



UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-CONCEITUAL DO EFEITO FOTOELÉTRICO PARA O ENSINO MÉDIO

Angelita Mara Peixoto Momm

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

Orientador: Prof. Dr.
Oswaldo de Medeiros
Ritter

Florianópolis
Novembro de 2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Momm, Angelita Mara Peixoto
Uma abordagem histórico-conceitual do efeito
fotoelétrico para o ensino médio / Angelita Mara
Peixoto Momm ; orientador, Dr. Oswaldo de Medeiros
Ritter, 2017.
103 p.

Dissertação (mestrado profissional) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós
Graduação em Física, Florianópolis, 2017.

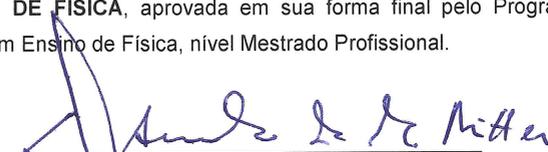
Inclui referências.

1. Física. 2. Ensino de Física. 3. Efeito
Fotoelétrico. 4. Albert einstein. I. Ritter, Dr.
Oswaldo de Medeiros . II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Física.
III. Título.

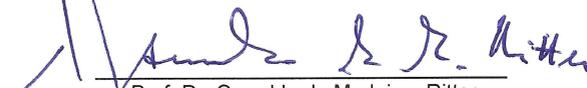
UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-CONCEITUAL DO EFEITO FOTOELÉTRICO PARA O ENSINO MÉDIO

Angelita Mara Peixoto Momm

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de **MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA**, aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, nível Mestrado Profissional.



Prof. Dr. Oswaldo de Medeiros Ritter
(UFSC/FSC - orientador)



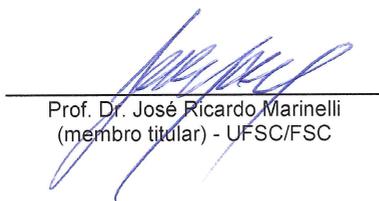
Prof. Dr. Oswaldo de Medeiros Ritter
(UFSC/FSC - Coordenador do Programa)



Prof. Dr. Oswaldo de Medeiros Ritter
(UFSC/FSC - presidente)



Profa. Dra. Fabiana Botelho Kneubil
(membro titular) - UFSC/FSC



Prof. Dr. José Ricardo Marinelli
(membro titular) - UFSC/FSC



Prof. Dr. Henrique Cesar da Silva
(membro externo) - UFSC/PPGECT

Dedico esta dissertação a minha família.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, a minha família, ao Professor Oswaldo de Medeiros Ritter e a todos que direta ou indiretamente puderam proporcionar e colaborar com todo esse processo construtivo.

RESUMO

UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-CONCEITUAL DO EFEITO FOTOELÉTRICO PARA O ENSINO MÉDIO

Angelita Mara Peixoto Momm

Orientador:

Prof. Dr. Oswaldo de Medeiros Ritter

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

Neste trabalho apresentamos uma proposta metodológica que visa despertar no aluno um maior interesse pela física moderna, assim como estabelecer uma aprendizagem significativa através do tema efeito fotoelétrica, valorizando a parte histórica, experimental e o uso de novas tecnologias.

Palavras-chave: Ensino de Física, Efeito Fotoelétrico, Albert Einstein.

Florianópolis
Novembro de 2017

ABSTRACT

A HISTORICAL-CONCEPTUAL APPROACH OF THE PHOTOELECTRIC EFFECT FOR MIDDLE SCHOOL

Angelita Mara Peixoto Momm

Supervisor:
Prof. Dr. Oswaldo de Medeiros Ritter

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação (nome dado na instituição) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

In this work we present a methodological approach aimed at develop in the student a greater interest in modern physics as well as establish a meaningful learning through the theme photoelectric effect , highlighting the historical , experimental parts and the use of new technologies.

Keywords: Physics teaching, photoelectric effect, Albert Einstein.

Florianópolis
November of 2017

Lista de Figuras

Figura 1 - Distribuição espectral $R(\lambda)$ em função de λ	21
Figura 2 - Comparação da lei de Planck e da Lei de Rayleigh – Jeans com os resultados obtidos por W. W. Coblentz, por volta de 1915.....	22
Figura 3 - Aparelho usado para estudar o efeito fotoelétrico.	24
Figura 4 - Gráficos da corrente i em função de v	25
Figura 5 - Simulador – Tela uso da frequência.....	49
Figura 6 - Simulador - Tela deslocamento dos elétrons.....	50
Figura 7 - Simulador – Tela gráficos.....	50
Figura 8 – Gráfico referente a primeira do Pré – teste	53
Figura 9 – Gráfico referente a segunda questão do Pré – teste	54
Figura 10 – Gráfico referente a terceira questão do Pré – teste	55
Figura 11 – Gráfico referente a quarta questão do Pré – teste ..	55
Figura 12 – Gráfico referente a quinta questão do Pré – teste ..	56
Figura 13 - Gráfico referente a análise da atividade avaliativa .	58

Sumário

Capítulo 1 – Introdução.....	1
Capítulo 2 – Vida e obra de Albert Einstein.....	5
Capítulo 3 – Uma breve história da luz até o Efeito Fotoelétrico	13
3.1 Radiação de corpo negro	20
3.2 A teoria de Einstein	24
3.2.1 A equação de Einstein	25
Capítulo 4 – O Efeito Fotoelétrico hoje e suas aplicações	29
Capítulo 5 – Referencial teórico.....	33
Capítulo 6 – A descrição do projeto	39
6.1 Descrição da aplicação do material em sala de aula.....	39
6.1.1 Tópico: Aplicação do pré-teste.....	39
6.1.2 Tópico: Um resgate da história da luz.....	40
6.1.3 Tópico: Experimento com placa de fotocélula.....	42
6.1.4 Tópico: Simulador.....	48
6.1.5 Tópico: Finalização do projeto.....	51
Capítulo 7 – Resultados do projeto	53
Capítulo 8 – Considerações finais.....	61
Referências Bibliográficas	65
Apêndice A – Autorização da escola	67
Apêndice B – Pré-teste	68
Apêndice C – Lista de exercícios	70
Apêndice D – Produto final do mestrado	75

Capítulo 1

Introdução

No decorrer do tempo, após a formação disciplinar e curricular da educação básica, percebe-se que a mesma tem se mantido estagnada. No que diz respeito ao ensino de Física, observa-se que a Física Clássica permanece soberana ao longo dos três anos do ensino médio e a Física Moderna aparece, quando muito, ao final do terceiro ano, como um fechamento da disciplina em si.

Entretanto, nas últimas décadas, a educação básica tem sido cobrada pela sociedade como um todo, para que melhorias aconteçam no ambiente escolar. No ensino de Física, tem existido a necessidade de alteração do foco da disciplina e a introdução da Física Moderna no ambiente escolar tem sido uma alternativa para que o aluno tenha mais contato direto com a ciência construída basicamente no século passado.

Entretanto, os caminhos que nos levam a conhecer e chegar à Física Moderna são trilhados por ruas baseadas, entre outras coisas, na história da ciência, que nos remete a momentos de descobertas e aos seus autores em épocas diferentes da sociedade, regadas por necessidades, peculiaridades, curiosidades, detalhes que colaboraram para a soma ou dúvidas que levaram até a quebra de alguns paradigmas naquele momento histórico. Erros, acertos e tentativas que colaboraram para se chegar até ao que temos hoje de conhecimentos na ciência e da vasta tecnologia que nos rodeia.

Ao ensinarmos ciências é significativo e importante introduzirmos a história da ciência, visando localizar o nosso educando no tempo e espaço social em que ocorreu tal momento científico. Com isto, o educando terá uma visão ampla e saberá os porquês de como ocorreu o desenvolvimento científico, assim como os resultados do estudo. Ao despertarmos o interesse do nosso educando para a história da ciência, ele será estimulado a procurar saber como eram a sociedade, a ciência, as tecnologias disponíveis num determinado tempo e as contribuições dos pesquisadores que, muitas vezes, morando em locais distantes, sem se conhecerem e sem saber, pesquisavam o mesmo assunto.

A evolução científica não ocorre ao acaso, porém é contínua. Tem-se percebido hoje em dia, no ambiente escolar, o aumento do uso de textos que evidenciam a importância da história da ciência. O uso dela tem sido feito através dos próprios livros didáticos, de artigos e dos mais variados textos que apresentam uma evolução gradativa dos conhecimentos científicos e não como lampejos provenientes de mentes privilegiadas.

Segundo Matthews (1995, p. 165), esta tendência é oportuna devido “à crise do ensino contemporâneo de ciências, evidenciada pela evasão de alunos e de professores das salas de aula, bem como de índices assustadoramente elevados de analfabetismo em ciências”.

Isto nos leva a refletir como nós, educadores, estamos conduzindo metodologicamente e didaticamente os conteúdos tradicionalmente adotados na educação brasileira e quais contribuições estamos trazendo para que o nosso educando esteja sendo alfabetizado cientificamente através do ensino de ciências. Para Chassot (2011, p. 62):

“Poderíamos considerar a alfabetização científica como o conjunto de conhecimentos que facilitariam aos homens e mulheres fazer uma leitura do mundo onde vivem.... Assim como exige-se que os alfabetizados em língua materna sejam cidadãos e cidadãos críticos, seria desejável que os alfabetizados cientificamente não apenas tivessem facilitada a leitura do mundo em que vivem, mas entendessem as necessidades de transformá-lo, e transformá-lo para melhor”.

Neste sentido, os educadores de Física do ensino médio da educação básica estão sempre numa constante procura pela inovação, focada no despertar da curiosidade e interesse dos educandos pela ciência, contribuindo para a aquisição de cultura científica que possa superar o analfabetismo científico e na construção de uma autonomia intelectual individual que o torne um cidadão ou cidadã atuante na sociedade.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo propor e implementar um tema de Física Moderna e Contemporânea, o Efeito Fotoelétrico, resgatando a história por trás do fenômeno e

apresentando propostas didáticas variadas que tornem o tema motivador aos educandos.

“Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma a que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e lasers presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores.” (BRASIL,2002,P.70).

Neste aspecto, os PCN+ Ensino Médio / Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais de Física (2002) no Contexto Sociocultural, tem como uma das competências gerais no item III.1, que trata da Ciência e Tecnologia na História: compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social.

Passam-se a elencar abaixo tais competências gerais em Física, presentes no documento oficial anteriormente citado:

- 1) Compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época;
- 2) Compreender o desenvolvimento histórico dos modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, sem dogmatismo ou certezas definitivas;
- 3) Compreender o desenvolvimento histórico da tecnologia, nos mais diversos campos, e suas consequências para o cotidiano e as relações sociais de cada época, identificando como seus avanços foram modificando as condições de vida e criando novas necessidades. Esses conhecimentos são essenciais para dimensionar corretamente o desenvolvimento tecnológico atual, através tanto de suas vantagens como de seus condicionantes;

- 4) Perceber o papel desempenhado pelo conhecimento físico no desenvolvimento da tecnologia e a complexa relação entre ciência e tecnologia ao longo da história.

O tema desse trabalho, o Efeito Fotoelétrico, não pode ser compreendido isoladamente, visto que há inúmeras sobreposições e inter-relações entre os elementos do estudo que se completam através de suas relações com outras áreas do conhecimento.

Assim, citaremos de acordo com o PCN+ Ensino Médio / Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais de Física (2002), os temas estruturadores envolvidos neste estudo. No projeto o tema estruturador é o 5: Matéria e Radiação.

Esse é o campo que se pretende abordar objetivando resgatar a história da ciência e apresentar práticas pedagógicas que incentivem os educadores de Física a promoverem e implementarem a Física Moderna e Contemporânea no ensino médio.

Capítulo 2

Vida e Obra de Albert Einstein

Estamos inseridos em um mundo altamente tecnológico, onde tal avanço se faz presente no nosso cotidiano e independente da tecnologia que nos cerca, em maior ou em menor grau, existe uma influência direta das descobertas científicas provenientes do início do século passado. Entre essas contribuições citaremos as contribuições de Albert Einstein para a Física Moderna.

Albert Einstein nasceu em Ulm, sul da Alemanha, no dia 14 de março de 1879, e faleceu em Princeton (EUA) em 1955. Primogênito do casal Hermann e Pauline, tendo como irmã caçula Maria, Albert Einstein cresceu em uma família harmoniosa com forte ligação fraternal. Sua mãe possuía uma personalidade forte, era uma pianista talentosa e isso influenciou o pequeno Einstein a aprender violino e piano.

Seu pai era um homem tranquilo, bondoso, gostava de literatura e possuía, em parceria com seu irmão, uma empresa de instalação de água e gás em Munique.

Einstein teve nos seus primeiros anos de vida um ambiente familiar estável e estimulante. Tal situação lhe propiciou um desenvolvimento cognitivo dentro do próprio lar maior do que no ambiente escolar formal. De acordo com Pais (1995, p. 43), próximo dos seus setenta anos, Einstein mencionou uma experiência singular desse período: “testemunhei um milagre [...] quando em criança, com quatro ou cinco anos de idade, meu pai me ofereceu uma bússola”.

Quando iniciou a sua vida escolar, aos seis anos de idade, era caracterizado como um aluno seguro, persistente e sossegado. Destacava-se por suas notas altas em matemática e latim, além de gostar de jogos que exigiam paciência e tenacidade.

Além do excelente ambiente familiar, Einstein estava cercado de pessoas que lhe ajudavam. Entre elas, seu tio Jakob, que contribuía com os problemas matemáticos. Outra pessoa que também o ajudou foi Max Talmud, aluno de medicina que lhe apresentara os escritos de Kant e o livro de geometria euclidiana. Com esses auxílios, estudou o cálculo diferencial e integral dos doze aos dezessete anos.

Tendo concluído o secundário, em 1896 Einstein ingressa no Instituto Politécnico Federal de Zurique, onde torna-se amigo de Marcel Grossmann, que lhe emprestava os cadernos com os quais preparava-se para os exames. Pode-se dizer que Einstein tinha muito de autodidata, confiava muito nos próprios estudos e dessa forma leu os trabalhos de Helmholtz, Hertz e Kirchhoff, aprendeu a teoria de Maxwell, estudou os trabalhos de Lorentz, Boltzmann e Darwin.

Após tanta dedicação, em 1900 qualifica-se como professor especializado (Fachlerer) em matemática e física na escola secundária, porém, não consegue emprego como assistente no ETH (Eidgenössische Technische Hochschule), Instituto Federal de Tecnologia, em Zurique, apesar da indicação de Weber que havia sido seu professor. Em dezembro desse ano finaliza seu primeiro artigo científico sobre forças intermoleculares e o envia a revista científica *Annalen der Physik*.

Em 1901, Einstein torna-se cidadão suíço e trabalha em uma escola de ensino médio em Winterthur, durante dois meses. Em setembro é chamado para lecionar em uma escola particular em Schaffhausen onde aproveitava o seu tempo livre para desenvolver seus artigos. Segundo Pais (1995, p.51), Einstein em 1901, escreveu:

“Sou professor numa escola particular em Schaffausen desde o dia 15 de setembro de 1901. Durante os dois primeiros meses de atividade na escola escrevi a tese de doutoramento sobre um tópico da teoria cinética dos gases. Apresentei-a há um mês à Universidade de Zurique.”

Naquele momento, a tese não foi aceita e ao final daquele ano, Einstein consegue um emprego permanente no departamento de patentes da Suíça.

No início de 1902, Einstein se muda para Berna e no final do ano seu pai, Hermann, falece em Milão. No ano seguinte, casa-se com Mileva Maric, e conhece novos amigos como Maurice Solovine, amigo por toda vida, e Konrad Habicht, os quais fundaram e eram membros do Akademie Olympia, grupo que se reunia para ler e discutir sobre Spinoza, Hume, Mach, Poincaré, Sófocles, Racine e Cervantes. Em dezembro,

apresenta uma comunicação sobre “As teorias das ondas eletromagnéticas”, a *Naturforschende Gesellschaft*, em Berna.

Do seu primeiro casamento, nasceram dois filhos, Hans Albert e Eduard, e o casal permaneceu junto até 1919, quando se divorciam. Einstein casa-se então com sua prima Elsa Einstein Löwenthal.

O ano de 1905 marcou a história da ciência, pois foi o ano em que as contribuições de Einstein mudariam os rumos da Física, abrindo os caminhos da Física Moderna. De acordo com Pais (1995, p.18), neste ano Einstein produziu seis artigos que o tornariam o cientista mais espetacular do século passado e que estão abaixo citados:

- 1) Em 17 de março, concluiu o artigo “O *quantum* de luz e o efeito fotoelétrico”, que lhe valeu o Prêmio Nobel de Física em 1922;
- 2) Em 30 de abril, conclui a tese “*Uma determinação das dimensões moleculares*”, que lhe conferiu o doutoramento. A tese foi dedicada ao seu amigo Sr. Dr. M. Grossmann;
- 3) Recebido para publicação em 11 de maio, o artigo “O *movimento browniano*”;
- 4) Em 30 de junho foi recebido o primeiro artigo sobre a “*Relatividade restrita*”;
- 5) Em 27 de setembro saiu o segundo artigo sobre a “*Relatividade restrita*”, contendo a relação $E=mc^2$;
- 6) Em dezembro apresenta o segundo artigo sobre o “*Movimento Browniano*”.

