do conhecimento. Em especial nas aulas de Física, a sequência didática é uma estratégia com grande potencial.

4 ABORDANDO O EFEITO FOTOELÉTRICO

Para uma maior compreensão do Efeito Fotoelétrico, é preciso lembrar que o conceito de dualidade onda partícula deve estar claro na mente do aluno, pois para o estudo do efeito fotoelétrico a luz se comporta como partícula e não como onda.

4.1 DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

Por muito tempo a teoria acerca da natureza da luz foi indagada e não respondida, onde Christiaan Huygens propôs que a luz consistia em ondas, e Isaac Newton propôs a teoria que, a luz consistia em partículas, essas duas teorias concorrentes descreviam o comportamento da luz e de acordo com [Yamamoto 2018] “àquela época não se poderia imaginar que, em certo sentido, ambas as interpretações estavam corretas, uma vez que a matéria e energia eram consideradas entidades de natureza distintas, quase antagônica”.

Ondas e partículas, ambas têm características diferenciadas entre si. Em 1801, Thomas Young, em seu experimento da “fenda dupla”, parecia comprovar que a luz era uma onda. Essa ideia foi reforçada por Maxwell em 1862, onde previa que a luz transportava de energia.

Contudo, Albert Einstein, em um artigo publicado em 1905, desafiou a teoria ondulatória, segundo [Hewitt 2002], para Einstein “a luz interage com a matéria não como ondas contínuas, como Maxwell havia visualizado, mas como minúsculos pacotes de energia, que nós agora chamamos de fótons”.

Essa descoberta mostrou que a natureza da luz tem suas particularidades, podendo se comportar como ondas luminosas ou partículas, dependendo de cada experimento a ser estudado, esses comportamentos nunca estarão juntos.

4.2 CONTEXTO HISTÓRICO DO EFEITO FOTOELÉTRICO

Na tentativa de demonstrar as ondas eletromagnéticas previstas por Maxwell, o físico Heinrich Rudolf Hertz, pôde observar, depois de vários experimentos que ao incidir luz sobre certas superfícies metálicas ocorria e emissão de elétrons da mesma, onde de acordo com [Peruzzo 2014] “A produção de centelhas entre dois eletrodos era facilitada quando sobre eles incidia luz”, mas tarde esse fenômeno ficou conhecido como Efeito Fotoelétrico.

Phillips Lenard, ex assistente de Hertz, ao realizar suas análises, segundo [Melo 2019] e [Peruzzo 2014], utilizando equipamentos experimentais, percebeu que partículas negativas eram emitidas, somente em algumas frequências de luz, e número de elétrons arrancados do metal dependiam da intensidade da luz nessas frequências. Lenard concluiu ainda que, não havia uma relação de dependência entre a intensidade da luz e a energia dos elétrons emitidos.

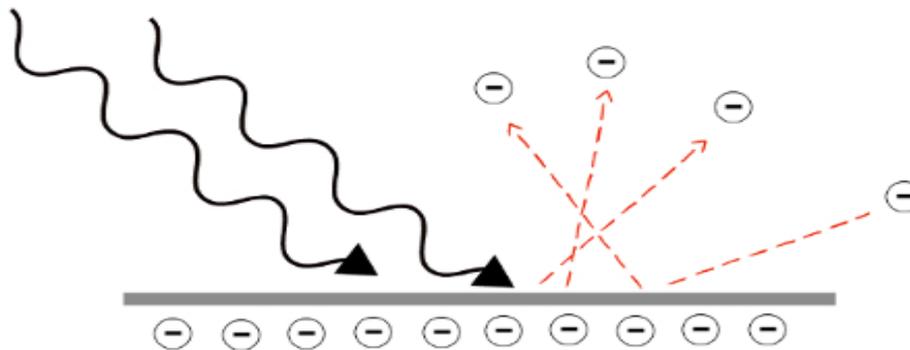
Em 1905, Albert Einstein, publicou quatro artigos que causaram uma transformação de conhecimentos no pensamento científico do século XX, um deles intitulado “Um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz”, propondo a teoria de Efeito Fotoelétrico. Dos estudos voltados ao comportamento da luz, Einstein conseguiu explicar o Efeito Fotoelétrico de forma mais sucinta, recebendo então em 1921 o Prêmio Nobel de Física referente a esse trabalho.

Foi retornando a hipótese de Planck, e adaptando-a à luz, que Einstein pode ir além. Inicialmente Planck, limitando-se ao conceito de quantização de energia dos elétrons nas paredes da cavidade do corpo negro, acreditava que quando irradiada a energia eletromagnética, essa se espalharia ao espaço. Com tudo, Einstein considerou que a energia radiante é quantizada em pequenos pacotes, chamados de fótons [Gomes 2011].

4.3 O EFEITO FOTOELÉTRICO E SUAS APLICAÇÕES

O Efeito Fotoelétrico é um fenômeno que ocorre quando materiais geralmente metálicos são expostos à radiação eletromagnética de alta frequência a ponto de emitirem elétrons. A figura 1 mostra uma radiação eletromagnética incidindo com uma certa frequência f na superfície metálica emissora eletrizada negativamente.

Figura 1: observação do Efeito Fotoelétrico



Fonte: brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-efeito-fotoeletrico.htm (2022)

Para esse fenômeno quântico, a luz se comporta como partícula, e transfere energia para os elétrons a ponto de serem ejetados do metal. De acordo com [Carron 2006], “a energia chega aos elétrons do metal em pacotes, cada pacote é um *quantum* de energia, ou seja, carrega uma quantidade bem definida de energia”. O fóton é um corpúsculo ou partícula de luz carregado de energia. A energia E do fóton está relacionado com a sua frequência f , pela equação

$$E = hf$$

Onde temos, h a constante de Planck, cujo valor é $6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s.

A energia que o elétron recebe do fóton, precisa ter um valor mínimo para que possa ser ejetado da superfície do material, essa energia mínima é chamada de função trabalho Φ , e seu valor depende do tipo de cada metal.

Sendo a energia E do fóton igual ou maior que a função trabalho Φ , a energia cinética máxima do elétron ejetado será dada pela equação do Efeito Fotoelétrico

$$E_{cmax} = hf - \Phi$$

A descoberta do efeito fotoelétrico permitiu uma maior compreensão da natureza da luz. E com o avanço da tecnologia, a sociedade vem se beneficiando cada vez mais com essas inovações, tornando-se importante à vida das pessoas, contribuindo na indústria e no cotidiano.

Das várias aplicações do Efeito Fotoelétrico podemos citar: Os sensores que tem como base a incidência da luz. Esses sensores são fundamentais para o funcionamento de diversos dispositivos eletrônicos como:

- A porta automática
- A iluminação externa
- Sensor de aproximação
- Visão noturna
- Cinema falado
- Sistemas de alarme
- Câmera fotográfica que contém elementos fotossensíveis.

As diversas aplicações do Efeito Fotoelétrico presentes no dia a dia, gera um ganho de conhecimento que envolve ciência e tecnologia, além de proporcionar melhores condições de vida para a sociedade, também permite a compreensão de um fator importantíssimo que é a luz.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Novas metodologias contribuem para que o ensino de física seja diferenciado, os alunos precisam ser estimulados à compreensão da natureza que os cercam. Os professores devem estar dispostos a novas mudanças e adaptando esses conteúdos de acordo com a realidade do público alvo.

A aplicação de uma sequência Didática como estratégia para o ensino de física moderna, é uma ferramenta capaz de transformar a aprendizagem. O tema Efeito Fotoelétrico, que está presente no cotidiano tanto do professor como do aluno, é um conhecimento que engrandece a capacidade do ser humano em contribuir para a construção da sociedade.

Cada etapa a ser trabalhada na SD, deve facilitar a compreensão dos discentes. Utilizar a tecnologia disponível favorece um melhor atividade e interação dos alunos. Com tudo, é importante que esses alunos estejam dispostos a adquirir novos conhecimentos.

6 REFERÊNCIAS

CARRON, W. GUIMARÃES, O. As faces da física. Vol. Único / Wilson Carron, Osvaldo Guimarães. 3 ed. São Paulo. 2006.