Dentre os artigos citados, um dos mais lembrados e marcantes de Einstein foi o de março que trata da interpretação do efeito fotoelétrico. Vamos resgatar a história envolvida que nos levou a esta pesquisa.

Atualmente a pesquisa na área da espectroscopia dos fotoelétrons está bem desenvolvida e é ampla, existindo várias publicações periódicas próprias. Contudo, em 1905, o assunto estava apenas iniciando e o estado das técnicas experimentais era rudimentar embora já houvesse descobertas de grande importância.

Um dos primeiros a observar o fenômeno fotoelétrico foi Hertz por volta de 1887. Ele fez esta descoberta de forma acidental, pois estava intrigado com o efeito periférico que observou no decurso do trabalho de investigação sobre a

natureza eletromagnética da luz. Hertz estava estudando as faíscas geradas por diferença de potencial entre duas superfícies metálicas, quando então, uma faísca primária, originária de uma superfície deu origem a uma segunda faísca na outra superfície. Como esta última faísca era difícil de observar, Hertz construiu uma cobertura em volta para eliminar a luz difusa. Com isto, acabou causando uma diminuição da segunda faísca. Posteriormente, descobriu que este efeito era provocado pela cobertura que estava inserida entre as duas faíscas. Hertz suspeitou que tal efeito poderia ser atribuído à luz produzida pela primeira faísca, e numa sequência de experimentos confirmou que a luz poderia produzir as referidas faíscas.

Em 1888, Willhelm Hallwachs, estimulado pelo trabalho de Hertz, mostrou que a irradiação com luz ultravioleta faz com que corpos metálicos não carregados adquiram uma carga positiva. Por volta de 1889, foi sugerido que a luz ultravioleta poderia fazer grânulos metálicos saltarem da superfície do metal. Convém ressaltar que tais efeitos são anteriores à descoberta do elétron que veio a ocorrer em 1897, ou seja, praticamente uma década depois.

Por volta de 1899, J.J. Thomson afirmou que o efeito fotoelétrico induzido pela luz ultravioleta consistia na emissão de elétrons. Isto quer dizer, em outras palavras, que as faíscas de Hertz e a carga positiva de Hallwachs poderiam ser explicadas através da suposição de que a incidência de luz é capaz de fazer com que elétrons sejam extraídos de uma superfície metálica.

Em 1900, Planck assumiu a cátedra de Física teórica, na Universidade de Berlim como professor extraordinário, onde entrou em contato com experimentos que estavam sendo desenvolvidos naquele momento e que viriam a contribuir para as novas descobertas que mudariam o rumo da Física.

Foram longas as etapas que Planck percorreu até chegar à quantização da energia e tal dedução foi apresentada pela primeira vez em 14 de dezembro de 1900 e, dessa forma, nascia a teoria quântica.

Em 1902, Philip Lenard conduziu suas pesquisas que foram fundamentais para o estudo do efeito fotoelétrico. Ele utilizou como fonte um arco voltaico de carvão, no qual poderia variar a intensidade desta fonte de luz por um fator 1000. Lenard concluiu que a energia do elétron não mostrava a menor

dependência em relação à intensidade de luz, o que na época estava em desacordo com a teoria clássica.

Por outro lado, a emissão de elétrons aumentava com o acréscimo na intensidade da radiação, uma vez que mais energia ficava disponível para libertar elétrons. Mas havia uma dependência característica na frequência da radiação incidente.

Para cada substância havia uma frequência mínima, ν_0 , ou limite, de tal modo que, não importava quão intensa a radiação pudesse ser, não eram liberados elétrons para radiação de frequência menores do que ν_0 .

As pesquisas de Planck serviram de fonte para que Einstein desenvolvesse seus estudos e compreendesse a teoria quântica que apareceria nos seus artigos a partir daquele momento. Segundo Pais (1995, p. 441):

“Das minhas discussões com Einstein, sei que venerava Planck como o descobridor da teoria quântica, que o respeitava profundamente como um ser humano que se mantivera firme em face dos inenarráveis sofrimentos pessoais e do seu país, e que lhe era agradecido: “O senhor foi o primeiro a defender a teoria da relatividade”.

Assim em março de 1905, Einstein publicou seu trabalho sobre os quanta de luz, intitulado “*Sobre um ponto de vista heurístico referente à produção e conversão da luz*”, na revista científica *Annalen der Physik*.

Neste artigo, Einstein propunha uma explicação para o efeito fotoelétrico, que a teoria clássica não conseguia explicar totalmente. Propunha que a luz seria formada por partículas, chamadas de *quanta de luz*. Dessa forma, o efeito fotoelétrico foi explicado por Einstein a partir da teoria dos quanta de luz (conceito de quantização), que significa pequenos pacotes de energia (chamados de fótons pelo conceito adotado mais tarde por Einstein – teoria corpuscular da luz), que colidem com os elétrons presentes no metal, transferindo-lhes energia suficiente para que se desprendessem da superfície metálica.

Segundo Pais (1995, p. 451):

“Baseado no princípio heurístico, Einstein propôs a seguinte “imagem mais simples” para o efeito fotoelétrico: um quantum de luz fornece toda sua energia a um único elétron, e a energia transferida por um quantum de luz é independente da presença de outros quanta de luz. Fez também notar que um elétron ejetado do interior de um corpo sofre, em geral, uma perda de energia antes de atingir a superfície. Seja $E_{máx}$ a energia cinética máxima do elétron no caso de esta perda ser nula. Então, como propôs Einstein, obtemos a relação (em notação moderna):

$$E_{máx} = h\nu - P$$

(19.24)

em que ν é a frequência da radiação incidente (monocromática) e P a função trabalho, a energia necessária para escapar da superfície. Salientou que a equação 19.24 explica a observação de Lenard de que a energia do elétron é independente da intensidade de luz.”

Anos se passaram até que por volta de 1915, essa equação de Einstein foi confirmada experimentalmente pelo físico norte-americano Robert Millikan (1868-1953), que escreveu anos mais tarde, segundo Pais (1995, p. 423):

“Passei dez anos da minha vida testando a equação de Einstein de 1905. Contrariando minhas expectativas, em 1915 fui compelido a validá-la sem ambiguidade, apesar de seu caráter irrazoável, pois parecia violar tudo o que sabíamos sobre a interferência da luz.”

Mas, mesmo assim, após a hipótese do efeito fotoelétrico ter sido aceita, havia certa resistência dos pesquisadores da época quanto a aceitarem a ideia do quantum de luz (nascia o conceito de fóton, que passou a ser usado a partir de 1926 e, com ele, a era da física moderna) que se fundamentava nos paradoxos onda-partícula e isto persistiu por um longo tempo até

meados dos anos 20, época em que Einstein foi indicado ao Prêmio Nobel em 1922. Segundo Pais (1995, p. 457), o anúncio oficial retrata o reflexo exato do consenso da comunidade científica naquele momento:

“A Albert Einstein, por seus serviços à física teórica, especialmente por sua descoberta da lei do efeito fotoelétrico”.

Quem representou Einstein na festividade de entrega do Prêmio Nobel, no dia 10 de dezembro de 1922, foi o alemão Rudolf Nadolny, pois Einstein estava realizando uma viagem ao Japão. A história nos mostra que Einstein continuou a sua trajetória de pesquisas, ideias, atitudes que fizeram e fazem um diferencial para a Física Moderna, tendo contribuído para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia com enorme reflexo na sociedade. Muitos pesquisadores com suas teorias, experimentações e ousadia contribuíram para se chegar ao efeito fotoelétrico, tendo as contribuições de Einstein sido decisivas. Fizeram a diferença para que a Física recebesse um novo olhar de modernidade que nos estimula a aprender cada vez mais sobre este gênio Albert Einstein.

Capítulo 3

Uma breve história da luz até o efeito fotoelétrico

Desde o começo do mundo, a luz já se fazia presente como elemento essencial para a sobrevivência dos ecossistemas, assim, como do próprio planeta Terra.

Para entendermos o que é a luz e os seus efeitos, iremos resgatar e percorrer os caminhos da história da ciência que nos mostrarão o que hoje entendemos sobre a luz.

Na história, entre os filósofos da antiguidade, acreditava-se que a luz tinha uma característica **corpúscular** (corpo pequeníssimo) e é baseado nesta visão que se tinha sobre a luz, que iniciaremos os nossos estudos.

Por volta de 500 a.C, o filósofo Leucipo de Mileto, acreditava que os objetos emitiam pequenas partículas, que se desprendiam de sua superfície e que chegavam até nossos olhos, causando a visão.

Demócrito (460-357 a.C) acreditava, baseado no conceito de atomicidade (o mundo era formado por átomos, que se movimentavam no espaço vazio em todas as direções e se combinavam “ao acaso”, formando a matéria), que o feixe de luz luminoso se originava dos objetos e penetrava nos olhos para formar a imagem dos objetos.

Na época, a crença pitagórica, presumia que a visão era causada por algo emitido pelo olho.

Para Empédocles de Agrigento (493-430 a.C), o universo era formado por elementos básicos que se misturavam e formavam tudo o que existia. E esses elementos eram associados a quatro divindades: água (Nestis), ar (Hera), terra (Hades) e fogo (Zeus). Ele acreditava que um raio visual era emitido pelos olhos, uma espécie de fogo interno, que “tocava” os objetos e, ao retornar para a pupila, trazia informações sobre eles. Seria como se o ato de enxergar fosse igual ao ato de tatear, ou seja, os raios visuais interagiam com as informações emanadas dos objetos, como se fossem tentáculos. Os objetos também emitiam um tipo de fogo que carregava suas informações, como a cor e a forma. Portanto, o fenômeno da

visão ocorria quando o fogo interno emitido pelos olhos entrava em contato com o fogo externo emanado dos objetos.

Platão (428-348 a.C), acreditava na crença pitagórica, segunda a qual as “partículas” emitidas pelo globo ocular, criavam um modelo de propagação retilínea da luz.

Aristóteles (384-322 a.C) acreditava que a visão e conseqüentemente a luz era um fluido imaterial que se propagava de um objeto observado até o olho humano produzindo a sensação da visão. Para explicar a propagação da luz do sol até a Terra ele acreditava que todo o universo era preenchido de matéria.

Tais conflitos de ideias filosóficas predominaram até o século XVII, quando a discussão passou para o plano científico. Entre alguns autores que contribuíram para este avanço no campo da luz, citamos René Descartes (1637), Isaac Newton (1670), Christian Huygens (1678), entre outros.

Até o início do século XVII, existiam muitas explicações para a natureza da luz e já se conheciam as suas propriedades geométricas, tais como: os raios de luz se propagam em linha reta; a refração obedece à lei dos senos, os ângulos de incidência e reflexão são iguais.

A partir da metade do século XVII, outros fenômenos da ótica foram descobertos, ampliando as discussões científicas: difração, interferência, polarização, mas faltava muito para se explicar o que era a luz.

Então podemos dizer que já no século XVII se tinha o conhecimento de cinco fenômenos considerados básicos da óptica: refração, reflexão, difração, interferência e polarização.

O cientista holandês Christiaan Huygens, em 1678, ampliou a hipótese ondulatória da luz, que foi proposta por Hooke e pelo padre jesuíta Ignácio Pardiès (1636-1673) que dizia:

A luz é produzida por vibrações de um meio sutil e homogêneo e este movimento se propaga por impulso ou ondas simples e de forma perpendicular à linha de propagação.

Baseado na proposta de Hooke, Huygens formulou uma analogia da luz com o som, que é uma vibração mecânica em meios elásticos, pois necessita de um meio para se propagar.

Assim, introduz a ideia do éter lumífero como sendo o meio pelo qual a luz se propagaria com uma velocidade grande e finita. Huygens, segundo Hewitt (2011, p. 518), “propôs que as frentes de onda das ondas luminosas que se espalham a partir de uma fonte pontual podem ser consideradas como a superposição das cristas de minúsculas ondas secundárias.” Nesta ideia se baseia o princípio de Huygens, que segundo Hewitt (2011, p.518), nos diz o seguinte:

“Cada ponto de uma frente de onda qualquer pode ser considerado como uma fonte de pequenas ondas secundárias, que dali se espalham divergindo em todas as direções com um mesmo valor de velocidade de propagação.”

A ideia do éter como meio (sutil e misterioso) já era pesquisado por Aristóteles e difundida por René Descartes explicando como a luz se propagava em vários lugares e em diversas direções no espaço.

Na época, quem não aceitou as ideias de Huygens foi Isaac Newton (1642-1727). Segundo ele, alguns fenômenos luminosos dos raios de luz se comportavam como corpúsculos. Para a época, a teoria corpuscular parecia consistente e explicava alguns fenômenos até então conhecidos sobre a luz.

A disputa entre a teoria corpuscular e a teoria ondulatória foi ganhando espaço no meio científico e no início do século XVIII a teoria de Newton ganha força, mas a teoria ondulatória começa a abalar as suas ideias.

Durante o século XVIII, vários pesquisadores estabeleceram as bases da física, onde a partir da mecânica newtoniana quase todos os fenômenos da natureza seriam explicados.

Uma reviravolta ocorreria no início do século XIX. Por volta de 1801, o pesquisador Thomas Young (1773-1829), realizou uma experiência que marcou a história da Física e incitou a discussão em torno da natureza da luz. Tal experiência ficou conhecida como *Experiência da fenda dupla*, que envolvia os fenômenos da difração e a interferência da luz. Na época, a difração e a interferência da luz não eram explicadas pela teoria

corpuscular de Newton. Com o experimento da fenda dupla, a teoria ondulatória estava consolidada.

Thomas Young já havia avaliado, pela primeira vez, o comprimento de onda da luz, que é um parâmetro característico do movimento ondulatório. No seu experimento, segundo Rocha (2002, p.234):

“Thomas Young fez passar um feixe luminoso (luz solar) através de dois orifícios construídos com um alfinete em um papel grosso e obteve pela primeira vez, em um anteparo, uma figura de interferência luminosa, composta de faixas escuras e claras, alternadamente. Para conseguir um feixe luminoso adequado, ele fez passar, primeiramente, num obstáculo com um orifício.”

Neste experimento, as faixas claras e escuras, surgem como resultado de interferências construtiva e destrutiva, respectivamente, dos feixes que passam pelas duas fendas. Concluiu-se que a interferência pode ocorrer em qualquer situação em que a luz proveniente de uma única fonte divide-se em dois feixes que se recombina após terem percorrido caminhos de comprimentos diferentes. Atualmente, são usadas fendas longas e estreitas em lugar de orifícios, e por isso este experimento é chamado de fenda dupla.

Apesar dos esforços, a teoria corpuscular ainda dominava os meios científicos.

Em 1850, os pesquisadores Armand H.L. Fizeau (1819-1896) e Jean Bernard L. Foucault (1819-1868) mostraram através de experimentos distintos onde mediram a velocidade da luz no ar (aproximadamente 314.000 km/s) e na água. A velocidade da luz foi menor na água. Com isto, concluiu-se que a luz se propagava mais rápido no meio menos denso e Thomas Young mostrou que a luz é uma onda transversal e não longitudinal, como se acreditava, explicando assim a polarização da luz, através da teoria ondulatória.

No início do século XIX, a teoria ondulatória explicava os fenômenos conhecidos relacionados ao comportamento da luz. Mas, faltava uma teoria consistente que explicasse o comportamento das ondas de luz. Tal teoria começa a surgir do

trabalho de James C. Maxwell (1831-1879), que culminaria com a síntese em quatro equações de todas as leis experimentais do eletromagnetismo. As equações mostraram que o valor previsto para a velocidade das ondas eletromagnéticas (previstas pelas suas equações) coincidiam com o valor conhecido da velocidade da luz, o que lhe indicou que a luz era de natureza eletromagnética. Tal velocidade foi calculada mediante aplicação das Equações de Maxwell que previam a existência de ondas eletromagnéticas.

Equações de Maxwell

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

A respeito de sua descoberta, Maxwell escreveu, segundo Rocha (2002, p.264):

“A velocidade das ondulações transversais no nosso meio hipotético, calculada a partir de experiências de eletromagnetismo efetuadas pelos Srs. Kolhraush e Weber (331.000 km/s), tem um valor tão próximo do valor da velocidade da luz calculado a partir de experiências de óptica pelo Sr. Fizeau que é difícil evitar a inferência de que a luz consistirá em ondulações transversais do mesmo meio que é a causa dos fenômenos elétricos e magnéticos.”

Em 1887, o físico alemão Heinrich Rudolf Hertz confirmou experimentalmente as previsões de Maxwell. Ele demonstrou que as ondas eletromagnéticas tinham todas as propriedades das ondas luminosas e no mesmo experimento ele descobriu e registrou um novo fenômeno para a luz, que posteriormente seria identificado como de natureza corpuscular. Tal fenômeno, hoje é conhecido como Efeito fotoelétrico. Isto ocorreu, quando Heinrich Rudolf Hertz investigava a natureza eletromagnética da luz e, ao estudar a produção de descargas elétricas entre duas superfícies de metal em potenciais diferentes, observou que uma faísca proveniente de uma superfície gerava uma faísca secundária na outra.

Sendo a faísca de difícil visualização, Heinrich Rudolf Hertz construiu uma proteção sobre o sistema para evitar a dispersão da luz, mas isto causou uma diminuição da faísca secundária. Em suas experimentações, Heinrich Rudolf Hertz constatou que o fenômeno não era de natureza eletrostática, pois não havia diferença se a proteção era feita de material condutor ou isolante. Constatou que a luz poderia gerar faíscas e que o fenômeno deveria ser devido apenas à luz ultravioleta. Durante o curso dessa investigação, um fenômeno ocorreu que despertou a atenção de Hertz. Era um efeito curioso e que não poderia ser negligenciado e que segundo Mangili (2012, p.45), “nem mesmo Hertz sentiu-se seguro a seu respeito. Surpreso com esse “efeito estranho””, ele se manifestou a seu respeito da seguinte forma:

“Logo que comecei os experimentos, eu fui afetado por uma notável e recíproca ação entre duas sparks simultâneas. Eu não tive a intenção de permitir que esse fenômeno distraísse minha atenção do objetivo principal que eu tinha em mente; mas isso ocorreu de um modo tão definido e perplexo que eu não poderia negligenciá-lo completamente. ”
(HERTZ (1886), Apud MANGILI, 2012, p.45).

Baseado nesta citação, percebemos que Hertz estaria se referindo à descoberta do efeito fotoelétrico, mas ele próprio não prossegue com a pesquisa do tal fenômeno. Em outra citação Hertz (1886) reforça que:

“Assim que eu soube que estava lidando com um efeito da luz ultravioleta, eu coloquei de lado essa investigação, para dirigir minha atenção para a questão principal mais uma vez. Entretanto, como certa familiaridade com o fenômeno é requerida na investigação das oscilações, eu publiquei um comunicado relatando esse fato.” (HERTZ Apud MANGILI, 2012, p.46).

A descoberta inesperada do fenômeno, que posteriormente seria chamado de efeito fotoelétrico, levou outros pesquisadores a investigar o mesmo e descobriu-se que partículas negativas eram emitidas quando uma superfície limpa era exposta à luz ultravioleta. Por volta de 1900, P. Lenard submeteu essas partículas a um campo magnético e descobriu que apresentavam uma razão carga-massa da mesma ordem que a observada nos raios catódicos pesquisados por J. J. Thomson, isto é, as partículas emitidas eram elétrons.

Em 1902, Philip Lenard publicou os resultados de seus experimentos sobre o efeito fotoelétrico, obtidos através de seus experimentos com tubos de raios catódicos, no qual se observou a ocorrência do efeito fotoelétrico e propôs uma explicação para tal fenômeno em função do comportamento ondulatório das radiações. Com isto, concluiu que a luz transporta energia e, ao interagir com os elétrons do metal, cede energia. Assim, os elétrons do metal eram arrancados originando uma corrente elétrica. Entretanto, alguns aspectos chamavam a atenção neste experimento, contrariando as explicações em termos da teoria ondulatória clássica da luz.

De acordo com Bassalo (2000), Philip Lenard apresentou nos anais da Física as seguintes leis para o efeito fotoelétrico:

- “1) Os elétrons emitidos têm velocidades iniciais finitas e independentes da intensidade da luz incidente, porém dependem da sua frequência;
- 2) O número total de elétrons emitidos é proporcional à intensidade da luz incidente.”

Em 1905, o físico de origem alemã Albert Einstein (1879-1955), publicou um trabalho, intitulado “Um ponto de vista

heurístico sobre a produção e transformação da luz”, onde propunha que a luz seria formada por partículas, chamadas de *quanta de luz*. O efeito fotoelétrico foi explicado por Einstein a partir da teoria dos quanta de luz, que significa pequenos pacotes de energia (chamados de fótons – teoria corpuscular da luz). Esses fótons ao colidirem com os elétrons presentes no metal transferem-lhes energia suficiente para que se desprendam da superfície metalizada.

Mas para compreendermos melhor esta teoria é útil resgatar a contribuição que Max Planck, físico teórico alemão, deu através de suas pesquisas, quando começou a estudar o fenômeno da radiação do corpo negro em 1897.

3.1 - Radiação do corpo negro.

Foi a partir dos estudos da radiação térmica emitida por corpos opacos que surgiram os primeiros indícios da natureza quântica da radiação. Quando uma radiação incide em um corpo opaco, parte é refletida e parte é absorvida, sendo que, os corpos claros refletem a maior parte da radiação visível incidente e os corpos escuros, por sua vez, absorvem a maior parte da radiação. O corpo ao absorver a radiação emitida, faz com haja aumento de energia cinética dos átomos que o constituem que, conseqüentemente, oscilam mais vigorosamente em torno da posição de equilíbrio. Assim, ocorre o aumento de temperatura do corpo.

Os átomos são acelerados pela oscilação e emitem radiação, o que reduz a sua energia cinética e, conseqüentemente, a temperatura. Considere-se, por exemplo, uma cavidade com paredes metálicas aquecidas de maneira uniforme. As paredes emitem radiação eletromagnética por causa dos movimentos acelerados dos elétrons nas paredes metálicas, que surgem como resultado da agitação térmica.

Assim, dizemos que um corpo se encontra em equilíbrio térmico com o ambiente quando a taxa de absorção for igual à taxa de emissão à temperatura constante. A radiação eletromagnética emitida nessas circunstâncias é chamada de radiação térmica. Em temperaturas moderadas (abaixo de 600°C), a radiação térmica emitida pelos corpos não é visível. Entre 600° e 700°C, começa a se ter energia suficiente no

espectro visível para que o corpo comece a brilhar com a própria luz, vermelho-escuro. A partir de temperaturas mais elevadas, o objeto passa a brilhar com luz vermelho-clara ou mesmo branca.

Então, um corpo que absorve toda a radiação incidente é chamado de corpo negro ideal.

Em 1879, Josef Stefan enunciou uma relação sob a forma da equação empírica entre a potência por unidade de área irradiada por um corpo negro e a temperatura

$$R = \sigma \cdot T^4,$$

onde R é a potência irradiada por unidade de área, T a temperatura absoluta e $\sigma = 5,6704 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ denominada constante de Stefan-Boltzmann. De acordo com a lei de Stefan-Boltzmann, a potência por unidade de área irradiada por um corpo negro é função apenas da temperatura e independe de material ou cor.

A lei de Stefan-Boltzmann tem uma importância enorme para o estabelecimento do equilíbrio térmico. Como a potência total irradiada R, a distribuição espectral da radiação emitida por um corpo negro depende apenas da temperatura absoluta T.

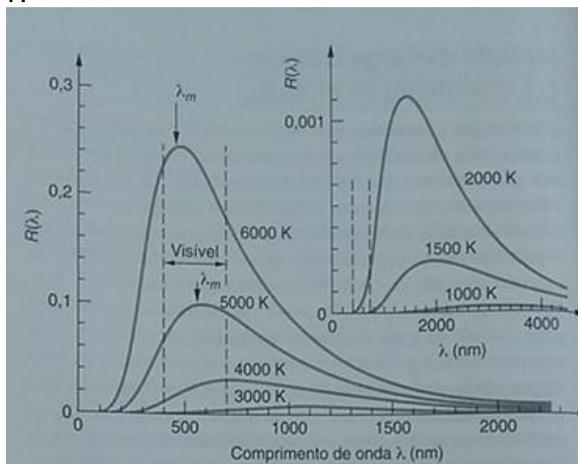


Figura 01 - Distribuição espectral $R(\lambda)$ em função de λ

A figura 01 mostra os valores experimentais da distribuição espectral $R(\lambda)$ em função de λ para vários valores de

T entre 1000K e 6000K. O comprimento de onda para o qual a radiação é máxima varia inversamente com a temperatura, isto é,
$$\lambda_m \propto 1/T$$

Este resultado é conhecido como a lei de deslocamento de Wien.

De acordo com a teoria clássica no início do século passado, Rayleigh e Jeans fizeram o cálculo de distribuição espectral $R(\lambda)$ de um corpo negro que envolve a determinação da densidade de energia de ondas eletromagnéticas no interior de uma cavidade.

O que resultou em sérias inconsistências com os dados experimentais e a física clássica.

A distribuição espectral de densidade de energia é dada por

$$u(\lambda) = kT n(\lambda) = 8\pi k T \lambda^{-4}.$$

Esta é a lei de Rayleigh-Jeans e está representada na figura 02 abaixo.

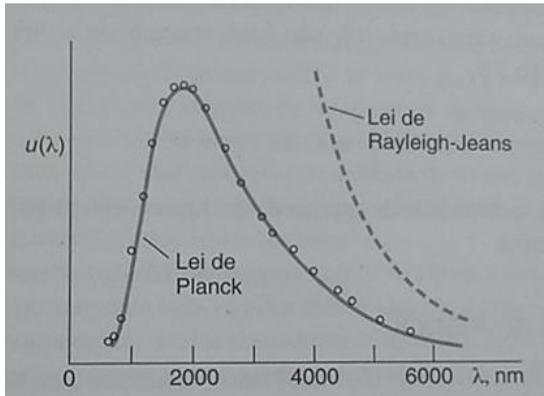


Figura 02 - Comparação da lei de Planck e da Lei de Rayleigh-Jeans com os resultados obtidos por W. W. Coblentz, por volta de 1915.

Esta lei concorda com resultados experimentais para grandes comprimentos de onda, mas discorda para comprimentos de onda pequenos. O que se verifica ao usar a equação de Rayleigh-Jeans com baixos comprimentos de onda (alta frequências) é que a distribuição espectral $R(\lambda)$ vai ao infinito, divergindo dos resultados experimentais. Tal situação ficou conhecida como catástrofe do ultravioleta.

Após as tentativas anteriormente citadas não conseguem concordância com o que era observado

experimentalmente, Max Planck em 14 de dezembro de 1900 formulou uma hipótese que veio resolver o problema da radiação do corpo negro. Ele apresentou uma proposta que permitia obter uma expressão para $R(\lambda)$ que coincidia com os resultados experimentais.

Na teoria clássica, a troca de energia entre a radiação e os “osciladores” nas paredes se dá de forma contínua onde qualquer quantidade de energia pode ser absorvida ou emitida.

Planck supôs que os átomos se comportavam como osciladores harmônicos e que cada um oscilava com uma frequência ν .

Adotou uma segunda suposição:

Cada oscilador pode absorver ou emitir energia de radiação somente em uma quantidade proporcional à sua frequência ν , isto é,

$$E = h\nu. \quad (\text{quantum de energia})$$

A constante h apresentada por Planck tem o valor $h=6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Abraham Pais cita que (1982, p.438), em 1931, Planck referiu-se a este procedimento como “um ato de desespero [...]”. Eu tinha que obter um resultado positivo, de qualquer modo e a qualquer preço”.

Aplicando algumas considerações de natureza estatística junto com a equação $E = h\nu$, Planck obteve para a densidade de energia na radiação de corpo negro a seguinte expressão:

$$E(\lambda) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{kT\lambda}\right)} - 1}.$$

Na época os físicos se mostravam relutantes em aceitar a noção revolucionária de Max Planck. Tal teoria teria que ser comprovada através de outro fenômeno além das regularidades da energia radiante. De acordo com Ildeu (fonte: <http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/fisica/0004.html>):

“Enquanto Planck via em sua dedução apenas um artifício matemático que deveria ser superado, Einstein supôs que a quantização

era um fato físico concreto (ele denomina sua hipótese de *princípio heurístico*). A partir deste princípio, Einstein analisa várias consequências físicas dele decorrentes. Em particular, mostra como pode ser entendido o chamado efeito fotoelétrico, que havia sido descoberto por Hertz muitos anos antes, e que ainda não encontrara explicação dentro da teoria ondulatória da luz.”

3.2 - A teoria de Einstein

Em 1905, Albert Einstein, ao propor um modelo para explicar o efeito fotoelétrico, introduz a noção de quantum de luz, que transfere toda a sua energia a um único elétron, independentemente da existência de outros quanta de luz. Segundo Eisberg (1979, p. 55):

“Einstein supôs que um tal pacote de energia está inicialmente localizado em um pequeno volume do espaço, e que permanece localizado à medida que se afasta da fonte com velocidade c . Ele supôs que a energia E do pacote, ou fóton, está relacionada com a frequência ν pela equação $E = h \cdot \nu$. Supôs também que no processo fotoelétrico um fóton é completamente absorvido por um elétron na superfície no fotocátodo.”

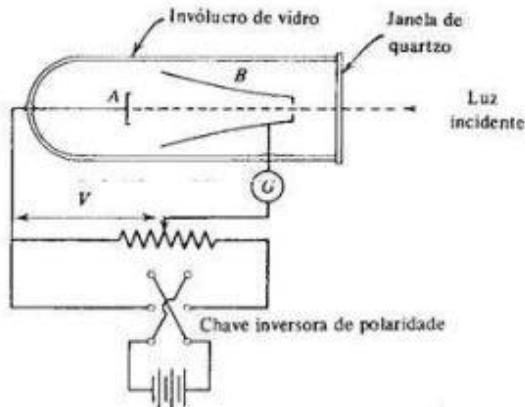


Figura 03 - Aparelho usado para estudar o efeito fotoelétrico
A figura 03 ilustra um aparelho usado para medir o efeito fotoelétrico.

A placa *A* de metal e o coletor *B* estão no vácuo dentro de um recipiente de vidro. A luz monocromática, incidente através de uma janela de quartzo, cai sobre a placa de metal *A* e os fotoelétrons são arrancados da placa. Os elétrons podem ser detectados como corrente elétrica se forem atraídos para o coletor *B* através de uma diferença de potencial *V* estabelecida entre *A* e *B*. O amperímetro *G* mede essa corrente fotoelétrica.

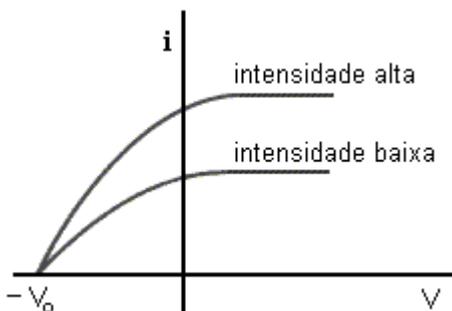


Figura 04 - Gráficos da corrente *i* em função de *V*.

A Figura 04 mostra os gráficos da corrente fotoelétrica em função da diferença de potencial aplicada para duas intensidades diferentes da luz incidente. A frequência da luz incidente é mantida constante. Se *V* é muito grande, a corrente de elétrons atinge um certo valor limite (ou de saturação) no qual todos os elétrons emitidos por *A* são coletados por *B*. Se o sinal da diferença de potencial *V* é invertido, a corrente não cai imediatamente a zero. Isso sugere que os elétrons são emitidos de *A* com alguma energia cinética. No entanto, se essa diferença de potencial tornar-se suficientemente grande, atinge-se um certo valor V_0 , chamado de potencial de corte, a partir do qual a corrente vai a zero. Os gráficos interceptam o eixo horizontal no mesmo ponto, isto significa que a energia cinética máxima dos fotoelétrons não depende da intensidade da luz incidente.

3.2.1 - A equação de Einstein

Com isto, quando um elétron é emitido do metal, sua energia cinética é $K = h\nu - w$, onde $h\nu$ é a energia do fóton incidente absorvido e w é o trabalho necessário para remover o elétron do metal. Nem todos os elétrons necessitam da mesma energia para escapar do metal. Assim, no caso em que a ligação entre os elétrons seja mais fraca e sem nenhuma perda interna, o fotoelétron vai emergir com a energia cinética máxima K_{\max} , onde:

$$K_{\max} = h\nu - w_o$$

Desse modo, w_o é a energia característica de cada metal sendo chamada de função trabalho, isto é, a energia mínima que o elétron necessita para atravessar a superfície do metal e escapar às forças atrativas que normalmente fazem a ligação do elétron com o metal.

Há alguns aspectos do efeito fotoelétrico que não são explicados pela teoria clássica. São os seguintes:

1. Existe um limiar de frequências.

O efeito fotoelétrico não ocorre em qualquer frequência da luz incidente. Assim, para cada material, existe um limiar de frequências ν_0 específico e a emissão de elétrons não ocorre quando a frequência ν da luz incidente está abaixo do limiar ν_0 .

2. A energia cinética máxima dos fotoelétrons K_{\max} depende da frequência da luz e não depende da intensidade da luz. Ao se aumentar a intensidade I da luz incidente, cresce o número de elétrons emitidos por segundo, mas não a energia cinética máxima dos fotoelétrons. Com isto, a energia cinética máxima vai crescendo na medida em que aumenta a diferença entre a frequência da luz incidente ν e o limiar ν_0 .

3. Não ocorre retardamento. A corrente fotoelétrica é detectada no mesmo momento em que a luz começa a incidir sobre o material. Não foi observado um retardamento maior que 10^{-9} s.

Assim, a teoria clássica não consegue explicar porque existe uma energia cinética máxima dos fotoelétrons e esta energia depende apenas da frequência da radiação incidente.

Os aspectos do efeito fotoelétrico explicado pela teoria de Einstein:

1. O limiar de frequências.

A energia cinética do elétron é positiva. Portanto, decorre da equação $K_{\max} = h\nu - w_o$ que o efeito fotoelétrico pode ocorrer somente se

$$h\nu - W > 0.$$

Logo, uma radiação cuja frequência é menor que

$$\nu_o = \frac{W}{h}$$

não causa a emissão de fotoelétrons.

2. A energia cinética máxima dos fotoelétrons.

Segundo a equação de Einstein $K_{\max} = h\nu - w_o$, a energia máxima dos fotoelétrons é uma função linear da frequência.