GOMES, V. C. Uso de simulações computacionais do efeito fotoelétrico no ensino médio/ Valdelenes Caralho Gomes. 2011.

HEWITT, P. G. Física conceitual/Paul G Hewitt; tradução Trieste Freire Ricci; Maria Helena Gravina. -9, ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

MELO, M. W. A. ARAÚJO, R. S. SOUSA, D. F. M. SILVA, R. A. M. Determinação da constante de Planck por meio do Efeito Fotoelétrico. Congresso nacional de pesquisa e ensino em ciências CONAPESC. 2019.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares / Marco Antonio Moreira. São Paulo. 2011.

PERUZZO, J. Física Quântica: Conceitos e Aplicações / Jucimar Peruzzo. Irani (SC): 2014.

YAMAMOTO, K. FUKE, L. F. Física para o ensino médio. vol. 3. Eletricidade/física moderna / Kazuhito Yamamoto, Luís Felipe Fuke. 4.ed. São Paulo. 2016

ZABALA, A. V. La Práctica educativa. Como ensinar. 4ª ed: Espanha, 1998.

APÊNDICE A - Questionário final

1) (UFRN–2008) - Quando há incidência de radiação eletromagnética sobre uma superfície metálica, elétrons podem ser arrancados dessa superfície e eventualmente produzir uma corrente elétrica. Esse fenômeno pode ser aplicado na construção de dispositivos eletrônicos, tais como os que servem para abrir e fechar portas automáticas. Ao interagir com a superfície metálica, a radiação eletromagnética incidente se comporta como

- A) onda, e o fenômeno descrito é chamado de efeito fotoelétrico.
- B) partícula, e o fenômeno descrito é chamado de efeito fotoelétrico.
- C) partícula, e o fenômeno descrito é chamado de efeito termiônico.
- D) onda, e o fenômeno descrito é chamado de efeito termiônico.

2) (ENEM) - O efeito fotoelétrico contrariou as previsões teóricas da física clássica porque mostrou que a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:

- A) exclusivamente da amplitude da radiação incidente.
- B) do comprimento de onda da radiação incidente.
- C) da amplitude da onda da radiação incidente.
- D) da frequência e não da amplitude da radiação incidente.
- E) nenhuma das anteriores

3) (URCA). Buscando estudar a geração e detecção de ondas eletromagnéticas, o físico alemão Heinrich Hertz (1857 – 1894) notou que o brilho provocado por faíscas do transmissor que emitiam estas ondas melhorava o desempenho do detector.

Em seguida concluiu que este brilho se dava pelas radiações ultravioletas emitidas por essas faíscas ao que se designou por efeito fotoelétrico, sobre este fenômeno somente uma alternativa está incorreta:

- A). Para certa frequência, o número de elétrons emitido por uma placa metálica iluminada é proporcional à intensidade de luz incidente na placa;
- B) A energia cinética dos elétrons emitidos pela placa é proporcional à frequência da radiação incidente e não depende da intensidade dessa radiação;
- C) O efeito fotoelétrico foi explicado pelo físico Albert Einstein dentro da teoria ondulatória da luz, não estando associado a teoria dos quanta de luz.
- D). Um fóton ao penetrar dentro de uma superfície metálica, atinge um elétron e transfere a esse elétron toda a sua energia e se esta energia for suficiente, o elétron abandona o metal, caso não permanece preso a sua estrutura.
- E). Para física atual um feixe de luz pode se comportar como um feixe de partículas, ou seja, um feixe de fótons.

4) IESDE 2015 - Albert Einstein publicou em 1905 uma série de trabalhos científicos revolucionários, entre os quais tratou do efeito fotoelétrico, que tem importantes aplicações no cotidiano, como em células fotovoltaicas, sensores, etc.

A respeito do efeito fotoelétrico, analise as afirmativas a seguir:

I. Quando uma radiação eletromagnética atinge a superfície de uma placa metálica, verifica-se a emissão de elétrons. Esse fenômeno é conhecido como efeito fotoelétrico.

II. Para explicar o efeito fotoelétrico, Einstein propôs que a radiação incidente deveria ter características ondulatórias.

III. A energia transportada pelos fótons da radiação incidente é diretamente proporcional à amplitude da onda.

Está (ão) correta (s) apenas:

a) I e III. b) II e III. c) I e II. d) I. e) III.

5) (UFPE–2007) - O efeito fotoelétrico, explicado por Albert Einstein em 1905, constitui um dos marcos iniciais no desenvolvimento da Física Quântica. Assinale, dentre as alternativas a seguir, a ÚNICA característica observada no efeito fotoelétrico que está de acordo com a previsão da Física Clássica, quando fotoelétrons são emitidos a partir do cátodo.

A) A existência de uma frequência de corte da radiação incidente.

B) O crescimento da corrente fotoelétrica com a frequência da radiação incidente.

C) A ausência de intervalo de tempo apreciável entre a incidência de radiação no cátodo e o estabelecimento da corrente fotoelétrica.

D) O crescimento da corrente fotoelétrica com a intensidade da radiação incidente.

E) A dependência da energia cinética dos fotoelétrons com a frequência da radiação incidente.

ANEXO A – RECORTE DE TEXTO- A DUALIDADE ONDA PARTÍCULA



Na física clássica é comum pensar que a maioria dos objetos se encaixa em uma de duas categorias: **partículas** ou **ondas**.

A diferença fundamental entre as duas é que uma onda não carrega matéria com ela. As ondas apenas se movem através da matéria, propagando energia e informação.

A luz é uma onda ou uma partícula?

No final do século XVII e início do século XVIII existia um debate muito forte acerca da natureza da luz. Algumas pessoas defendiam que ela era uma partícula enquanto outras pessoas defendiam que ela era uma onda.

Essa disputa foi resolvida pelo físico britânico Thomas Young, em 1801. Ele criou um experimento que seria capaz de diferenciar partículas e luz, o [famoso experimento da fenda dupla](#). Esse experimento encerrou um debate que durava quase um século ao conseguir confirmar que a luz era uma **onda**.

Mas nem toda (na verdade, quase nenhuma) descoberta ou conceito científico dura para sempre. Menos de um século depois do famoso experimento da fenda dupla realizado por Young, outros dois problemas estavam indo de encontro ao que achávamos que sabíamos sobre o Universo: o [Efeito Fotoelétrico](#) e a [Catástrofe Ultravioleta](#).

A luz não é mais uma onda

Nesses dois experimentos independentes a mesma solução foi proposta: **a luz deveria se comportar como partícula**. Isso ia de encontro com séculos de debate acerca da natureza da luz, que deveria estar finalizado desde o experimento da fenda dupla de Young. Esse foi o primeiro indício forte de uma dualidade partícula-onda na física.

Agora até as partículas são ondas

Passado algum tempo – em 1924, para ser exato – um físico Francês chamado Louis de Broglie sugeriu algo ainda mais ousado: não só a luz tem comportamento *dual* (de onda e de partícula), como também **partículas apresentam comportamento dual**.

Isso foi um grande choque, porque não só os fótons, como também *todas as partículas* como eu, você, átomos, elétrons e pedras possuíam comportamento *dual*.

Essa proposta ousada foi mais tarde testada nas escalas de tamanho da física quântica usando elétrons. Curiosamente, o experimento que comprovou que os elétrons tem característica *dual* era bastante parecido com o experimento de Young, que provou que a luz é uma onda.

Hoje nós sabemos que a matéria tem característica *dual* por causa da **dualidade onda-partícula**. Mas esse desenvolvimento teórico e experimental [foi](#) se acumulando ao longo de séculos de debate acerca da natureza da nossa própria realidade.

Se você quiser entender mais sobre a dualidade onda-partícula e por que precisamos tanto dela, o *Ciência Todo Dia* fez um vídeo bastante interessante sobre o assunto:

Fonte: <https://universoracionalista.org/a-dualidade-onda-particula/> (acesso: 2021)

ANEXO B – RECORTE DE TEXTO - EFEITO FOTOELÉTRICO

Efeito Fotoelétrico (I)

Borges e Nicolau

Ao entardecer as lâmpadas de iluminação das ruas acendem-se automaticamente. Ao clarear do dia, apagam-se. Uma porta se abre quando uma pessoa dela se aproxima. Uma campainha é ativada quando um cliente passa pela porta de uma loja, avisando da sua chegada. Holofotes acendem-se na passagem de uma pessoa em suas imediações. Todas essas aplicações tecnológicas descritas são explicadas pelo efeito fotoelétrico. Mas no que consiste este efeito? Quem o descobriu? Quem o explicou?