3. Não existe retardamento.

Assim, se a emissão de um fotoelétron ocorre através da interação de um único fóton com um elétron, os fotoelétrons começam a sair da placa logo após a luz ser ligada.

A relação entre a frequência e o potencial de corte

A energia cinética máxima K_{\max} dos fotoelétrons é dada pela equação de

$$\text{Einstein } K_{\max} = h\nu - w_0.$$

Será detectada uma corrente fotoelétrica apenas se a diferença de potencial V satisfazer a desigualdade

$$K_{\max} \geq eV$$

O valor máximo de V que ainda satisfaz esta desigualdade é dado por

$$V_0 = \frac{1}{e} (h\nu - w).$$

Este é o potencial de corte, uma vez que, se $V > V_0$ (isto é, $-V < -V_0$) o fotoelétron emitido de uma placa A não terá energia suficiente para atingir o coletor B .

Assim, a teoria de Einstein explica porque existe um potencial de corte V_0 e exprime em termos da função trabalho para o material e da frequência da luz incidente ν . E este potencial de corte V_0 não depende da intensidade da luz incidente e é uma função linear frequência da luz incidente.

Segundo a teoria de Einstein, a emissão de um fotoelétron é causada por um único fóton. Portanto, a emissão de fotoelétrons começa imediatamente quando a luz começa incidir sobre a superfície do material.

A equação de Einstein só foi confirmada experimentalmente pelo físico norte-americano Robert Millikan (1868-1953), que passou dez anos testando e em 1915 diria: “fui compelido a validá-la sem ambiguidade, apesar de seu caráter não razoável, pois parecia violar tudo o que sabíamos sobre a interferência da luz”.

E em 1921, Albert Einstein ganhou o Prêmio Nobel de Física por ter previsto teoricamente a Lei do Efeito Fotoelétrico.

Atualmente, a luz é identificada como tendo um caráter dual, isto é, uma característica dupla de onda-partícula.

Capítulo 4

O efeito fotoelétrico hoje e suas aplicações

Quando passamos a observar a bibliografia presente nos livros didáticos das graduações que apresentam o efeito fotoelétrico vemos que a teoria é apresentada como uma suposição de Einstein em que um pacote de energia está inicialmente localizado em um pequeno volume do espaço, e que permanece localizado à medida que se afasta da fonte com velocidade c . Tal quantidade de energia associada a esse pacote está ligada diretamente a frequência (ν) e a constante de Planck (h).

Assim, usando uma linguagem matemática podemos escrever tal quantidade de energia (E) como sendo:

$$E = h\nu .$$

Outra suposição de Einstein era que tal pacote de energia (quantum ou fóton) sempre será absorvido completamente pelo elétron, nunca parcialmente absorvido.

Ao observar o experimento a ser explicado (experiência de Hertz citada anteriormente) percebia-se que em algumas frequências não havia a emissão de elétron do metal. Assim sendo, poder-se-ia dizer que para cada metal havia uma energia mínima para que o elétron fosse ejetado da placa. Definiu-se a função trabalho (ω_0), que matematicamente pode ser escrita como:

$$\omega_0 = h\nu_0 ,$$

onde ν_0 é a frequência mínima que permite a liberação do elétron da placa.

Entretanto muitas vezes a frequência incidente sobre a placa era maior que a frequência mínima e como postulado por Einstein, toda a energia do fóton era absorvida pelo elétron. Tal

energia excedente fazia com que o elétron fosse ejetado com certa quantidade de energia cinética (K), e podemos escrever matematicamente da seguinte forma:

$$K = h\nu - \omega_0 .$$

Apesar das controvérsias teóricas sobre o efeito fotoelétrico na época, a explicação de Einstein mostrou-se correta e hoje o efeito é largamente utilizado na indústria de eletrônicos, no desenvolvimento de componentes sensíveis a luz, conhecidos como elementos fotossensíveis. Eles se baseiam em dois processos. Um deles é a quebra de ligações covalentes em semicondutores devido a ação dos fótons (processo é chamado de efeito fotoelétrico interno). É muito utilizado nas resistências fotoelétricas chamadas de LDR, como também, nos fotômetros que transformam a energia luminosa em elétrica. Assim, com o mesmo princípio estão as pilhas solares que são utilizadas em foguetes, calculadoras eletrônicas. Outros exemplos de aplicação são as portas automáticas e o acendimento automático de lâmpadas.

Um segundo processo trata da emissão fotoelétrica que é muito usada em válvulas fotomultiplicadoras, válvulas captadoras de imagem e células fotoelétricas.

Assim, podemos citar a aplicação do efeito fotoelétrico na filmadora portátil de vídeo onde a captura da luz visível também é feita por dispositivos fotoelétricos o CCD (Charge-Coupled Device ou dispositivo de carga acoplada) que dará origem a um pixel da imagem digital final.

Na área da astronomia os dispositivos CCD estão sendo cada vez mais utilizados nos telescópios para registrar imagens de objetos no espaço e mesmo em regiões escuras onde visivelmente não existe nenhum objeto, o CCD consegue somar fóton por fóton ao longo do tempo armazenando imagens até mesmo de objetos cuja radiação eletromagnética que chega a Terra é muito fraca.

O uso de placas solares onde ocorre a conversão da energia solar em energia elétrica, geralmente utiliza-se o silício que pode ser dopado (é a mistura de átomos de silício com de fósforo, fazendo com que apareçam elétrons livres através de um

compartilhamento de elétrons). Com isto, os elétrons emitidos pela placa de silício são capturados e, devido a campos elétricos formados pelos materiais que constituem a placa geram uma corrente elétrica.

Capítulo 5

Referencial teórico

Ao longo das últimas décadas temos vivenciado um constante questionamento sobre o processo ensino-aprendizagem que vem ocorrendo dentro do ambiente escolar, pois o rendimento dos alunos vem piorando ano após ano, a evasão escolar continua acontecendo, entre tantos outros problemas. Tem-se buscado alternativas que venham a minimizar tais problemas e que primem pela excelência nos resultados de um modo geral.

Tendo em vista uma possível melhoria no ensino de ciências como um todo, buscou-se na aplicação do projeto o uso de algumas alternativas pedagógicas diferenciadas que fogem do método tradicional, que se encontra arraigado dentro das escolas.

Desde o ventre materno o ser humano interage com as pessoas a sua volta e, à medida que isso acontece, vai agregando conhecimentos e dessa forma vai formando a sua concepção de mundo. Não importa se o seu conceito está cientificamente correto ou não, na grande maioria das situações, as pessoas têm conhecimento sobre as coisas que as cercam e tal situação precisa ser levada em consideração na hora do planejamento, pois é importante que a partir deles se construam os novos conhecimentos cientificamente corretos.

Vivemos em uma sociedade onde qualquer notícia, não importa a sua relevância ou enfoque, ganha o mundo apenas em um clicar do botão de um mouse. Dentro dessa perspectiva, não é difícil acreditar que o estudante teve acesso à boa parte dos conhecimentos que estão presentes na sala de aula. Com isso em mente, faz-se necessário ter como ponto de partida o conhecimento prévio do aluno sobre o assunto.

De acordo com Mortimer (1996, p. 21):

“Os estudos realizados sob essa perspectiva revelaram que as ideias alternativas de crianças e adolescentes são pessoais, fortemente influenciadas pelo contexto do

problema e bastante estáveis e resistentes à mudança, de modo que é possível encontrá-las mesmo entre estudantes universitários”.

Percebe-se que se as mesmas não forem levadas em consideração a parte cognitiva do aluno permanecerá inalterada e após os estudos sobre o assunto irão prevalecer tais concepções prévias em relação às concepções cientificamente corretas.

Com o objetivo de fazer uma mudança efetiva no conhecimento do estudante, de acordo com Driver (apud Mortimer, 1996, p. 26):

"Processo adaptativo no qual os esquemas conceituais dos aprendizes são progressivamente reconstruídos de maneira a concordarem com um conjunto de experiências e ideias cada vez mais amplo".

Assim, trata-se de apresentar ao aluno visões científicas que venham a possibilitar a solução de uma gama cada vez maior de problemas com a perspectiva de estabelecer um conhecimento mais próximo do que a comunidade científica entende como correto.

Para efetivar tal proposta é indispensável que o profissional da educação se torne um mediador no processo ensino-aprendizagem. Quando pensamos no significado da educação e vamos ao dicionário Larousse, encontramos que a educação envolve “despertar as aptidões naturais do indivíduo e orientá-las segundo os padrões ou ideais de uma determinada sociedade, aprimorando-lhes as faculdades intelectuais, físicas e morais”.

Dentro de uma perspectiva de orientação, vemos que a postura do professor precisa deixar de ser tradicional. Dessa forma, de acordo com Chiovatto (2000, p.6):

“Para que a educação aconteça, é necessário que as informações e conhecimentos façam sentido tanto para quem os transmite quanto para quem os recebe. É preciso que o professor e o aluno, ou visitante de exposição, se apropriem dos conteúdos; tomem posse

deles. Para tanto é preciso que o transmissor, tanto quanto o receptor dos conteúdos, ultrapassem posições passivas e sejam participantes da ação educativa. A educação é, portanto, um processo dinâmico que requer um educador agente e um educando participativo.

Percebemos que importa muito que o aluno, nessa forma de ensinar, se sinta como um protagonista do seu próprio processo de formação acadêmica.

Para tanto, ainda de acordo com Chiovatto (2000, p.1) “para ministrar uma boa aula, é necessário que o professor esteja seguro em relação ao conteúdo a ser tratado, isto é, que conheça o assunto de modo a conduzir discussões produtivas e orientar processos de descoberta por parte dos alunos. Entre sentir-se seguro e ser capaz de esgotar o assunto, no entanto, há uma longa distância.”

Para poder incrementar o processo de descoberta por parte dos alunos, o projeto busca trazer, para o ambiente escolar, tecnologias pedagógicas diferenciadas. Entre elas está o uso de experimentos práticos. Sabemos que as experimentações nas aulas de Física deveriam ser rotineiras, entretanto, percebe-se que, devido à falta de investimento, não existem laboratórios adequados nas escolas e, devido à falta de tempo, o professor em sala de aula acaba não planejando tais atividades.

No que tange ao uso de experimentos na sala de aula, Freire (1997) nos diz que para que exista a compreensão da teoria é preciso experimentá-la.

Mas a atividade experimental envolve não a simples aplicação do experimento. Ramos (2010, p.8) adverte que:

“Para favorecer a superação de algumas das visões simplistas predominantes no ensino de ciências é necessário que as aulas de laboratório contemplem discussões teóricas que se estendam além de definições, fatos, conceitos ou generalizações, pois o ensino de ciências, a nosso ver, é uma área muito rica para se explorar diversas estratégias metodológicas, no qual a natureza e as transformações nela ocorridas estão à

disposição como recursos didáticos, possibilitando a construção de conhecimentos científicos de modo significativo.”

Nessa mesma ótica Kogler (2014, p. 4138) nos diz que:

“O objetivo das atividades experimentais no ensino não deveria se limitar à prática de destrezas manuais ou técnicas, mas, sim, ao desenvolvimento de atitudes e destrezas cognitivas de elevado nível intelectual. Nessa perspectiva, o conhecimento científico não se faz sobre fatos, mas sobre ideias, uma vez que as entidades conceituais não estão nos fatos para serem vistas”.

De acordo com GIORDAN (1999, p.1) além de todos esses diferenciais a atividade experimental tende a:

“Despertar um forte interesse entre os alunos em diversos níveis de escolarização. Em seus depoimentos, os alunos também costumam atribuir à experimentação um caráter motivador, lúdico, essencialmente vinculado aos sentidos. Por outro lado, não é incomum ouvir de professores a afirmativa que a experimentação aumenta a capacidade de aprendizado, pois funciona como meio de envolver o aluno nos temas que estão em pauta.”

Ainda com o intuito de promover atividades diferenciadas e significativas, trouxemos para o ambiente escolar o uso de simulações computacionais. Tal atividade pedagógica não vem com o intuito de substituir a parte experimental, mas na realidade vem com o intuito de aproximar o aluno da ciência por intermédio de um equipamento que o mesmo usa desde que nasceu e isso acaba se tornando atraente para ele e ao mesmo tempo tem um cunho pedagógico no processo ensino-aprendizagem.

Araújo (2004, p.7) apresenta:

“Como as principais potencialidades para o uso do computador no ensino de Física: coleta

e análise de dados em tempo real; simulação (estática e dinâmica) de fenômenos físicos; instrução assistida por computador; administração escolar; e estudo de processos cognitivos.”

Ao perceber a abrangência do uso de simulações, vemos que se usada de maneira correta e com um planejamento adequado pode trazer inúmeros resultados positivos ao ambiente escolar. Para tanto faz-se necessário que o professor conheça o simulador que será usado em todos os seus detalhes e que planeje com antecedência a aula na qual ele será usado pensando nos seus objetivos e fazendo ligações com as aulas anteriores e posteriores, fazendo com que o mesmo não se transforme em mera visita ao laboratório de informática.

Capítulo 6

A descrição do projeto

O projeto foi aplicado na Escola de Educação Básica Governador Ivo Silveira, localizada à Avenida Barão do Rio Branco, sem número, no centro de Palhoça (SC). Sua aplicação foi devidamente autorizada pela direção geral da referida escola, conforme apêndice A representada pela pessoa do Senhor Ademir Stahelin.

A aplicação do projeto foi realizada em uma turma do terceiro ano do ensino médio e a abordagem do tema proposto no material didático de apoio foi desenvolvido em cinco aulas, com duração de 45 minutos cada, no período de 17 de novembro a 01 de dezembro de 2015, respeitando o calendário escolar da instituição. A tabela 1 nos apresenta a distribuição das aulas planejadas.

Tabela 1 - Distribuição das aulas planejadas durante os encontros

Data	17/11	19/11	24/11	26/11	01/12
Nº de aulas	01	01	01	01	01

A seguir, faremos uma descrição do desenvolvimento dos principais tópicos do projeto.

6.1 – Descrição da aplicação do material em sala de aula.

6.1.1. Tópico: Aplicação do pré-teste.

Conforme descrito no referencial teórico, é necessário saber as concepções alternativas dos alunos. Com esse objetivo, no primeiro dia de aula, aplicou-se um pré-teste para constatar o nível de conhecimento dos alunos sobre o tema que seria discutido posteriormente, pois ter ciência dos conhecimentos prévios dos alunos sobre o assunto serviria como referencial de

aprendizagem, e possíveis replanejamentos das atividades a serem apresentadas aos mesmos.

Este pré-teste é composto por seis questões, das quais quatro eram objetivas de escolha binária, “SIM” ou “NÃO”, uma quinta questão, onde, caso a resposta fosse “SIM”, o aluno deveria citar quais as fontes do seu conhecimento sobre o efeito fotoelétrico e uma última questão aberta que versava sobre o que o aluno conhece sobre Albert Einstein. Tal pré-teste se encontra no apêndice B.

Para corroborar com a coleta de informações sobre o projeto como um todo, foi solicitado que ao final da última aula de aplicação do projeto os alunos relatassem, através de um texto, os conhecimentos adquiridos sobre o tema proposto, para que, dessa forma, fosse possível uma análise da evolução do entendimento dos alunos sobre o tema exposto.

Com o objetivo de introduzir o tema para os alunos, ao final da aplicação do pré-teste foi solicitado aos mesmos que lessem o material didático, que se encontra no apêndice D, para que na aula seguinte ocorresse uma discussão inicial sobre a história da luz.

Tal leitura também proporcionou a muitos um primeiro contato com o assunto e o mesmo foi utilizado como um embasamento para o desenvolvimento das aulas planejadas.

6.1.2 - Tópico: Um resgate da história da luz.

Metodologia: Aula expositiva e dialogada.

Caracteriza-se pela exposição de conteúdos com a participação ativa dos estudantes, considerando o conhecimento prévio dos mesmos, sendo o professor o mediador para que os alunos questionem, interpretem e discutam o objeto de estudo.

Objetivos: - Fazer uma abordagem conceitual e geral sobre a descoberta do efeito fotoelétrico ao longo da história.

- Levar o aluno a compreender o fenômeno do efeito fotoelétrico.

Supondo ter sido feita a leitura proposta ao final da aula anterior, neste tópico, foi trabalhada a evolução do conhecimento humano sobre a luz ao longo da história, tendo sido apresentada

a evolução do pensamento científico no estudo da luz, as teorias clássicas até o conceito de luz abordado por Albert Einstein a partir da teoria dos quanta de luz (conceito de quantização), através do efeito fotoelétrico no início do século XX.

Para isto, iniciamos explorando a parte teórica, com uma abordagem histórica e científica motivando os alunos a se envolverem com a discussão da natureza da luz, dando informações para que eles fizessem questionamentos sobre o tema proposto.

Referente aos aspectos históricos, foram abordadas as várias concepções dos antigos filósofos sobre a luz, como, por exemplo, Aristóteles (384-322 a.C.), que tendo compreendido a natureza vibratória do som, comparou-a com a luz e tentou explicar a sua procedência. Porém, tinha a concepção de que a luz era corpuscular (alguma coisa emitida pelo olho). Séculos mais tarde, a luz passa a ser explicada através de uma outra teoria, uma teoria ondulatória. Tais conflitos de ideias filosóficas predominaram até o século XVII, quando a discussão passou para o plano científico.

Na sequência, foram abordados os aspectos sobre a natureza ondulatória da luz, destacando o Princípio de Huygens e o experimento da Fenda Dupla de Young, salientando que Newton defendia que a natureza corpuscular da luz.

Enfatizaram-se as pesquisas de James C. Maxwell, que conseguiu sintetizar em quatro equações todas as leis experimentais do eletromagnetismo. Nas equações aparece o fato de que as velocidades das ondas eletromagnéticas coincidiam com a velocidade da luz, o que lhe indicou que a luz era de natureza eletromagnética e em 1887, o físico alemão Heinrich Rudolf Hertz, confirmou experimentalmente as previsões de Maxwell. Ele demonstrou que as ondas eletromagnéticas tinham todas as propriedades das ondas luminosas e no mesmo experimento ele descobriu e registrou um novo fenômeno para a luz, que posteriormente seria identificado como de natureza corpuscular. Tal fenômeno, hoje é conhecido como Efeito fotoelétrico.

Também foi abordada a contribuição de outros pesquisadores no decorrer da história sobre o efeito fotoelétrico, entre eles Philip Lenard e Max Planck.

Foi ressaltado que a física passava por um momento onde as pesquisas de Max Planck para a radiação de corpo

negro não condiziam com as explicações da física clássica, impossibilitando a obtenção de uma equação matemática dentro dos princípios clássicos. Mas Max Planck conseguiu obter uma expressão matemática que batia com os resultados experimentais ao fazer a suposição que os átomos irradiantes das paredes da cavidade estudada se comportavam como osciladores harmônicos e que cada um oscilava com uma dada frequência. Adotou uma segunda suposição, a de que cada oscilador podia absorver ou emitir energia de radiação somente em uma quantidade proporcional a sua frequência. A constante de proporcionalidade levou seu nome. Tal situação contribuiu para que Albert Einstein desenvolvesse a sua teoria da quantização para explicar o efeito fotoelétrico, que não se conseguia explicar baseado na teoria ondulatória da luz.

Com isto, foi explicado aos alunos o efeito fotoelétrico com ênfase conceitual na expressão matemática para se determinar a energia cinética dos fotoelétrons emitidos em uma placa metálica iluminada por ondas eletromagnéticas de determinadas frequências. Ressaltou-se que tal equação só foi comprovada experimentalmente pelo físico norte-americano Robert Millikan em 1915. Alguns anos mais tarde, em 1921, Albert Einstein ganharia o Prêmio Nobel de Física por ter desenvolvido teoricamente a Lei do Efeito Fotoelétrico no artigo intitulado “Um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz”, publicado em 1905.

Ao final da aula haviam sido apresentados os fenômenos que comprovavam o caráter ondulatório da luz e ao mesmo tempo, os fenômenos que corroboravam com o caráter corpuscular da luz, ilustrando assim, a transição da Física Clássica para a Física Moderna, através do efeito fotoelétrico, segundo a teoria dos quanta de Albert Einstein.

Como atividade sobre o conteúdo trabalhado foi entregue uma lista de exercícios, que está no (apêndice C), para que fossem resolvidos.

6.1.3. Tópico – Experimento com a placa de fotocélula

Metodologia: Aula de demonstração experimental.

Objetivos: Aproximar o aluno do fenômeno através da experimentação, onde a interação e a análise neste momento contribuem para o aprendizado.

Materiais utilizados: Um multímetro; uma placa fotovoltaica.

Iniciou-se a aula lembrando o tema da aula anterior com o objetivo de discutir alguma eventual dúvida que tenha ficado. Foi perguntado sobre a atividade de exercícios que realizaram em casa, sendo que tal proposta era de fazer a ligação para essa nova aula.

Iniciou-se a aula contextualizando-se o tema proposto que era o efeito fotoelétrico. Para aguçar a curiosidade dos alunos, foi perguntado se eles conheciam alguma aplicação do efeito fotoelétrico no seu dia a dia. Eles começaram a responder e foi-se registrando no quadro o que eles comentavam. Notou-se que a maioria havia lido previamente o material do projeto que foi sugerido na primeira aula e, portanto, sabiam algumas aplicações do efeito fotoelétrico. Na sequência, foi mostrado a eles o aparelho da foto 1 e perguntado se eles o conheciam. Alguns alunos identificaram o produto como sendo usado para iluminar jardins, pátios e calçadas. A minoria não conhecia o produto.



Foto 1

O produto apresentado aos alunos era uma luminária de uso externo. Entretanto, ao serem instigados a explicar como ocorria o funcionamento da luminária, surgiu a curiosidade de como a luz acenderia sem utilizar fiação elétrica e conexão com uma tomada.

As respostas foram variadas como, por exemplo, a que dizia que acendia quando escurece; liga algo, mas não sabia como; alguns não tinham a menor ideia de como funcionava e outros que a luz acendia guardando a luz solar numa placa.

Então a luminária foi desmontada, foto 2 e 3, e foi mostrada a eles a parte interna e explicado o seu funcionamento. A placa fotovoltaica recebe a luz solar convertendo-a em energia elétrica que é armazenada na pilha interna e ao anoitecer utiliza esta energia armazenada para manter acesa a lâmpada de LED que faz parte do circuito.



Foto 2



Foto 3

Os alunos questionaram o funcionamento da placa voltaica. Assim, na sequência, foi mostrado a eles o multímetro, foto 4, e explicado que é um equipamento eletrônico que serve para medir grandezas elétricas e incorpora diversos instrumentos de medição, como voltímetro, ohmímetro, amperímetro entre

outros. Tal equipamento é utilizado em bancadas de trabalho em laboratórios de eletrônica em geral ou em serviços de campo.



Foto 4
Foi mostrada a placa voltagem.

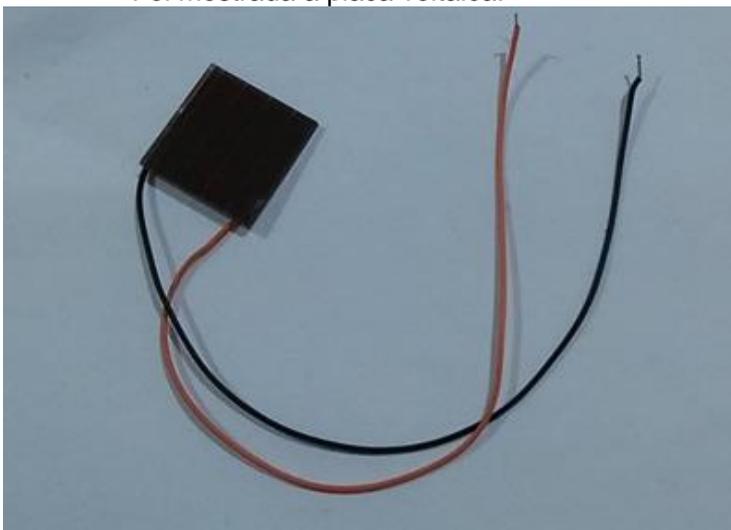


Foto 5

Como a aula era demonstrativa, a turma foi dividida em 6 equipes compostas por 4 ou 5 alunos.

Foi explicado que cada equipe, ao ser chamada, iria à mesa da professora observar o experimento que foi dividido em duas etapas:

1º momento - A medição da placa dentro da sala de aula.



Foto 6 - Montagem experimental com a fotocélula não exposta ao sol

Neste momento foi feita a devida ligação do voltímetro à placa fotovoltaica e a mesma foi mantida sem estar exposta ao sol. Foi colocada uma caixa em cima da placa para simular a falta de luz e foi realizada a medição. Nesse momento os alunos puderam verificar, através do multímetro, que nenhuma diferença de potencial foi produzida pela placa solar.

2º momento - A medição da placa exposta ao sol.



Foto 7 – Montagem experimental com a fotocélula exposta ao sol

A seguir a placa voltaica foi exposta à luz solar e foi realizada nova medição. Nesse momento, foi possível fazer uma conexão das teorias anteriormente vistas, com a comprovação experimental da mesma.

Durante estes dois momentos os alunos foram orientados para que observassem o que ocorria em cada momento do experimento e registrassem no caderno de física o valor da voltagem que aparecia no visor do multímetro.

Os alunos mostraram-se envolvidos durante as demonstrações do experimento, registraram e discutiram em seus grupos sobre o fenômeno.

Na sequência foi aberta a discussão com a turma sobre o que havia ocorrido em cada momento do experimento e as suas conclusões.

Muitos não conheciam o multímetro e acharam interessante o uso do aparelho, assim como, poder ver a placa voltaica e verificar no exato momento o fenômeno ocorrendo ao se visualizar o valor da voltagem.

Nesse momento foi possível fazer uma conexão das teorias anteriormente vistas, com a comprovação experimental

da mesma contribuindo para que o aluno tenha um aprendizado significativo.

6.1.4. Tópico – Simulador

Metodologia: Aula prática com simulador.

Objetivos: Visualizar e interagir com a experiência do efeito fotoelétrico.

Para esta aula, foi escolhida uma metodologia que levasse os alunos a visualizarem os fenômenos físicos apresentados nas aulas anteriores, tornando-os parte do experimento através da interação com as variáveis que fazem parte do efeito fotoelétrico através de uma simulação computacional.

Para o uso do simulador foram seguidos alguns critérios, procurando proporcionar ao estudante uma simulação que contivesse o menor grau de dificuldade, além do conforto e facilidade de manipulação. Assim, optou-se por utilizar a simulação do Efeito Fotoelétrico elaborada pelo projeto PhET da Universidade do Colorado (EUA), que disponibiliza gratuitamente simulações computacionais interativas de diversos fenômenos Físicos.

O simulador do projeto PhET sobre o efeito fotoelétrico está disponível no sitio https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric. Ele contribuiu para a assimilação dos conteúdos desenvolvidos anteriormente, já que os alunos puderam interagir com o simulador através do laboratório de informática. Este simulador contemplava e completava o conteúdo trabalhado e motivava os alunos a pesquisarem mais sobre o tema.

Nesta aula, o objetivo de se utilizar o simulador foi de se identificar os fenômenos quantitativamente, interagir com o objeto e extrair informações que contribuíssem para o entendimento do tema abordado. Os alunos se organizaram em duplas ou trios para manipularem o simulador no computador e, sob a mediação da professora, foram conduzidas as etapas para o desenvolvimento da aula.

1º Momento – Apresenta-se a placa de Sódio (material selecionado no canto superior direito da tela do simulador). A seguir classificou-se a frequência através da cor “vermelha” e ao se variar a intensidade não houve a liberação de elétrons.

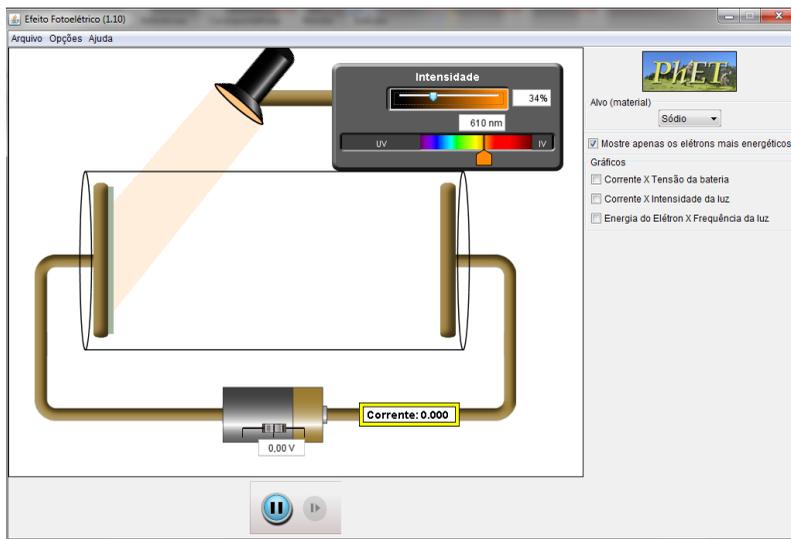


Figura 5 - Simulador – Tela uso da frequência.

2º Momento – Na sequência, ao alterar a cor (frequência da onda eletromagnética) percebe-se que num determinado momento os elétrons saem da placa de Sódio e alcançam a placa do lado oposto. Passa-se a observar que o voltímetro (pilha) começa a apresentar leitura diferente de zero.

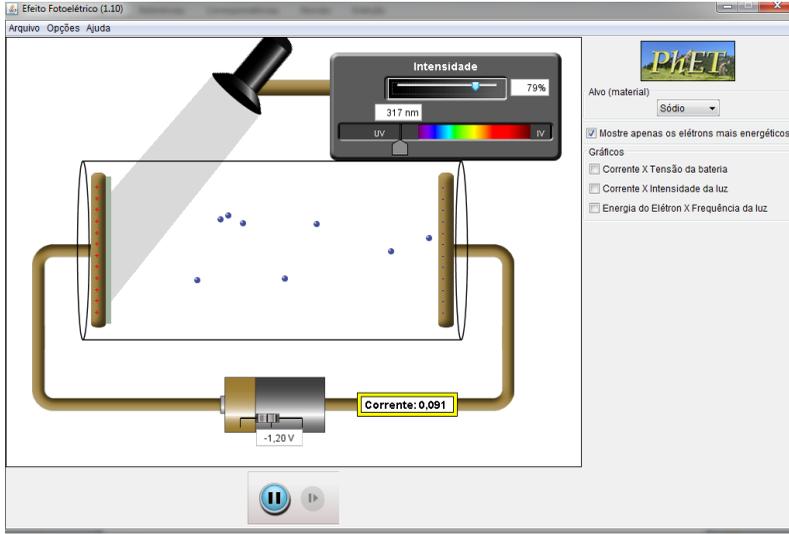


Figura 6 - Simulador – Tela: deslocamento dos elétrons.

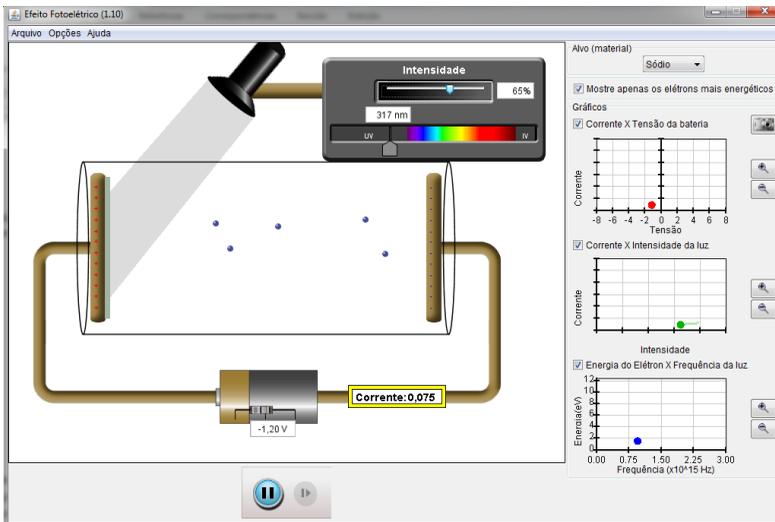


Figura 7 - Simulador – Tela gráficos.

3º Momento - Neste circuito ainda é possível verificar a intensidade da corrente elétrica gerada, ao manipular o valor da

diferença de potencial entre as placas. O quadro ao lado apresenta as possibilidades de se traçar gráficos entre as variáveis que descrevem tal fenômeno.

Durante a aula, os alunos interagiram com o simulador e puderam explorar a intensidade, a frequência, puderam escolher diversos materiais para verificarem a frequência mínima da emissão dos elétrons, ou seja, a função trabalho. Durante a aula discutia-se e fazia-se um paralelo com o que se via no simulador e o que vinha sendo trabalhado historicamente, contribuindo para o entendimento dos conceitos físicos junto com a visualização na prática.

6.1.5 Tópico – Finalização do projeto.

Nesta última aula, iniciou-se discutindo sobre a aplicação do efeito fotoelétrico no nosso cotidiano, que tecnologias utilizam este princípio físico.

Então se abriu a discussão no grupo e os alunos pontuaram onde se aplica hoje o efeito fotoelétrico no cotidiano, assim como os benefícios que isto traz à sociedade.

Na sequência, também foi solicitado aos alunos que relatassem o que tinham aprendido com as aulas sobre o efeito fotoelétrico. Neste momento, os alunos comentaram que o assunto abordado se tornou mais interessante ao longo das aulas e que texto inicial serviu de base para se entender as aulas posteriores e a resolução das atividades propostas.

Eles salientaram que o contato com o experimento e o uso do simulador, tornou as aulas mais atrativas, despertando a curiosidade para saber mais sobre o tema. E ao conseguirem visualizar e interagir com o simulador, acabou ocorrendo um bom entendimento do fenômeno.

Ao final, foi pedido que os educandos elaborassem um texto no qual relatassem o que aprenderam sobre o tema exposto nas aulas anteriores.

Capítulo 7

Resultados do projeto

A turma 303 da Escola de Educação Básica Governador Ivo Silveira, onde foi realizada a aplicação das aulas do projeto, contava com 33 alunos.

Ao iniciarmos o projeto, na primeira aula foi aplicado um pré-teste com o intuito de analisar o conhecimento prévio dos alunos sobre os itens abordados de física moderna e o interesse deles em aprendê-los, em especial o efeito fotoelétrico.

Na primeira questão foi perguntado sobre o que o aluno sabia sobre o significado de alguns termos relacionados à física entre eles: efeito fotoelétrico, quantização, física moderna e fóton. Os alunos teriam que responder sim ou não.