Radiação eletromagnética, como a luz, por exemplo, incidindo na superfície de um metal pode extrair elétrons dessa superfície. Este fenômeno é denominado **efeito fotoelétrico** e foi descoberto em 1887 pelo cientista alemão Heinrich Hertz (1857-1894).

No ano de 1900, o físico alemão Max Planck (1858-1947) apresentou à Sociedade alemã de Física um artigo que introduzia a idéia de quantização de energia, segundo a qual um corpo aquecido não emite energia de modo contínuo. A explicação do efeito fotoelétrico foi feita, em 1905, pelo físico alemão Albert Einstein (1879-1955) utilizando o conceito de quantização.

Einstein considerou a luz ou qualquer outra radiação eletromagnética não uma onda mas composta de "partículas" de energia denominada fótons. A energia de um fóton é denominada quantum. Um quantum de energia E de uma radiação eletromagnética de frequência f é dada pela equação de Planck:

$$E = h.f$$

A constante h é denominada **constante de Planck**, sendo no Sistema Internacional igual a $6,63.10^{-34}$ J.s.

Sendo $1 \text{ eV} = 1,6.10^{-19}$ J, a constante de Planck pode ser expressa por $4,14.10^{-15}$ eV.s.

Um fóton de radiação eletromagnética ao atingir o metal é completamente absorvido por um único elétron que com esta energia adicional pode escapar do metal, gerando uma corrente elétrica. Os elétrons emitidos são denominados **fotoelétrons**. O efeito fotoelétrico resulta da colisão entre duas "partículas", o fóton e o elétron.

A quantidade mínima de energia Φ que um elétron necessita receber para ser extraído do metal é denominada **função trabalho**, que é uma característica do metal.

Metal	Φ
Sódio	2,28 eV
Alumínio	4,08 eV
Zinco	4,31 eV
Ferro	4,50 eV
Prata	4,73 eV

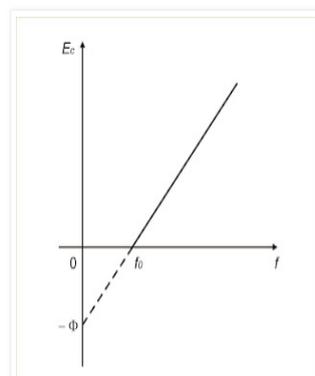
Um elétron recebe a energia $E = h \cdot f$ do fóton incidente. Para ser extraído esta energia deve superar a função trabalho Φ , isto é $h.f \geq \Phi$. A diferença $h.f - \Phi$ é a energia cinética E_c que o elétron adquire. Esta energia cinética é máxima pois Φ é a energia mínima. Assim, temos a chamada equação fotoelétrica de Einstein:

$$E_c = hf - \Phi$$

De $h.f \geq \Phi$, resulta: $f \geq \Phi/h$. O valor mínimo de f a partir do qual os elétrons são extraídos é dado por $f_0 = \Phi/h$ e corresponde a $E_c = 0$.

A frequência f_0 é chamada **frequência de corte**.

O gráfico de E_c em função de f é mostrado abaixo. Note que o coeficiente angular da reta é a constante de Planck.



Propriedades importantes:

- Aumentando-se a intensidade da radiação incidente, isto é, aumentando-se o número de fótons incidentes, aumenta o número de elétrons emitidos sem alterar a energia cinética máxima deles.
- Para um dado metal, aumentando-se a frequência da radiação incidente, a partir de f_0 , aumenta a energia cinética máxima dos fotoelétrons emitidos.
- Abaixo de f_0 não há emissão de elétrons, independentemente da intensidade da radiação incidente.

Células fotoelétricas

Uma célula fotoelétrica é constituída de um catodo (c) e de um anodo (a) metálicos no interior de uma ampola de vidro na qual foi feito vácuo. Reveste-se a superfície côncava do catodo por uma fina camada de metal alcalino. Quando a luz atravessa a janela e incide na superfície do catodo, libera elétrons que são atraídos pelo anodo. O circuito se fecha e o amperímetro indica a passagem de corrente. Assim, um raio de luz incidindo na janela age como uma chave elétrica que fecha o circuito. Ao se bloquear a incidência da luz, cessa a passagem de corrente elétrica, como se uma chave abrisse o circuito. Atualmente são usados sistemas mais simples e mais eficazes, com o mesmo princípio de funcionamento, chamados **fotossensores**.

Fonte: http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2019/11/cursos-do-blog-eletricidade_13.html (acesso: 2021)

APÊNDICE B - Termo de consentimento

Termo de consentimento

Destinado aos pais ou responsáveis dos alunos

Eu, _____, responsável do (a) aluno (a) _____, autorizo o (a) mesmo (a) a participar das aulas na disciplina de Física destinadas à pesquisa da mestranda Ariane da Silva Gonçalves.

Assinatura do responsável: _____

APÊNDICE C - Questionário 1

Responda:

1). Tente explique com suas próprias palavras como funciona o sistema da porta automática da sua escola, na qual permite ela abrir e fechar sem você precisar toca-la.

R= _____

2) De acordo com seu conhecimento explique como o sistema de iluminação dos postes nas ruas públicas podem se apagar e se acender sozinhos.

R= _____

3). Quais os tipos de ondas eletromagnéticas que você conhece?

R= _____

4) O que você entende sobre frequência de onda?

R= _____

5). Você conhece os tipos de comportamentos da luz?

R= _____

6) O que são fótons?

R= _____

7) já ouviu falar sobre o Efeito Fotoelétrico? Se sua resposta for “sim” resuma o que é. Se sua resposta for “não” comente o que você acha que é.

R= _____

APÊNDICE D - Exercício de análise do aplicativo computacional (PHET) para o Efeito Fotoelétrico

1). Escolha um dos 6 elementos para compor a placa coletora, mantenha um determinado valor de intensidade da luz, e descreva o que ocorre quando alteramos o comprimento de onda da luz?

2). Mantenha fixo um comprimento de onda da sua escolha, onde os elétrons estarão passando da placa emissora para a placa coletora. O que você pode observar se alterar a intensidade da luz para diferentes valores?

3). O que ocorre quando fixamos um comprimento de onda e mudamos os valores de tensão? Os elétrons devem estar sendo ejetados.

4). Tente identificar valor limite de tensão onde os elétrons conseguem atravessar de uma placa para outra (potencial de corte). Mantenha fixo um comprimento de onda.

5). É possível identificar o comportamento corpuscular da luz no experimento? Justifique.

APÊNDICE E - Questionário final

1) (UFRN–2008) - Quando há incidência de radiação eletromagnética sobre uma superfície metálica, elétrons podem ser arrancados dessa superfície e eventualmente produzir uma corrente elétrica. Esse fenômeno pode ser aplicado na construção de dispositivos eletrônicos, tais como os que servem para abrir e fechar portas automáticas. Ao interagir com a superfície metálica, a radiação eletromagnética incidente se comporta como

- A) onda, e o fenômeno descrito é chamado de efeito fotoelétrico.
- B) partícula, e o fenômeno descrito é chamado de efeito fotoelétrico.
- C) partícula, e o fenômeno descrito é chamado de efeito termiônico.
- D) onda, e o fenômeno descrito é chamado de efeito termiônico.

2) (ENEM) - O efeito fotoelétrico contrariou as previsões teóricas da física clássica porque mostrou que a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:

- A) exclusivamente da amplitude da radiação incidente.
- B) do comprimento de onda da radiação incidente.
- C) da amplitude da onda da radiação incidente.
- D) da frequência e não da amplitude da radiação incidente.
- E) nenhuma das anteriores

3) (URCA). Buscando estudar a geração e detecção de ondas eletromagnéticas, o físico alemão Heinrich Hertz (1857 – 1894) notou que o brilho provocado por faíscas do transmissor que emitiam estas ondas melhorava o desempenho do detector.

Em seguida concluiu que este brilho se dava pelas radiações ultravioletas emitidas por essas faíscas ao que se designou por efeito fotoelétrico, sobre este fenômeno somente uma alternativa está incorreta:

- A). Para certa frequência, o número de elétrons emitido por uma placa metálica iluminada é proporcional à intensidade de luz incidente na placa;
- B) A energia cinética dos elétrons emitidos pela placa é proporcional à frequência da radiação incidente e não depende da intensidade dessa radiação;
- C) O efeito fotoelétrico foi explicado pelo físico Albert Einstein dentro da teoria ondulatória da luz, não estando associado a teoria dos quanta de luz.
- D). Um fóton ao penetrar dentro de uma superfície metálica, atinge um elétron e transfere a esse elétron toda a sua energia e se esta energia for suficiente, o elétron abandona o metal, caso não permanece preso a sua estrutura.

E). Para física atual um feixe de luz pode se comportar como um feixe de partículas, ou seja, um feixe de fótons.

4) IESDE 2015 - Albert Einstein publicou em 1905 uma série de trabalhos científicos revolucionários, entre os quais tratou do efeito fotoelétrico, que tem importantes aplicações no cotidiano, como em células fotovoltaicas, sensores, etc.

A respeito do efeito fotoelétrico, analise as afirmativas a seguir:

I. Quando uma radiação eletromagnética atinge a superfície de uma placa metálica, verifica-se a emissão de elétrons. Esse fenômeno é conhecido como efeito fotoelétrico.

II. Para explicar o efeito fotoelétrico, Einstein propôs que a radiação incidente deveria ter características ondulatórias.

III. A energia transportada pelos fótons da radiação incidente é diretamente proporcional à amplitude da onda.

Está (ão) correta (s) apenas:

- a) I e III.
- b) II e III.
- c) I e II.
- d) I.
- e) III.

5) (UFPE–2007) - O efeito fotoelétrico, explicado por Albert Einstein em 1905, constitui um dos marcos iniciais no desenvolvimento da Física Quântica. Assinale, dentre as alternativas a seguir, a ÚNICA característica observada no efeito fotoelétrico que está de acordo com a previsão da Física Clássica, quando fotoelétrons são emitidos a partir do cátodo.

- A) A existência de uma frequência de corte da radiação incidente.
- B) O crescimento da corrente fotoelétrica com a frequência da radiação incidente.
- C) A ausência de intervalo de tempo apreciável entre a incidência de radiação no cátodo e o estabelecimento da corrente fotoelétrica.
- D) O crescimento da corrente fotoelétrica com a intensidade da radiação incidente.
- E) A dependência da energia cinética dos fotoelétrons com a frequência da radiação incidente.

Apêndice F - Slides apresentados na aula 2

Efeito Fotoelétrico



Contexto Histórico

Objetivo da aula 2

- Reconhecer que a física faz parte da construção histórica da humanidade através do contexto histórico de “efeito fotoelétrico” e através do conceito de dualidade onda partícula compreender a natureza da luz.

A história do Efeito Fotoelétrico

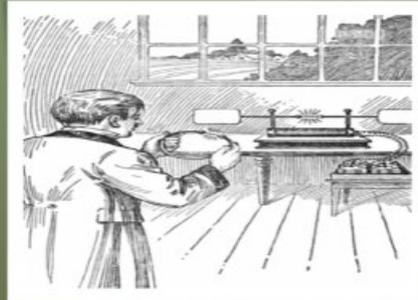
- **O Efeito Fotoelétrico** foi observado por **Heinrich Hertz**, onde em 1887 investigava a natureza eletromagnética da luz, prevista por Maxwell;



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz

A história do Efeito Fotoelétrico

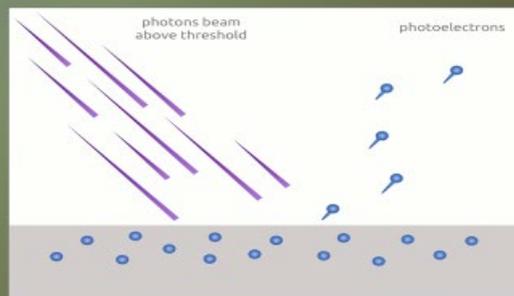
- Após uma série de experimentos, Hertz, confirmou o seu palpite de que a luz poderia gerar faíscas.



Fonte: <https://www.alamy.de/fotos-bilder/heinrich-hertz.html>

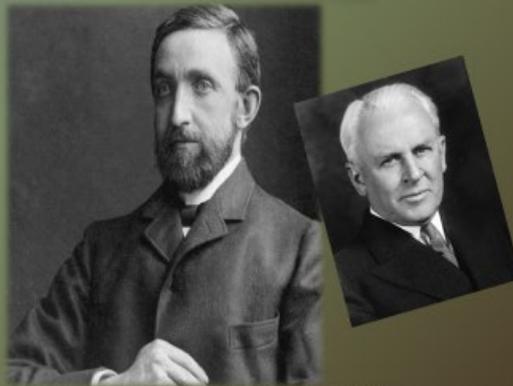
A história do Efeito Fotoelétrico

- Ele descobriu que ao irradiar luz de alta energia sobre placas metálicas, **elétrons eram ejetados**.



A história do Efeito Fotoelétrico

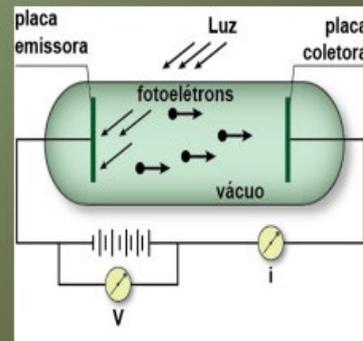
- O Efeito fotoelétrico foi estudado de forma extensiva por **Philipp Lenard**, em 1902, e por **Milikan**, de 1906 a 1916.



Fonte: <https://www.k9network.com/philip-lenard-net-worth-79410>

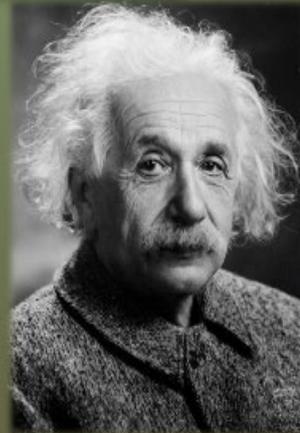
A história do Efeito Fotoelétrico

- O Efeito fotoelétrico foi estudado de forma extensiva por **Philipp Lenard**, em 1902, e por **Milikan**, de 1906 a 1916;
- Os Elétrons ejetados são chamados de **fotoelétrons**, e podem gerar uma corrente elétrica quando a placa metálica está aos terminais de uma bateria;
- Ao receber radiação, os fotoelétrons são emitidos quase que instantaneamente.

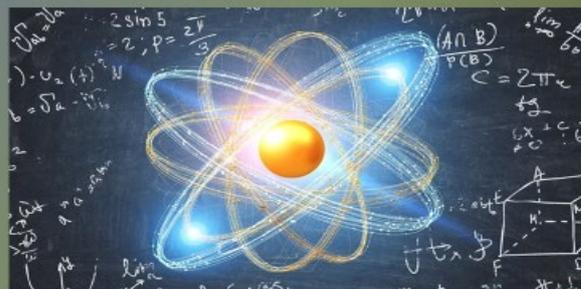


Einstein e o Efeito Fotoelétrico

- Albert Einstein desenvolveu, em 1905, uma teoria muito simples e revolucionária para explicar o efeito fotoelétrico;
- Ao invés de considerar a luz como uma onda, ele propôs que ela seja composta de corpúsculos, denominados fótons.
- Cada fóton, ou quantum de luz, transporta uma energia dada por $E=hf$, onde h é a constante de Planck, e f é a frequência da luz.
- Segundo Einstein, para que o elétron seja ejetado a energia do fóton absorvido deve ser igual ou superior a função trabalho Φ do material.