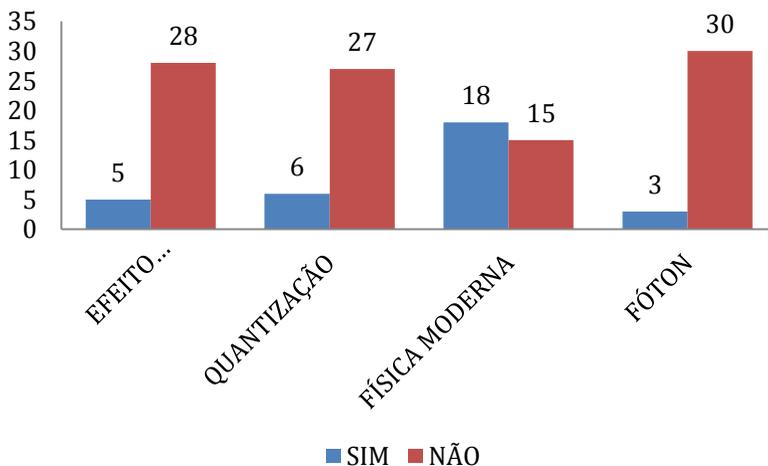


Figura 8 – Questão 1

A figura 8 mostra que para o item efeito fotoelétrico, cinco assinalaram sim e vinte e oito assinalaram não; para o item quantização seis assinalaram sim e vinte e sete assinalaram não; para o item física moderna dezoito assinalaram sim e quinze não e para o item fóton três assinalaram sim e trinta não.

Na segunda questão foi perguntado se os alunos já teriam tido algum contato com algum material sobre o assunto efeito fotoelétrico, entre eles, textos, livros, artigos, programas de tv, internet ou outros. Os alunos tinham como opções a resposta sim e citar quais fontes, ou não.

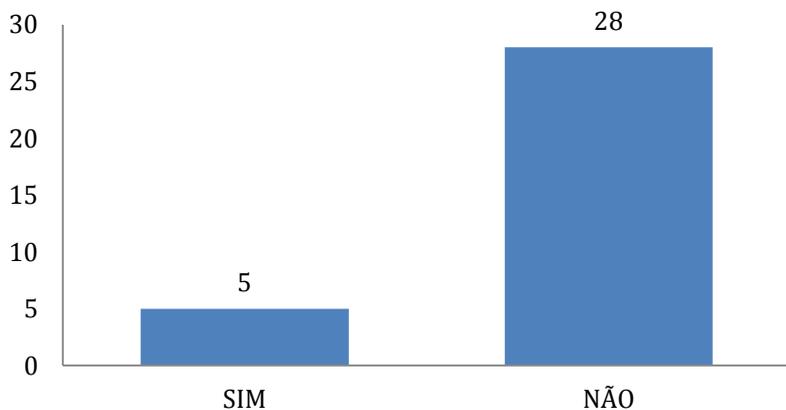


Figura 9 – Questão 2

Destes alunos, um ouviu falar sobre o efeito fotoelétrico num programa da Discovery Channel, um leu numa apostila do seu professor de física, um leu em livros de física moderna e dois pesquisaram na internet. Os demais 28 alunos não tiveram contato com nenhum material sobre o efeito fotoelétrico.

Na terceira questão, foi perguntado se os alunos conheciam algo sobre o tema efeito fotoelétrico e seis assinalaram que sim e vinte e sete assinalaram que não.

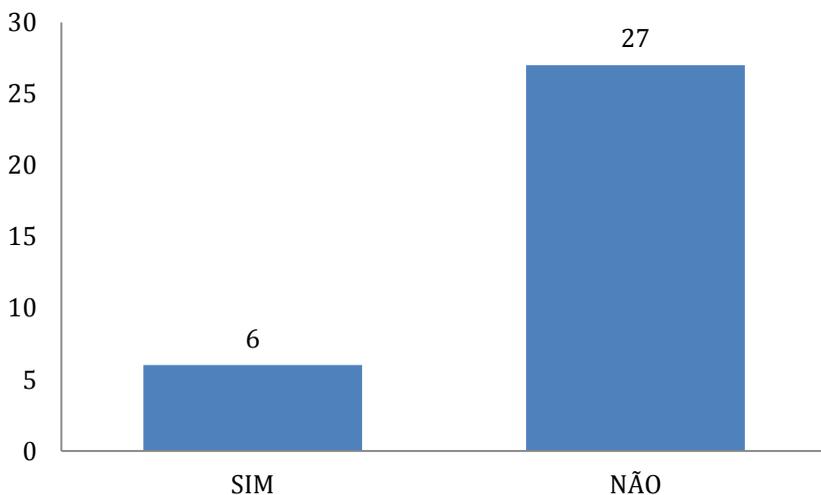


Figura 10 – Questão 3

Na quarta questão, foi perguntado se os alunos conheciam alguma aplicação tecnológica do efeito fotoelétrico. Trinta e um alunos assinalaram não e dois assinalaram sim.

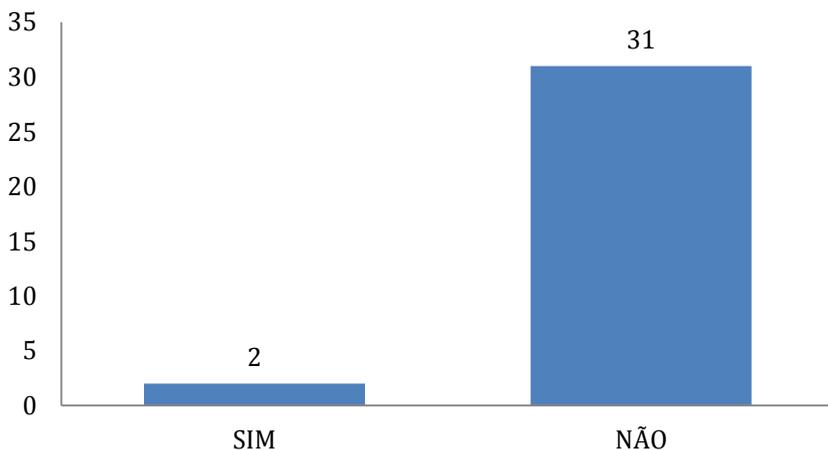


Figura 11 – Questão 4

Na quinta questão, foi perguntado se o aluno gostaria de estudar a respeito do efeito fotoelétrico. Dos trinta e três alunos, vinte e nove assinalaram sim e quatro assinalaram não.

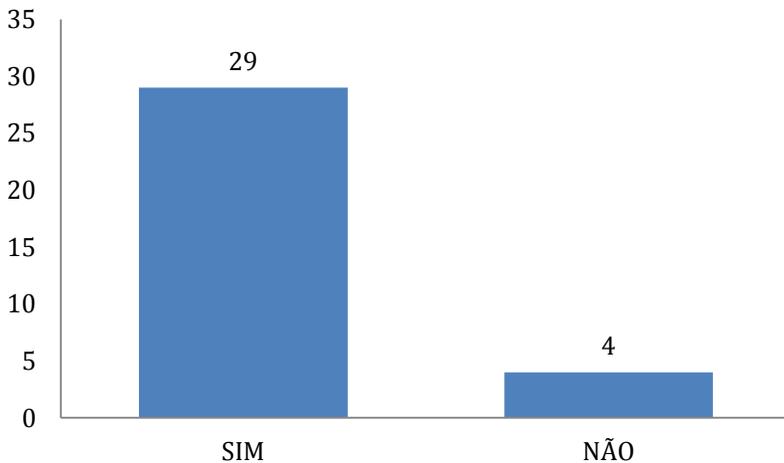


Figura 12 – Questão 5

Na sexta questão, foi perguntado o que os alunos conheciam sobre Albert Einstein e quase todos responderam que já tinham algum conhecimento.

As respostas foram interessantes, entre elas, onze alunos descreveram que o conheciam como um físico moderno, oito como pai da física, sete como professor, físico e matemático, treze alunos o conheciam como grande e famoso cientista, dez como criador da famosa fórmula da energia $E=mc^2$, três não responderam e dois não o conheciam.

No segundo momento didático, foi trabalhado o texto sobre o resgate da história da luz, onde os alunos participaram das discussões sobre o assunto proposto, se envolveram procurando compreender os fatos e a sequência histórica e as equações matemáticas que fazem parte do tema trabalhado.

Na sequência, ao iniciar a resolução formal de exercícios, alguns alunos apresentaram dificuldades de matemática. No momento de resolverem as equações que aparecem no decorrer da resolução dos exercícios, por mais que em algumas escolas estaduais exista o PENOA - Programa Estadual Novas Oportunidades de Aprendizagem na Educação Básica de matemática, percebe-se pouco comprometimento e interesse dos alunos e tais aulas acabam não trazendo o resultado de aprendizagem esperado, ou seja, mantêm-se as dificuldades

matemáticas que se observa no momento da correção das atividades. No que diz respeito à interpretação, as dificuldades enfrentadas pelos alunos refletem a falta de leitura que os ajudaria no entendimento do que se quer obter para a resolução dos problemas, pois com mais leitura, tem-se mais vocabulário e conseqüentemente uma maior compreensão das ideias básicas e do que é pedido em cada exercício. Com isto, percebe-se claramente a necessidade de se estimular a leitura e também avançar muito mais num resgate da matemática básica para estes alunos.

Percebe-se que muitos alunos efetivamente não estudam os conteúdos apresentados em sala de aula. Isto é observado nas questões que foram discutidas exaustivamente, e que mesmo assim o aluno tem enorme dificuldade de identificar a resposta correta, mostrando assim a falta de apreensão dos conceitos físicos que são necessários para a resolução dos problemas.

O gráfico abaixo mostra uma análise da atividade avaliativa da turma.

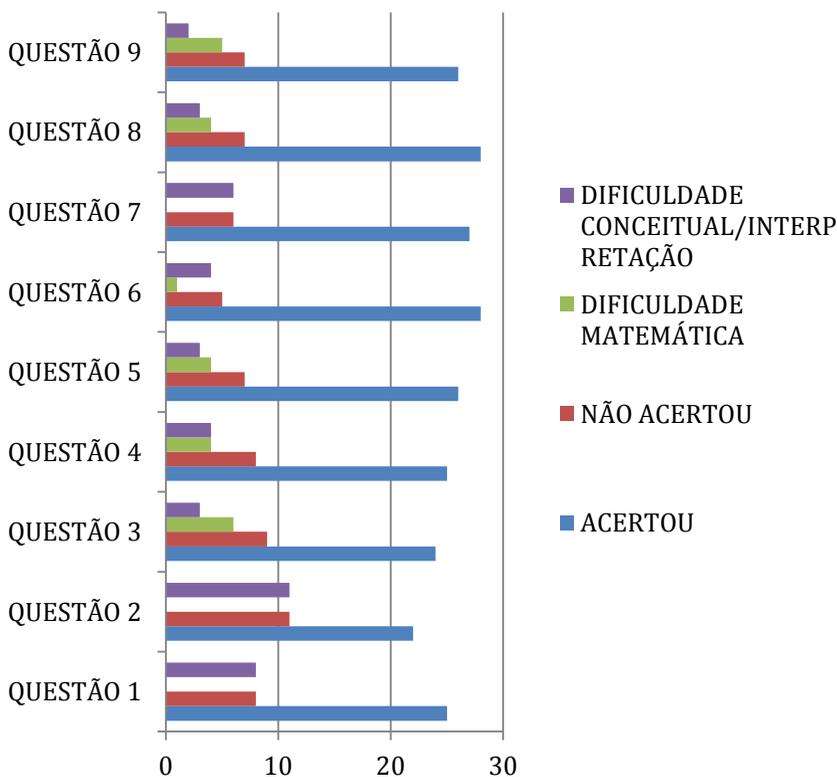


Figura – 13 – Análise da atividade avaliativa.

Na questão dez, se pediu o conceito do efeito fotoelétrico e, no geral, constatou-se que a turma assimilou como ocorre o efeito, mostrando capacidade razoável para descrevê-lo.

Um momento que contribuiu para estimular a curiosidade dos alunos foi a atividade experimental com as placas voltaicas e o multímetro. Tal atividade promoveu relatos nos textos dos alunos afirmando que, ao vivenciarem na prática o fenômeno, este tornou-se muito mais compreensível, e acabou servindo para complementar a teoria ministrada anteriormente.

Outro momento que veio a contribuir para a assimilação da teoria trabalhada com os alunos foi o simulador que proporcionou a interação com as variáveis que fazem parte do fenômeno e o computador. Com isto, assimilaram informações

que contribuíram para o entendimento do fenômeno. Segundo o relato de alguns alunos, este momento de interação, onde puderam manipular o fenômeno, tornou a aula mais interessante. Também sugeriram que se tenha mais aulas experimentais com simuladores e que a escola proporcione mais computadores para que os alunos possam interagir individualmente com o fenômeno simulado.

Coube aqui salientar que, a despeito da enorme utilidade de simuladores, não se deve esquecer que a física é uma ciência baseada na experimentação e, portanto, enfatizou-se a importância maior da realização dos experimentos.

Para finalizar, os alunos discutiram sobre as tecnologias que utilizam o efeito fotoelétrico e se constatou o interesse sobre o tema. Alguns haviam pesquisado previamente sobre o assunto, o que tornou a aula produtiva para todos.

No texto que os alunos elaboraram sobre o que haviam aprendido durante as aulas ministradas, transcrevemos alguns trechos dos relatos de alguns alunos para mostrar as suas impressões sobre o tema trabalhado.

Aluno 1: “A aula de efeito fotoelétrico foi muito importante em vários aspectos, a aula me ajudou a perceber que a física está em constante evolução e é muito importante para o nosso aprendizado, pois agora tenho conhecimento sobre o efeito fotoelétrico”.

Aluno 2: “O efeito fotoelétrico tem larga aplicação no cotidiano. ”

Aluno 3: “A apresentação foi clara e objetiva não deixando dúvidas em relação à parte teórica. E o material didático ofereceu quase todo o necessário para responder as atividades. ”

Aluno 4: “Einstein não foi só um grande físico, mas um ganhador de prêmio Nobel por descobrir o efeito fotoelétrico que levou à criação de coisas maravilhosas como o cinema e o celular”.

Aluno 5: “Eu nunca havia ouvido sobre este assunto e gostei, achei legal e importante, ele foi explicado por Einstein, um dos físicos mais famosos e inteligentes que a física já teve”.

Capítulo 8

Considerações finais

A inserção da Física Moderna no ensino médio vai além do conhecimento relacionado à área. Dedicção, pesquisa e critério na escolha dos conteúdos e na forma metodológica que será empregada para desenvolver o processo de ensino-aprendizagem também são muito importantes. Muitas das dificuldades vivenciadas diariamente nas escolas básicas deste país tolhem a inserção de conhecimentos mais específicos e complexos, como na área da Física Moderna. Contudo, são muitos os esforços para renovar e inovar o “ensinar” com qualidade e com materiais significativos.

Este projeto, que foi desenvolvido e aplicado, contempla a produção de um texto que serve como base para o desenvolvimento do plano de aula para o professor e com formas metodológicas variadas para a exploração do tema sugerido, tornando o processo de ensino-aprendizagem significativo para o aluno. Como ponto de partida para o desenvolvimento do projeto foi realizada a pesquisa sobre os conhecimentos prévios dos alunos que serviu como apoio para o desenvolvimento e planejamento das aulas e, ao final, avaliou-se o aluno num todo, verificando-se a eficácia do projeto.

Neste projeto apresentaram-se diversas estratégias metodológicas com o intuito de dar suporte ao professor para que torne a aula mais atrativa, proveitosa, estimulante, motivadora e que contribua para a construção de conhecimento significativo para o aluno. As estratégias apresentadas como sugestão foram a aula expositiva e dialogada, o experimento e a simulação, e de uma forma ou de outra, todas agregam melhorias no processo de ensino e aprendizagem. Mas o conhecimento prévio dos alunos sobre o tema a ser abordado e do recurso a ser utilizado são essenciais para o bom desenvolvimento da aula, que deve ser planejada dentro das necessidades pedagógicas da turma.

Dentre as metodologias aplicadas, ao se optar pelo uso do simulador é necessário verificar se a unidade escolar dispõe de um laboratório de informática com equipamentos modernos e com quantidade suficiente para que as necessidades da turma

sejam supridas. Assim como um profissional de informática qualificado que seja aporte para o desenvolvimento das aulas, caso o professor da disciplina não domine tais tecnologias.

Como já foi salientado antes, embora o uso de simuladores seja bastante eficiente e motivador, ele não substitui a experimentação que é, em suma, a base da física. Sem ela, a física não seria uma ciência exata. Podemos concluir, sem medo de errar, que a utilização de experimentos em sala de aula é fundamental para um bom curso de física. É necessário que se tenha disponível um laboratório estruturado e que se possa disponibilizar para os alunos kits de experimentos modernos, de qualidade e em quantidade que permita o desenvolvimento da aula experimental. Assim como no laboratório de informática, também é desejável a presença de um profissional qualificado que seja responsável pelo laboratório, contribuindo na exploração e ampliação das atividades neste ambiente.

O experimento apresentado durante a aplicação deste projeto foi de cunho demonstrativo, qualitativo, visto que a escola não dispunha de laboratório e nem do material utilizado para tal aula. Ficou a cargo da mestrandia providenciar os materiais utilizados no projeto, mas o objetivo de que os alunos se inteirassem com o que foi proposto com o experimento foi alcançado.