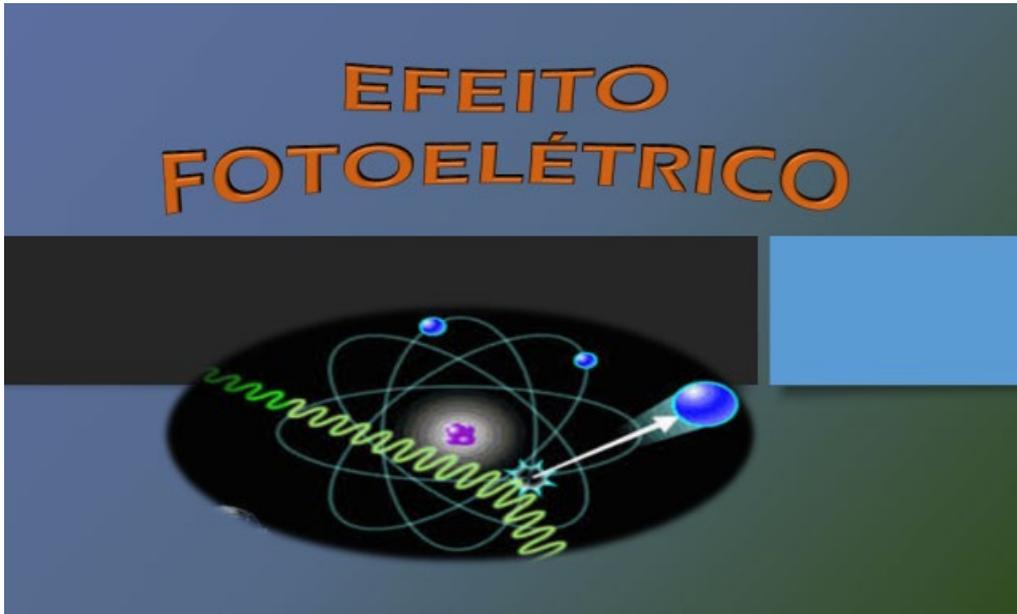


Dualidade onda partícula, vamos conhecer?



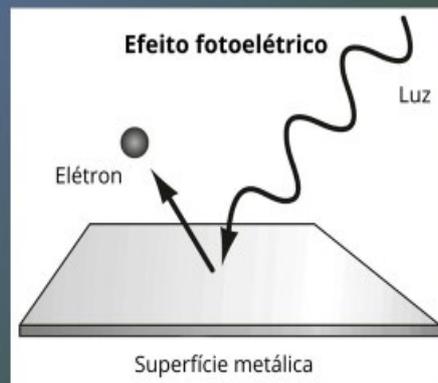
Fonte: Elaborado pela própria autora (2021).

APÊNDICE G - Slides apresentados na aula 3



Efeito Fotoelétrico

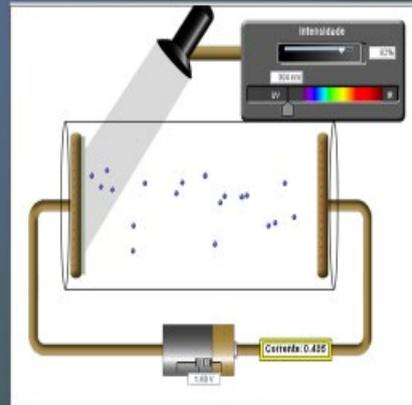
- é um fenômeno de origem quântica que consiste na emissão de elétrons por algum material que é iluminado por radiações eletromagnéticas de frequências específicas.



Características do Efeito Fotoelétrico

Principais características do Efeito Fotoelétrico

- A intensidade da corrente elétrica é proporcional à intensidade da luz;
- Quando V é positiva os elétrons são atraídos para o anodo, a corrente atinge seu valor máximo para o V em que todos os elétrons emitidos chegam ao anodo.
- Mas, ao encontro do que se esperava, não foi observado uma intensidade mínima abaixo da qual a corrente fosse nula. Uma luz muito fraca não deveria fornecer aos elétrons energia necessária para escapar da superfície do metal.



Características do Efeito Fotoelétrico

A energia E do quantum (também conhecido como *fóton*) está relacionado com a sua frequência f , pela equação $E=hf$

onde temos, h a constante de Planck.

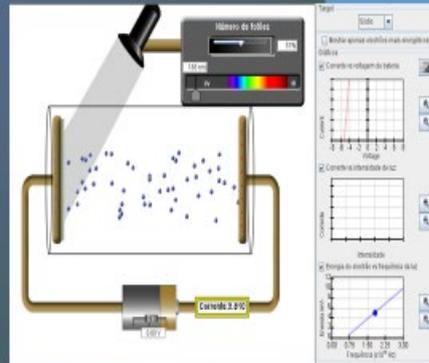
a energia cinética máxima do elétron ejetado será dada pela equação do efeito fotoelétrico

$$E_c = hf - \Phi$$

Características do Efeito Fotoelétrico

Principais características do Efeito Fotoelétrico

- Dependendo do tipo do material no catodo, há um limite de frequência f_0 , que a luz incidente deveria ter para conseguir ejetar elétrons
- Existe uma frequência de corte f_0 abaixo da qual não existe corrente elétrica apenas para frequências $f > f_0$ existe emissão de elétrons
- A frequência de corte f_0 depende do material e da configuração dos átomos da sua superfície



Características do Efeito Fotoelétrico

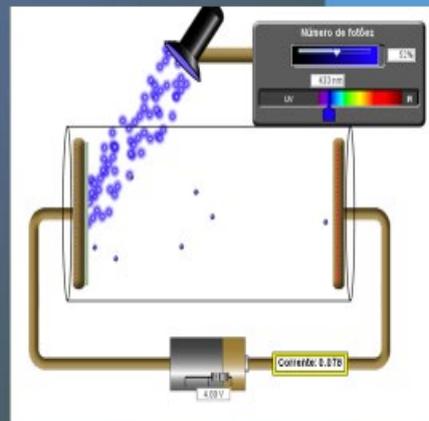
Principais características do Efeito Fotoelétrico

- Quando V é negativa os elétrons são repelidos pelo anodo, assim, os elétrons que conseguem chegar no anodo são aqueles com energia cinética

$$\frac{mv^2}{2} > eV$$

- O potencial V_0 é denominado potencial de corte e está relacionado à energia cinética máxima K_{max} dos elétrons emitidos através da equação

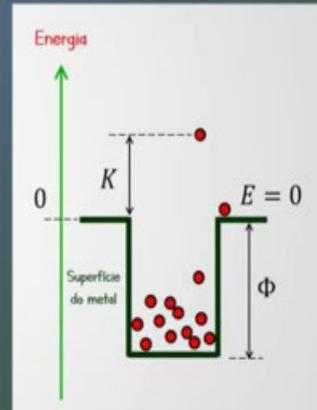
$$K_{max} = \frac{mv_{max}^2}{2} = eV_0$$



Função trabalho Φ

- Os elétrons presos na superfície do metal estão a uma espécie de **poço de potencial com energia negativa**;
- A profundidade do poço de energia é chamado de **função trabalho Φ** , esta é a energia necessária para remover um elétron da superfície do metal;
- Portanto, a relação entre o potencial de corte V_0 , a energia do fóton hf e a função trabalho Φ será

$$eV_0 = K_{max} = hf - \Phi$$



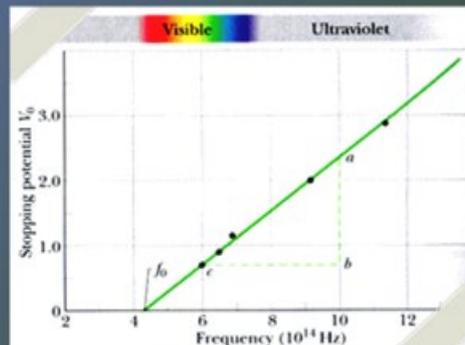
Frequência de corte

- A frequência mínima f_0 para que o efeito fotoelétrico seja absorvido pode ser obtida a partir da equação função trabalho fazendo $eV_0=0$

$$eV_0 = hf - \Phi = 0$$

$$hf = \Phi$$

$$f = \frac{\Phi}{h}$$



Vamos exercitar

Exemplo de aplicação da equação de energia

- Uma onda eletromagnética com frequência de $4,5 \cdot 10^{15}$ irá atingir uma placa metálica cuja função trabalho corresponde a 4,5eV. Qual a energia cinética do fotoelétron atingido pela onda? Sendo $h = 4,2 \cdot 10^{-15}$

Da equação do efeito fotoelétrico, temos: $E_C = h \cdot f - \Phi$

Portanto: $E_C = 4,0 \cdot 10^{-15} \cdot 4,5 \cdot 10^{15} - 4,5$

$E_C = 18 - 4,5 = 13,5 \text{ eV}$

Fonte: Elaborado pela própria autora (2021)

APÊNDICE H - Slides apresentados na aula 3

EFEITO FOTOELÉTRICO

Aplicações



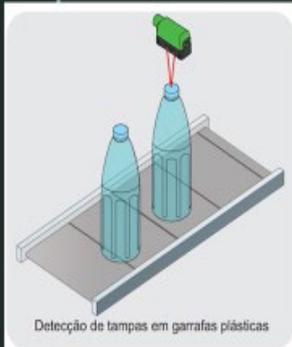
Fonte:
<https://steemit.com/life/@mobyjohn/self-bypass-key-for-success>

Aplicações na indústria e no cotidiano

- Nos dias atuais, a indústria é uma grande beneficiária da aplicação de sensores fotoelétricos;
- esses recursos tecnológicos são basicamente conhecidos como um conversor de luz, eles funcionam com base num feixe de luz incidente, possuem um emissor e receptor de luz luminosa;
- estão relacionados de três maneiras diferentes: sensor foto elétrico de barreira, retro reflexivo e difuso.

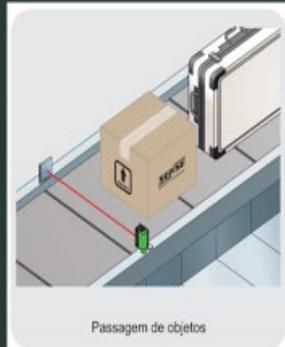
três tipos de sensores utilizados onde seu princípio de funcionamento é a propagação da luz, com base no efeito fotoelétrico.

Sensor Difuso



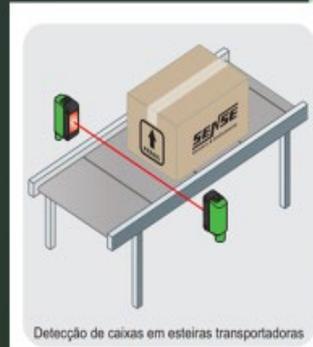
Detecção de tampas em garrafas plásticas

Sensor Refletivo ou retro reflexivo



Passagem de objetos

Barreira



Detecção de caixas em esteiras transportadoras

Fonte: https://www.blog_sense.com.br/2019/02/sensores-fotoeletricos-o-que-sao-quais.html

SISTEMAS FOTOELÉTRICOS: COMO FUNCIONAM?

- Alguns sistemas eletrônicos operam de maneira autônoma, ou seja, assim que instalados, funcionam sem o controle do homem e por isso são chamados de inteligentes.

Abaixo podemos observar dois exemplos de sistemas inteligentes:



SISTEMAS FOTOELÉTRICOS: COMO FUNCIONAM?

- A seguir podemos observar como cada um desses sistemas opera:

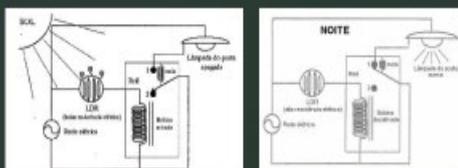


Fonte: <http://www.abnrgao.com.br/01205/parte-de-video-fm/>

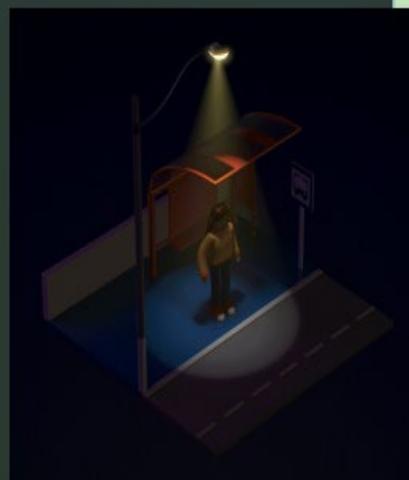
No caso da porta automática, um feixe contínuo de luz infravermelha é emitido em direção a uma placa metálica, que está ligada em um circuito, fazendo com que o sistema mantenha a porta fechada. Quando uma pessoa passa na frente do feixe bloqueando-o, o circuito para de funcionar. Isso faz com que a porta se abra.

SISTEMAS FOTOELÉTRICOS: COMO FUNCIONAM?

- A seguir podemos observar como cada um desses sistemas opera:



- O poste de iluminação possui uma placa metálica acoplada a um solenoide e um circuito elétrico ligado à rede elétrica.
- Durante o dia, a luz do sol incidindo na placa metálica faz com que o solenoide comece a gerar um campo magnético. Esse campo magnético irá atrair uma das chaves do circuito fazendo com que ele fique aberto.
- Quando anoitece, esse campo magnético cessa e a chave (puxada pela mola) retorna à posição original, fechando o circuito e acendendo a lâmpada do poste.



Fonte: <https://www.behance.net/gallery/89400548/Iluminação-Pública>

Outras aplicações do efeito fotoelétrico

Algumas tecnologias cotidianas contemporâneas funcionam a partir da interação com os fótons. Por isso, veja cinco dessas aplicações:

- **Fotocélulas:** são os dispositivos responsáveis por acender as lâmpadas automaticamente quando o ambiente fica escuro;
- **Fotômetro:** é usado por fotógrafos e cinegrafistas. Esse aparelho mede a luminosidade de um ambiente;
- **cinema:** O cinema falado só foi possível através do uso de células fotoelétricas, que permite reconstituir os sons registrados nas películas do cinematógrafo, a mesma usada também na transmissão de imagens animadas (televisão).
- **Controle Remoto Infravermelho:** os controles remotos de infravermelho, sejam de televisores, aparelhos musicais ou videogames, utilizam como base para o seu funcionamento o efeito fotoelétrico.

Para isso, eles emitem um feixe de luz de determinada frequência que aciona o dispositivo fotossensível presente nos aparelhos controlados por ele.

- **Visão noturna:** Equipamentos modernos de visão noturna são feitos com tubos intensificadores de imagem, que funcionam com base no efeito fotoelétrico.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2021)

ANEXO A - Texto de apoio Dualidade onda partícula

DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA E O EFEITO FOTOELÉTRICO

Durante o século XVII, dois grandes físicos defendiam modelos teóricos diferentes para a natureza da luz. O físico holandês Christian Huygens (1629-1695) tratava a luz como uma onda, enquanto Isaac Newton (1642-1727) a via como partícula. Hoje já se sabe que os dois cientistas estavam corretos, porque há situações em que a luz se comporta como onda e em outras, como partículas ou corpúsculos. Esse fenômeno ficou conhecido como dualidade onda partícula. A luz se propaga como uma onda e interage como partícula. Apesar da luz ter esse comportamento duplo, ela nunca apresentará ambos num mesmo experimento.

Como onda, um feixe de luz não desvia seu caminho ao se encontrar com outro feixe de luz. Ao atravessar um orifício, a luz se espalha, isto é, difrata. Ao passar por duas fendas duplas próximas uma da outra, a luz sofre interferência, o que é observado num anteparo através de franjas claras e escuras. E, finalmente, a luz apresenta cores diferentes, o que reforça a ideia de que cada cor é uma onda eletromagnética com frequência e comprimento de onda definidos.

Como partícula, um feixe de luz é capaz de transferir uma quantidade de movimento a um objeto. Outra boa evidência de que a luz se comporta como corpúsculo é observado quando uma superfície metálica, sob tensão elétrica, emite elétrons e passa a conduzir corrente elétrica, se iluminada por uma luz de alta frequência. Este último fenômeno ficou conhecido como efeito fotoelétrico. Vamos entendê-lo melhor!