Durante as aulas expositivas, a maioria dos alunos já havia realizado a leitura prévia do texto que seria explorado, o que tornou a aula participativa e com questionamentos sobre alguns termos novos presentes no assunto abordado, além da curiosidade sobre a vida de Albert Einstein.

Assim, na última aula abriu-se a discussão sobre as aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico e ficaram como sugestão de leitura para os alunos algumas obras sobre Albert Einstein que citaremos a seguir:

“Sutil é o Senhor... A ciência e a vida de Albert Einstein”,
Abraham Pais;

Einstein. Sua vida, seu universo, Walter Isaacson;

Gigantes da Física. Uma história da física moderna através de oito biografias, Richard Brennan;

O ano miraculoso de Einstein. Cem anos da publicação dos artigos que mudaram a física. Editores científicos: João dos Anjos (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas/MCT) e Ildeu de

Castro Moreira (Instituto de Física/Universidade Federal do Rio de Janeiro)

Texto : 1905: “Um ano miraculoso”, Ildeu de Castro Moreira.

Assim, aproveitando a curiosidade dos alunos, esperamos estimular a leitura sobre o tema abordado, e contribuído para a sua alfabetização científica e como cidadão letrado para o mundo.

Durante o desenvolvimento do projeto foi observado o empenho e interesse da maioria da turma, acima de tudo um despertar para novos conhecimentos que foram trabalhados através de metodologias variadas. Os alunos mostraram interesse e envolvimento durante as aulas ministradas e souberam superar as dificuldades presentes durante o processo de apropriação do conhecimento.

O material foi reavaliado para ter um formato bom para o professor e o aluno, para que seja de fácil aplicação.

Referências Bibliográficas

- BASSALO, J. M. F. **Nascimento da física (1901 – 1950)**. Belém: EDUFPA. 2000.
- BOSCHETTI, Diego. **Um pouco da história da luz segundo o olhar do Homem**. Disponível em:
<<https://www.if.ufrgs.br/tex/edu02220/sem012/po6/texto616.html>
> Acesso em 27/11/2016
- BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais**. Brasília: MEC / SEF, 1998.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica**: MEC, SEB, DICEI, 2013.
- BRASIL. **PCN+ do Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos PCN. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.
- BRENNAN, Richard P. **Gigantes da física: uma história da física moderna através de oito biografias**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed.2003.
- CHASSOT, Attico. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. 5. Ed., ver. – Ijuí: Ed. Unijuí, 2011.
- CHIOVATTO, Milene. **O professor mediador**. In: **Artes na escola**, Boletim, n. 24. São Paulo, out/nov/2000
- EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica. Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979.
- EINSTEIN, Albert; INFELD, Leopold . **A evolução da física**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2008.
- GIORDAN, Marcelo. **O papel da experimentação no ensino de ciências**. Disponível em:
<<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc10/pesquisa.pdf>>
- HEWITT, Paul G. **Fundamentos de física conceitual**. Bokkman. Porto Alegre. 2011.
- MANGILI, A. I. **Henrich Rudolf Hertz e a descoberta do efeito fotoelétrico: Um exemplo de cuidados que devemos ter ao utilizar a história da ciência na sala de aula. História da ciência e ensino: construindo interfaces.v.6,p. 32 – 48, 2012**. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **PCN + Ensino médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares**

Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2002.

MOREIRA, Ildeu de Castro. **Einstein e seus Trabalhos de 1905 e 1915.** IF – UFRJ. Disponível em:

<<http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/fisica/0004.html>> Acesso em maio de 2015.

MOREIRA, Ildeu de Castro. **1905: Um Ano Miraculoso.** IF – UFRJ. Disponível em:

<<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/1905-ildeu.pdf>> Acesso em dezembro de 2014.

Naturaleza del espacio.. Educar Chile. Disponível em:

< <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=133072>> Acesso em agosto de 2015.

PAIS, Abraham. **“Sutil é o Senhor...”: a ciência e a vida de Albert Einstein.** Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

[Phet - Simulation] Disponível em < https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric > acesso em outubro de 2015.

ROCHA, José Fernando M. (org). **Origens e evolução das ideias da física.** EDUFBA, Salvador, 2002.

Salvetti, Alfredo Roque. **A história da luz.** 2 ed. Rev. São Paulo, Editora livraria da Física. 2008.

Silva, Boniek Venceslau da Cruz. **Controvérsias sobre a natureza da luz: uma aplicação didática.** Natal , RN, 2010.

[Silva 2010] J. Silva e J. Souza. **O ensino de Física em Botucatu, Revista Botucatuense de Ensino de Física**, v. 97, n. 4, p. 1103-1125, 2010.

Silva, Edson Alan Pinheiro. **O efeito fotoelétrico.** UFRJ, 2000.

TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. **Física Moderna.** Rio de Janeiro: LTC, 2010.

[Wiki-Termo 2010] *Wikipédia: Termodinâmica.* Disponível em <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Termodinâmica>>. Acesso em julho de 2010.

Apêndice A

Autorização da escola

Florianópolis, 26 de outubro de 2015.

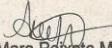
Ilmo. Sr.
Prof. Ademir Stahelin
Diretor da EEB Governador Ivo Silveira

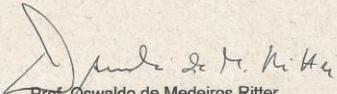
Prezado Diretor,

Venho por meio desta, solicitar a realização, nesta instituição de ensino, do estágio supervisionado, que tem previsão para um mês de atividades que será ministrado aos alunos do 3º ano do ensino médio desta instituição.

Desde já me coloco a disposição para esclarecermos qualquer dúvida que possa haver sobre o curso e agradeço.

Atenciosamente,


Angelita Mara Peixoto Momm
Mestranda


Prof. Oswaldo de Medeiros Ritter
Orientador

Recebido e
Autorizado

AA Stahelin
Ademir Antônio Stahelin
Diretor Geral
E.E.B. Gov. Ivo Silveira
Mat. 138596-3-1/Portaria - 19138

Apêndice B

Pré – Teste

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Prezado Aluno,

Solicito a sua contribuição para o preenchimento deste questionário. Esse questionário tem o objetivo de investigar se você possui algum conhecimento prévio sobre temas de Física Moderna e Contemporânea e o seu interesse em aprendê-los, em especial o Efeito Fotoelétrico.

NÃO há respostas corretas. O importante é que sua resposta reflita sua opinião franca em cada questão. O resultado desta avaliação não será computado em sua nota.

Nome: _____

Data: _____ Turma: _____

1) Você sabe o significado dos termos abaixo:

Efeito fotoelétrico: sim não

Quantização: sim não

Física moderna: sim não

Fóton: sim não

2) Você já teve contato com algum material, textos, livros, artigos, programas de tv, internet, entre outros, sobre o **Efeito fotoelétrico**?

Sim. Qual? (nome do livro, artigo, programa entre outros):

Não.

3) Você conhece algo a respeito do tema Efeito fotoelétrico?

() Sim

() Não

4) Você conhece alguma aplicação tecnológica do efeito fotoelétrico?

() Sim

() Não

5) Você gostaria de estudar a respeito do efeito fotoelétrico?

() Sim

() Não

6) O que você conhece sobre Albert Einstein?

Apêndice C

Lista de exercícios

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Nome: _____ Data: _____
Turma: _____

Atividade Avaliativa de Física

1) (UFRGS-RS) - Considere as seguintes afirmações sobre o efeito fotoelétrico.

- I. O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por uma superfície metálica atingida por radiação eletromagnética.
- II. O efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo corpuscular para a luz.
- III. Uma superfície metálica fotossensível somente emite fotoelétrons quando a frequência da luz incidente nessa superfície excede um certo valor mínimo, que depende do metal.

Quais estão corretas?

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

2) (UFSC) - Assinale a(s) proposição(ões) correta(s):

- 01) a luz, em certas interações com a matéria, comporta-se como uma onda eletromagnética; em outras interações ela se comporta como partícula, como os fótons no efeito fotoelétrico.
- 02) a difração e a interferência são fenômenos que somente podem ser explicados satisfatoriamente por meio do

comportamento ondulatório da luz.

04) o efeito fotoelétrico somente pode ser explicado satisfatoriamente quando consideramos a luz formada por partículas, os fótons.

08) o efeito fotoelétrico é consequência do comportamento ondulatório da luz.

16) devido à alta frequência da luz violeta, o "fóton violeta" é mais energético do que o "fóton vermelho".

Dê como resposta a soma das alternativas corretas.

3) (UFPE) - Para liberar elétrons da superfície de um metal é necessário iluminá-lo com luz de comprimento de onda igual ou menor que $6,0 \cdot 10^{-7}$ m.

Qual o inteiro que mais se aproxima da frequência óptica, em unidades de 10^{14} Hz necessária para liberar elétrons com energia cinética igual a 3,0 eV?

Dados: constante de Planck $h = 4,14 \cdot 10^{-15}$ eV.

Velocidade de propagação da luz no vácuo $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

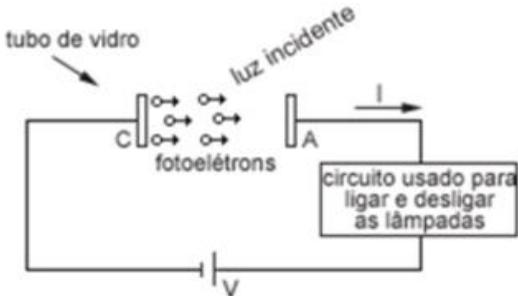
4) (UEPB) - A descoberta do efeito fotoelétrico e sua explicação pelo físico Albert Einstein, em 1905, teve grande importância para a compreensão mais profunda da natureza da luz. No efeito fotoelétrico, os fotoelétrons são emitidos, de um cátodo C, com energia cinética que depende da frequência da luz incidente e são coletados pelo ânodo A, formando a corrente I mostrada. Atualmente, alguns aparelhos funcionam com base nesse efeito e um exemplo muito comum é a fotocélula utilizada na construção de circuitos elétricos para ligar/desligar as lâmpadas dos postes de rua. Considere que em um circuito foi construído conforme a figura e que o cátodo é feito de um material com função trabalho $W = 3,0$ eV (elétron-volt). Se um feixe de luz incide sobre C, então o valor de frequência f da luz para que

sejam, sem qualquer outro efeito, emitidos fotoelétrons com energia cinética máxima $E_c = 3,6 \text{ eV}$, em hertz, vale:

Dados:

$$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$



- a) $1,6 \cdot 10^{15}$.
- b) $3,0 \cdot 10^{15}$.
- c) $3,6 \cdot 10^{15}$.
- d) $6,6 \cdot 10^{15}$.
- e) $3,2 \cdot 10$.

5) Qual a frequência mínima (frequência de corte) de emissão de fotoelétrons do sódio?

Dados: função trabalho do sódio $W = 2,28 \text{ eV}$ constante de Planck $h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$.

6) A função trabalho do zinco é $4,31 \text{ eV}$. Verifique se há emissão de fótons elétrons, quando sobre uma placa de zinco incide luz de comprimento de onda $4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$. Dados: constante de Planck $h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$. velocidade de propagação da luz no vácuo $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Analise as afirmativas abaixo, relativas à explicação do efeito fotoelétrico, tendo como base o modelo corpuscular da luz.

I – A energia dos fótons da luz incidente é transferida para os elétrons no metal de forma quantizada.

II – A energia cinética máxima dos elétrons emitidos de uma superfície metálica depende apenas da frequência da luz incidente e da função trabalho do metal.

III – Em uma superfície metálica, elétrons devem ser ejetados independentemente da frequência da luz incidente, desde que a intensidade seja alta o suficiente, pois está sendo transferida energia ao metal.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- b) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

7) Foi determinado experimentalmente que, quando se incide luz sobre uma superfície metálica, essa superfície emite elétrons. Esse fenômeno é conhecido como efeito fotoelétrico e foi explicado em 1905 por Albert Einstein, que ganhou em 1921 o Prêmio Nobel de Física, em decorrência desse trabalho. Durante a realização dos experimentos desenvolvidos para compreender esse efeito, foi observado que:

1. Os elétrons eram emitidos imediatamente. Não havia atraso de tempo entre a incidência da luz e a emissão dos elétrons.
2. Quando se aumentava a intensidade da luz incidente, o número de elétrons emitidos aumentava, mas não sua energia cinética.
3. A energia cinética do elétron emitido é dada pela equação $E_c = \frac{1}{2} mv^2 = hf - W$, em que o termo hf é a energia cedida ao elétron pela luz, sendo h a constante de Planck e f a frequência da luz incidente. O termo W é a energia que o elétron tem que adquirir para poder sair do material, e é chamado função trabalho do metal.

Considere as seguintes afirmativas:

I – Os elétrons com energia cinética zero adquiriram energia suficiente para serem arrancados do metal.

II – Assim como a intensidade da luz incidente não influencia a energia dos elétrons emitidos, a frequência da luz incidente também não modifica a energia dos elétrons.

III – O metal precisa ser aquecido por um certo tempo, para que ocorra o efeito fotoelétrico.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- b) Todas as afirmativas são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- e) Somente a afirmativa I é verdadeira.

8) Determine a energia cinética máxima dos fotoelétrons se a função trabalho do material é de 2,3 eV e a frequência da radiação é de $3,0 \times 10^{15}$ Hz.

Dados: função trabalho do material $W = 2,3$ eV .

9) A função trabalho do tungstênio é 4,5 eV. Calcule a velocidade do mais rápido fotoelétron emitido para fótons incidentes de 5,8 eV.

Dados: função trabalho do tungstênio $W = 2,3$ eV

10) Qual a definição de Efeito fotoelétrico?

Apêndice D

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**ORIENTADOR: PROF. DR. OSWALDO DE MEDEIROS RITTER
MESTRANDA: ANGELITA MARA PEIXOTO MOMM**

O EFEITO FOTOELÉTRICO NUMA ABORDAGEM PEDAGÓGICA ALTERNATIVA

FLORIANÓPOLIS, AGOSTO DE 2017

Prezado (a) Professor (a)

O presente produto educacional apresenta uma sequência com alternativas pedagógicas através de um resgate histórico do efeito fotoelétrico, oriundo de uma pesquisa feita como aluna do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, UFSC, Polo Florianópolis. Nesta perspectiva, o material está constituído de cinco momentos pedagógicos.

O primeiro momento envolve um levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre o efeito fotoelétrico através da aplicação de um pré-teste.

No segundo momento, sugerem-se aulas expositivas e dialogadas usando como base o texto que foi produzido para este produto, “Resgate da história da luz”. No terceiro momento sugere-se uma aula demonstrativa experimental. No quarto momento propõe-se uma aula utilizando o simulador. E no quinto momento, uma discussão sobre o uso do efeito fotoelétrico no cotidiano e um texto que relate o que foi aprendido pelos alunos. Este material foi elaborado e está disponível para professores que queiram trabalhar com o Efeito fotoelétrico no Ensino Médio. Pode ser usado como forma complementar em suas aulas de Física.

Sequência didática

1º Momento: Identificação dos conhecimentos prévios dos alunos.

- Objetivo: Identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema que será aplicado através de um pré-teste.
- Aplicação do pré-teste: Na sequência esta o pré-teste como uma sugestão para a identificação dos conhecimentos prévios dos alunos. Este pré-teste é composto por seis questões, das quais quatro são objetivas de escolha binária “SIM” ou “NÃO”, uma quinta questão, onde caso a resposta seja “SIM”, o aluno deve citar quais as fontes do seu conhecimento sobre o efeito fotoelétrico e uma última questão aberta que versa sobre os conhecimentos do aluno sobre Albert Einstein.
- Para a aplicação do pré-teste propõe-se uma aula de 50 minutos.

Pré-Teste

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Prezado Aluno,

Solicito a sua contribuição para o preenchimento deste questionário. Ele tem o objetivo de investigar se você possui algum conhecimento prévio sobre temas de Física Moderna e Contemporânea e o seu interesse em aprendê-los, em especial o Efeito Fotoelétrico.

NÃO há respostas corretas. O importante é que sua resposta reflita sua opinião franca em cada questão. O resultado desta avaliação não será computado em sua nota.

Nome: _____

Data: _____ Turma: _____

1) Você sabe o significado dos termos abaixo:

Efeito fotoelétrico: () sim () não
Quantização: () sim () não
Física moderna: () sim () não
Fóton: () sim () não

2) Você já teve contato com algum material, textos, livros, artigos, programas de tv, internet, entre outros, sobre o **Efeito Fotoelétrico?**

() Sim. Qual? (nome do livro, artigo, programa entre outros):

() Não.

3) Você conhece algo a respeito do tema Efeito Fotoelétrico?

- () Sim
- () Não

4) Você conhece alguma aplicação tecnológica do Efeito Fotoelétrico?

- () Sim
- () Não

5) Você gostaria de estudar a respeito do Efeito Fotoelétrico?

- () Sim
- () Não

6) O que você conhece sobre Albert Einstein?

2º Momento: Um resgate da história da luz.

- Metodologia: Aula expositiva e dialogada.

Caracteriza-se pela exposição de conteúdos com a participação ativa dos estudantes, considerando o conhecimento prévio dos mesmos, sendo o professor o mediador para que os alunos questionem, interpretem e discutam o objeto de estudo.