Fonte: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/431224/2/Estudando/efeito0/fotoelétrico.pdf> (2017).

ANEXO B - Texto de apoio Efeito Fotoelétrico

O EFEITO FOTOELÉTRICO NO COTIDIANO

“Já se perguntou como ocorre o funcionamento das portas de shoppings que se abrem sozinhas? Como um sistema de iluminação pode acender e apagar sozinho? Ou mesmo como sistemas de alarme ligam e desligam automaticamente? Perguntas como essas são respondidas e explicadas através do efeito fotoelétrico”.

“Do ponto de vista tecnológico, o efeito fotoelétrico é empregado em visores noturnos (sensíveis à radiação infravermelha), fotômetros, dispositivos para aberturas de portas e outros”. “Graças ao efeito fotoelétrico tornou-se possível o cinema falado, assim como a transmissão de imagens animadas (televisão). O emprego de aparelhos fotoelétricos permitiu construir maquinaria capaz de produzir peças sem intervenção alguma do homem. Os aparelhos cujo funcionamento assenta no aproveitamento do efeito fotoelétrico controlam o tamanho das peças melhor do que o pode fazer qualquer operário”.

“A descoberta do efeito fotoelétrico teve grande importância para a compreensão mais profunda da natureza da luz. Porém, o valor da ciência consiste não só em esclarecer-nos a estrutura complexa do mundo que nos rodeia, como em fornecer-nos os meios que permitem aperfeiçoar a produção e melhorar as condições de trabalho e de vida da sociedade”.

Fonte: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/431224/2/Estudando/efeito0/fotoelétrico.pdf> (2017).

ANEXO C - Tutorial do simulador computacional (PHET) - Efeito fotoelétrico

Tutorial PHET - Efeito fotoelétrico

O que esta simulação nos permite?

A seguir está ilustrada a tela que encontramos ao abrir a simulação

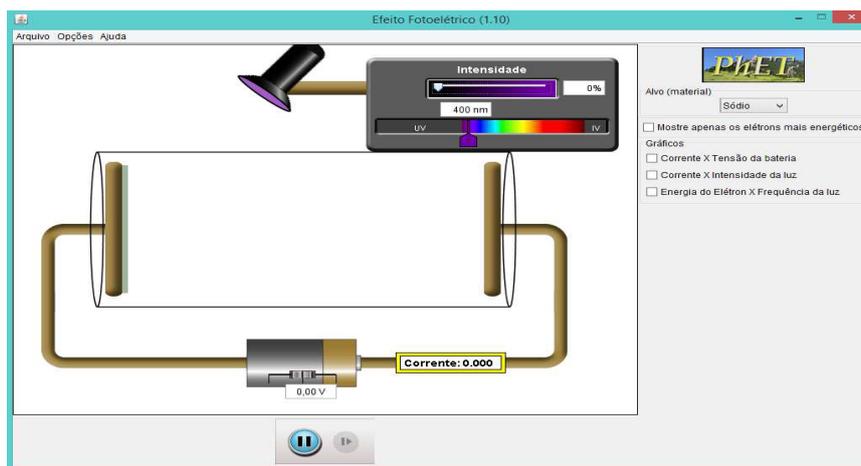


Figura 01- Tela inicial simulação Efeito Fotoelétrico

Aqui será possível escolher a intensidade da luz, o comprimento de onda, a tensão elétrica entre as placas e o material da placa que irá sofrer o efeito fotoelétrico. Também é possível ilustrar o efeito simultaneamente com os seguintes gráficos: corrente x tensão da bateria, corrente x intensidade da luz e energia do elétron x frequência da luz.

1 – Alterando a intensidade da luz

Neste menu podemos variar a intensidade da luz de 0% até 100%.

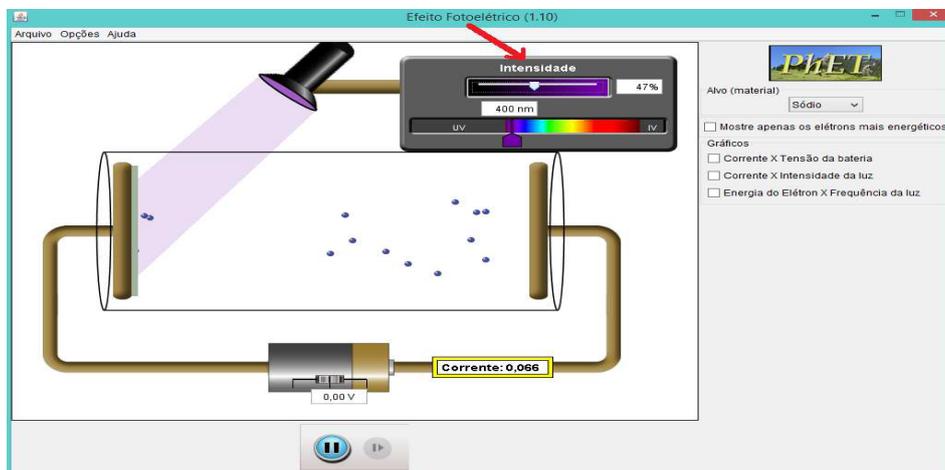


Figura 02 – Menu de alteração da intensidade da luz

O controle de intensidade da luz encontra-se na parte superior da simulação, indicado aqui na figura pela seta vermelha. A escolha da intensidade da luz pode ser feita de duas formas a primeira delas seria deslizando o “botão” que se encontra abaixo da palavra intensidade e a outra forma seria clicando sobre o valor do percentual de intensidade que se encontra do lado direito e selecionando este valor pelo teclado numérico do computador.

2 – Selecionando o comprimento de onda desejado

Nesta simulação não é possível escolher diretamente a frequência desejada, mas é possível selecionar o comprimento de onda. Como o comprimento de onda é inversamente proporcional a frequência, indiretamente podemos selecionar a frequência a partir do comprimento de onda. Aqui nos é permitido escolher valores de comprimento de onda que vão desde 850nm (infravermelho) até 100 nm (ultravioleta).

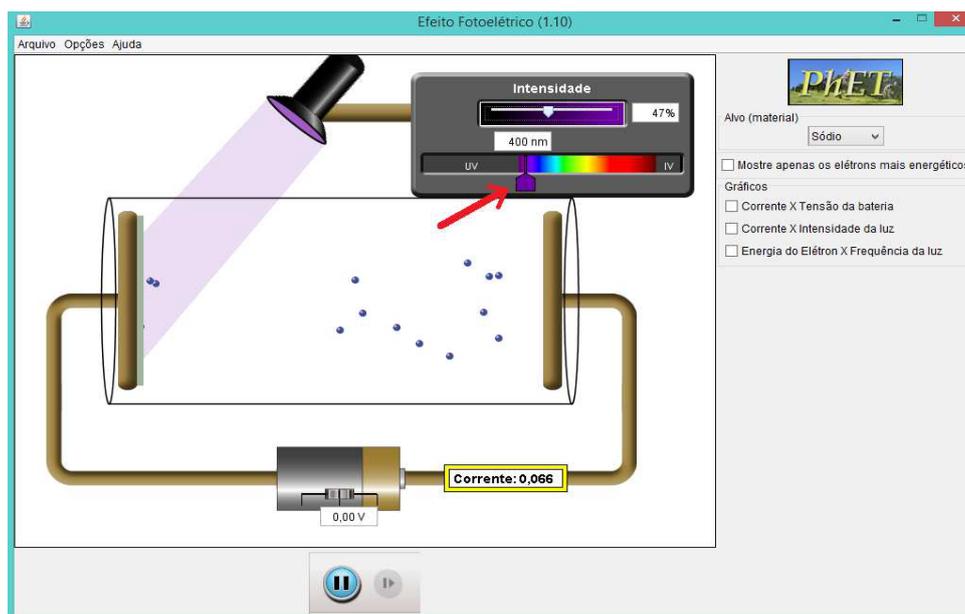


Figura 03 - Menu de alteração do comprimento de onda

A seleção do comprimento de onda pode ser feita no menu que se encontra abaixo do seletor de intensidade, na figura indicamos pela seta vermelha. Assim como no controle de intensidade, o comprimento de onda pode ser escolhido deslizando o “botão” ou selecionando o valor numérico de comprimento de onda.

Um fato que deve ser destacado para os alunos quando estamos alterando o comprimento de onda é que quando selecionamos um valor que está compreendido na faixa do infravermelho ou do ultravioleta, o programa apresenta a “luz” emitida pela

luminária na cor cinza, o que pode levar a um falso entendimento, visto que estas faixas não são captadas pelo olho humano logo não apresentam cores.

3 – A seleção de um valor para a tensão da bateria

Na parte inferior da tela encontramos a ilustração de uma pilha ligada ao circuito, nela podemos escolher a tensão que será aplicada as placas, inicialmente ela se apresenta em 0V.

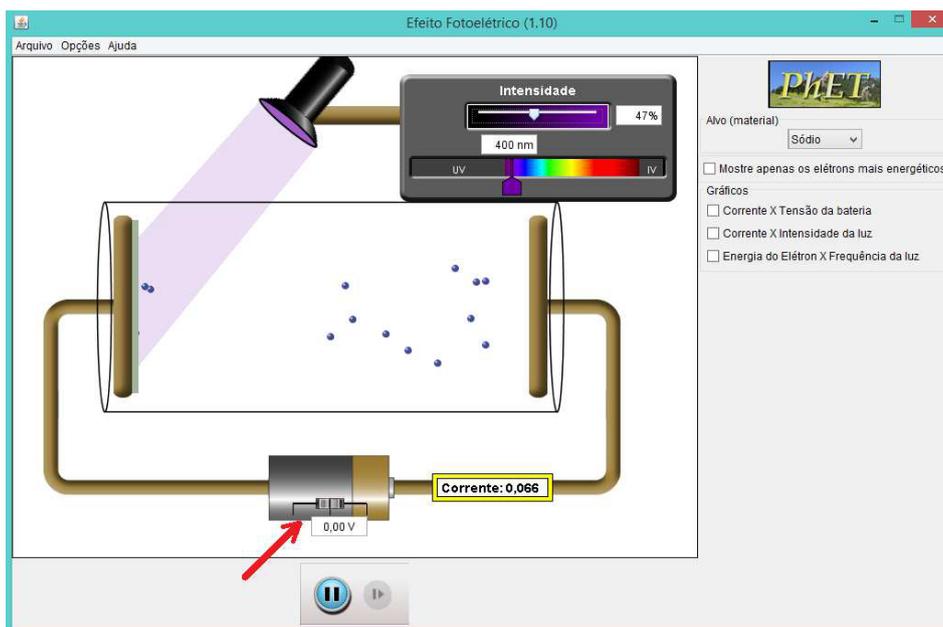


Figura 04 - Menu de alteração da tensão da fonte.

Assim como na seleção da intensidade e do comprimento de onda, o valor da tensão também pode ser escolhido deslizando o botão ou fazendo a escolha pelo teclado numérico. Destacamos aqui que caso seja utilizado o teclado numérico neste menu, não deve ser utilizada a virgula em valores decimais e sim o ponto, caso seja feito uso da virgula o programa apresentara uma caixa de erro.

4 – A escolha do material que sofrerá o efeito fotoelétrico

O programa apresenta como opções seis materiais diferentes sendo eles: sódio, zinco, cobre, platina, cálcio e magnésio.

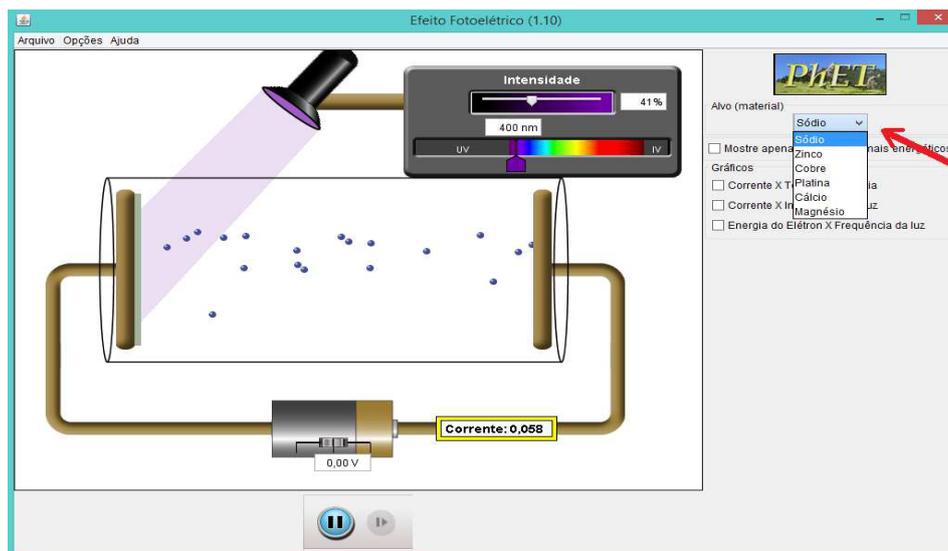


Figura 05 - Menu de alteração do material

A escolha do material pode ser feita no canto direito superior da tela, na caixa que se encontra abaixo do logotipo do Phet. Inicialmente o material que já vem predeterminado é o sódio, para a escolha de outro material basta clicar sobre a caixa e fazer a seleção.

5 – Gráficos Corrente x Tensão da Bateria, Corrente x Intensidade da Luz e Energia do Elétron x Frequência da Luz

Para fazer uso dos gráficos basta fazer a seleção nas opções que se encontram na parte direita da tela. A seleção pode ser feita de acordo com o interesse do usuário, podendo ser apenas um ou mais de um ao mesmo tempo.

A figura a seguir apresenta os gráficos da Corrente x Intensidade da Luz e Energia do Elétron x Frequência da Luz.

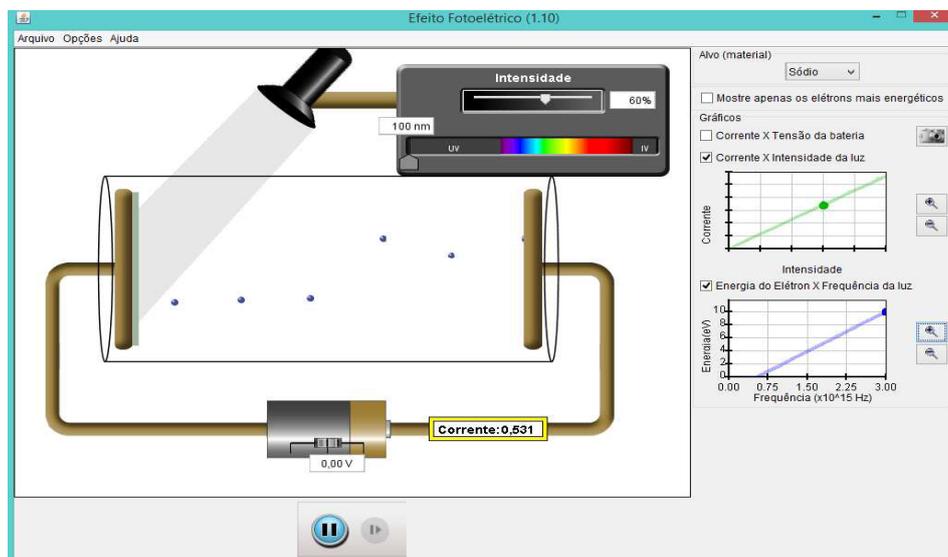


Figura 06 - Plotagem de gráficos do efeito fotoelétrico

Note que o gráfico da Energia do Elétron x Frequência da Luz pode ser uma boa ferramenta para se discutir a frequência de corte em sala de aula.

Neste tutorial destacamos algumas das ferramentas que estão disponíveis nesta simulação, ainda existem outras que não destacamos e que valem apenas ser observadas.

Fonte: SILVA, Ricardo Monteiro. Sequência didática multimídia para o ensino do efeito fotoelétrico. Volta Redonda – RJ.2015.