- Objetivos:
 - ✓ Fazer uma abordagem conceitual e geral sobre a descoberta do efeito fotoelétrico

- e sobre a natureza da luz ao longo da história da ciência;
 - ✓ Levar o aluno a compreender o fenômeno do efeito fotoelétrico.
- Conteúdo: Texto: “O resgate da história da luz” . O texto segue abaixo.
 - Atividade sobre o conteúdo trabalhado: apresentamos como sugestão uma lista de exercícios para serem resolvidos. Para este momento, propõe-se uma aula de 50 minutos.

Resgate da história da luz.

Desde o começo do mundo, a luz já se fazia presente como elemento essencial para a sobrevivência dos ecossistemas, assim como do próprio planeta Terra.

Para entendermos o que é a luz e os seus efeitos, iremos resgatar e percorrer os caminhos da história da ciência que nos mostrarão o que hoje entendemos sobre a luz.

Os antigos filósofos gregos não faziam diferença entre a luz e a visão.

Durante a noite, observando os olhos de pessoas que estivessem próximas ao fogo, os gregos verificaram que dos olhos dos seres vivos parecia sair luz. Como sabiam que a luz provém de uma fonte luminosa, e a única fonte conhecida era o fogo, concluíram que os seres vivos têm uma tênue chama dentro dos olhos. Para eles a visão estava intimamente ligada ao tato. Acreditavam que de dentro dos olhos projetavam-se raios luminosos que tateavam os objetos e retornavam aos olhos trazendo consigo informações que, ao serem interpretadas pelo cérebro, acabavam gerando a sensação da visão.

Entre esses filósofos da antiguidade acreditava-se que a luz tinha uma característica **corpúscular** (corpo pequeníssimo) e é baseado nesta visão que se tinha sobre a luz que iniciaremos os nossos estudos.

Por volta de 500 a.C., o filósofo Leucipo de Mileto, acreditava que os objetos emitiam pequenas partículas, que se

desprendiam de sua superfície e que chegavam até nossos olhos, causando a visão.

Demócrito (460-357 a.C), acreditava, baseado no conceito de atomicidade (o mundo era formado por átomos, que se movimentavam no espaço vazio em todas as direções e se combinavam “ao acaso”, formando a matéria), que o feixe de luz luminoso se originava dos objetos e penetrava nos olhos para formar a imagem dos objetos.

Na época, a crença pitagórica presumia que a visão era causada por algo emitido pelo olho.

Para Empédocles de Agrigento (493-430 a.C), o universo era formado por elementos básicos que se misturavam e formavam tudo o que existia e eram associados a quatro divindades: água (Nestis), ar (Hera), terra (Hades) e fogo (Zeus). Ele acreditava que um raio visual era emitido pelos olhos, uma espécie de fogo interno, que “tocava” os objetos e, ao retornar para a pupila, trazia informações sobre eles. Seria como se o ato de enxergar fosse igual ao ato de tatear, ou seja, os raios visuais interagiam com as informações emanadas dos objetos, como se fossem tentáculos. Os objetos também emitiam um tipo de fogo que carregava suas informações, como a cor e a forma. Portanto, o fenômeno da visão ocorria quando o fogo interno emitido pelos olhos entrava em contato com o fogo externo emanado dos objetos.

Platão (428-348 a.C), acreditava na crença pitagórica, segunda a qual as “partículas” emitidas pelo globo ocular, criavam um modelo de propagação retilínea da luz.

Com o passar do tempo, a ideia do "fogo dentro dos olhos" foi abandonada. Aristóteles (384-322 a.C.) afirmava que a luz, ao bater nos objetos, retirava deles uma microscópica camada superficial de átomos que, ao serem projetados, acabavam atingindo nossos olhos permitindo assim que víssemos o mesmo. Note-se que ainda não existe diferença entre luz e visão. Nas teorias propostas a luz e os objetos ainda interagem. A compreensão de Aristóteles sobre a luz explicava ainda a sensação de diferenciação de tamanho de um mesmo objeto à medida que nos aproximamos ou nos afastamos dele. Para ele, quando estamos perto de um objeto o ‘enxergamos maior’, pois mais átomos atingem nossos olhos do que quando estamos afastados.

Tais conflitos de ideias filosóficas predominaram até o século XVII, quando a discussão passou para o plano científico. Entre alguns autores que contribuíram para este avanço no campo da luz:

- René Decartes (1637);
- Pierre de Fermat (1661);
- Issac Newton (1670);
- Christiaan Huygens (1678) entre outros.

Em particular, a contribuição de Fermat para a ótica foi muito interessante. Ele enunciou a seguinte conclusão sobre a propagação da luz: “a natureza opera por modos e caminhos que são os mais fáceis e os mais rápidos”. Ele vai mais adiante e afirma que não é geralmente verdade que “a natureza sempre atua ao longo da trajetória mais curta” (esta era a suposição de La Chambre). De fato, ele cita o exemplo de Galileo sobre partículas sujeitas à ação da gravidade que se movem ao longo de trajetórias que tomam o menor tempo para ir de um ponto a outro, e não ao longo de trajetórias que tem o menor comprimento. Por meio do seu princípio, que ficou conhecido como o Princípio de Fermat, ele foi capaz de dar uma demonstração muito clara e sucinta da lei de Snell da refração. Fermat supôs corretamente que a luz se move com velocidade finita e que esta velocidade é menor nos meios mais densos. Outro fato interessante sobre Fermat é que o seu princípio foi claramente a primeira contribuição real para o campo que ficou conhecido como Cálculo de Variações, cenário da mecânica analítica e de princípios como o Princípio da Mínima Ação de Hamilton.

Até o início do século XVII, existiam muitas explicações para a natureza da luz e já se conheciam as suas propriedades geométricas, tais como:

- Os raios de luz se propagam em linha reta;
- A refração obedece à lei dos senos;
- Os ângulos de incidência e reflexão são iguais.

A partir da metade do século XVII, outros fenômenos da ótica foram descobertos, ampliando as discussões científicas: difração,

interferência, polarização, mas faltava muito para se explicar o que era a luz.

Então podemos dizer que já no século XVII se tinha o conhecimento de cinco fenômenos considerados básicos da óptica:

- Refração;
- Reflexão;
- Difração;
- Interferência;
- Polarização.

Um meio para propagação: o éter.

O cientista holandês Christiaan Huygens, em 1678, ampliou a hipótese ondulatória da luz, que foi proposta por Hooke e pelo padre jesuíta Ignácio Pardiès (1636-1673) que dizia:

A luz é produzida por vibrações de um meio sutil e homogêneo e este movimento se propaga por impulso ou ondas simples e de forma perpendicular à linha de propagação.

Baseado na proposta de Hooke, Huygens formulou uma analogia da luz com o som, que é uma vibração mecânica em meios elásticos, pois necessitava de um meio para se propagar. Assim, introduz a ideia do éter lumífero como sendo o meio pelo qual a luz se propagava com uma velocidade grande e finita.

A ideia do éter como meio (sutil e misterioso) já era pesquisado por Aristóteles e difundida por René Decartes explicando como a luz se propagava em vários lugares e em diversas direções no espaço.

Na época, quem não aceitou as ideias de Huygens foi Isaac Newton (1642-1727). Segundo Newton, alguns fenômenos luminosos indicavam que os raios de luz se comportavam como se fossem corpúsculos, que seriam emitidos pelas superfícies dos corpos e que se deslocariam em linha reta até interagir com algum obstáculo.

Para a época, a teoria corpuscular parecia consistente e explicava alguns dos fenômenos até então conhecidos sobre a luz.

A disputa entre a teoria corpuscular e a teoria ondulatória foi ganhando espaço no meio científico e no início do século XVIII a teoria de Newton ganha força, mas, a teoria ondulatória começa a abalar as suas ideias.

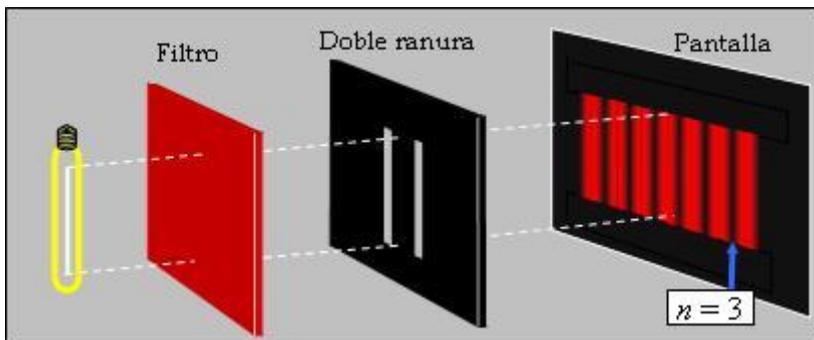
Durante o século XVIII, vários pesquisadores estabeleceram as bases da física, onde a partir da mecânica newtoniana quase todos os fenômenos da natureza seriam explicados.

Uma reviravolta ocorreria no início do século XIX. Por volta de 1801, o pesquisador Thomas Young (1773-1829), realizou uma experiência que marcou a história da física e incitou a discussão em torno da natureza da luz. Tal experiência ficou conhecida como *Experiência da fenda dupla*, que envolvia os fenômenos da difração e a interferência da luz. Na época a difração e a interferência da luz não eram explicadas pela teoria corpuscular de Newton. Com o experimento da fenda dupla, a teoria ondulatória estava consolidada.

Experimento de Thomas Young da fenda dupla:

Thomas Young já havia avaliado, pela primeira vez, o comprimento de onda da luz, que é um parâmetro característico do movimento ondulatório.

Neste experimento, Thomas Young fez passar um feixe luminoso (luz solar) através de dois orifícios construídos com um alfinete em um papel grosso e obteve pela primeira vez, em um anteparo, uma figura de interferência luminosa, composta de faixas escuras e claras, alternadamente. Para conseguir um feixe luminoso adequado, ele o fez passar, primeiramente, num obstáculo com um orifício. Neste experimento, as faixas claras e escuras, surgiram como resultado de interferências construtiva e destrutiva, respectivamente, dos feixes que passam pelas duas fendas. Concluiu-se que a interferência pode ocorrer em qualquer situação em que a luz proveniente de uma única fonte divide-se em dois feixes que se recombina após terem percorrido caminhos de comprimentos diferentes. Atualmente, são usadas fendas longas e estreitas em lugar de orifícios, e por isso este experimento é chamado de fenda dupla.



<http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=133072>

Apesar dos esforços, a teoria corpuscular ainda dominava os meios científicos.

Em 1850, os pesquisadores Armand H.L. Fizeau (1819-1896) e Jean Bernard L. Foucault (1819-1868) mediram, através de experimentos distintos, a velocidade da luz no ar (aproximadamente 314.000 km/s) e na água. A velocidade da luz foi menor na água. Com isto, concluiu-se que a luz se propagava mais rápido no meio menos denso e Thomas Young mostrou que a luz é uma onda transversal e não longitudinal, como se acreditava, explicando assim a polarização da luz, através da teoria ondulatória.

No início do século XIX começou-se a falar de onda eletromagnética. James C. Maxwell (1831-1879) sintetizou em quatro equações todas as leis experimentais do eletromagnetismo. As equações mostraram que a velocidade de suas ondas eletromagnéticas coincidia com a velocidade da luz, o que lhe indicou que a luz era de natureza eletromagnética.

Em 1887, o físico alemão H. Hertz confirmou experimentalmente as previsões de Maxwell. Ele demonstrou que as ondas eletromagnéticas tinham todas as propriedades das ondas

luminosas e no mesmo experimento ele descobriu e registrou um novo fenômeno para a luz, que posteriormente seria identificado como de natureza corpuscular. Tal fenômeno, hoje é conhecido como Efeito Fotoelétrico.

Isto ocorreu, quando Heinrich Rudolf Hertz investigava a natureza eletromagnética da luz e, ao estudar a produção de descargas elétricas entre duas superfícies de metal em potenciais diferentes, observou que uma faísca proveniente de uma superfície gerava uma faísca secundária na outra.

Sendo a faísca de difícil visualização, Hertz construiu uma proteção sobre o sistema para evitar a dispersão da luz, mas isto causou uma diminuição da faísca secundária, fato que indicaria que a luz da primeira faísca tinha influência na produção da segunda. Em suas experimentações, ele constatou que o fenômeno não era de natureza eletrostática, pois não havia diferença se a proteção era feita de material condutor ou isolante. Constatou que a luz poderia gerar faíscas e que o fenômeno deveria ser devido apenas à luz ultravioleta.

Por volta de 1899, J. J. Thomson afirmou que o efeito fotoelétrico induzido pela luz ultravioleta consistia na emissão de elétrons.

O físico alemão Max Planck (1858–1947) percorreu longas etapas até chegar à quantização da energia e tal dedução foi apresentada pela primeira vez em 14 de dezembro de 1900 e, dessa forma, nascia a teoria quântica. As pesquisas de Planck serviram de fonte para que Einstein desenvolvesse seus estudos e compreendesse a teoria quântica que apareceria nos artigos a partir daquele momento.

Atualmente, a luz é identificada como tendo um caráter dual, isto é, uma característica dupla de onda-partícula.

O efeito fotoelétrico

Em 1905, o físico de origem alemã Albert Einstein (1879-1955), publicou um trabalho sobre os quanta de luz, intitulado, “Sobre um ponto de vista heurístico referente à produção e conversão da luz”, na revista científica *Annalen der Physik*. Neste artigo, Einstein propunha uma explicação para o efeito fotoelétrico, que a teoria clássica não conseguia explicar totalmente. Propunha que a luz seria formada por partículas, chamadas de quanta de

luz. Dessa forma, o efeito fotoelétrico foi explicado por Einstein a partir da teoria dos quanta de luz (conceito de quantização), que significa pequenos pacotes de energia (chamados de fótons pelo conceito adotado por Einstein), que colidem com os elétrons presentes no metal transferindo-lhes energia suficiente para que se desprendessem da superfície metalizada. De acordo com a teoria, um quantum de luz transfere toda a sua energia a um único elétron, independentemente da existência de outros quanta de luz. Por esta teoria Albert Einstein ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1921.

Assim, o efeito fotoelétrico consiste na retirada de elétrons da superfície de um metal quando a luz incide sobre ela. E a energia de um fóton, isto é, um quantum E de energia radiante de frequência f , é dada pela equação de Planck:

$$E = hf$$

Onde: h é uma constante de proporcionalidade denominada constante de Planck, sendo no Sistema Internacional $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s.

Sendo $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, a constante de Planck pode ser expressa por $4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s}$.

Assim, 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 w 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 $E = hf$ do fóton incidente. Para ser extraído, esta energia deve superar a função trabalho W , isto é $hf \geq W$.

A diferença $hf - W$ é a energia cinética máxima E_c que o elétron adquire, pois W é a energia mínima para retirar o elétron.

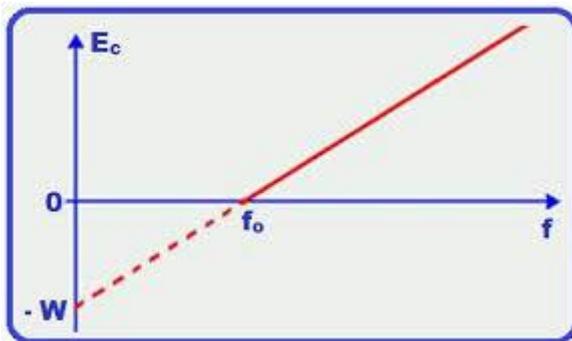
Assim, temos a chamada **equação fotoelétrica de Einstein**:

$$E_c = hf - W$$

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



www.fisicaevestibular.com.br

Aumentando-se a intensidade da radiação incidente no metal, aumenta-se o número de elétrons retirados sem alterar a energia cinética deles.

Aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano.

Devido à descoberta do efeito fotoelétrico e ao desenvolvimento tecnológico, houve um enorme avanço na área eletrônica, tornando possível o cinema falado, assim como a transmissão de imagens pela televisão, entre outros. O emprego de aparelhos como as placas fotoelétricas permitiu construir equipamentos capazes de produzirem peças sem intervenção alguma do homem, controlando o tamanho das peças a serem feitas. Tais aparelhos permitem acender e desligar automaticamente a iluminação de ruas, o acionamento de portas em geral.

Sugestões de leituras complementares:

- “Sutil é o Senhor... A ciência e a vida de Albert Einstein”, por Abraham Pais;
- “Einstein. Sua vida, seu Universo” de Walter Isaacson;

- “Gigantes da Física. Uma história da física moderna através de oito biografias” de Richard Brennan;
- “O ano miraculoso de Einstein. Cem anos da publicação dos artigos que mudaram a física”. Editores científicos: João dos Anjos (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas/MCT) e Ildeu de Castro Moreira (Instituto de Física/Universidade Federal do Rio de Janeiro)
- Texto: “1905: Um ano miraculoso” de Ildeu de Castro Moreira.

Lista de exercícios:

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Nome: _____

Turma: _____

Data: _____

Atividades de Física

1) (UFRGS-RS) - Considere as seguintes afirmações sobre o efeito fotoelétrico.

I. O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por uma superfície metálica atingida por radiação eletromagnética.

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

III. Uma superfície metálica fotossensível somente emite fotoelétrons quando a frequência da luz incidente nessa superfície excede um certo valor mínimo, que depende do metal.

Quais estão corretas?

a) apenas I.

b) apenas II.

c) apenas I e II.

d) apenas I e III.

e) I, II e III.

2) (UFSC) - Assinale a(s) proposição(ões) correta(s):

01) a luz, em certas interações com a matéria, comporta-se como uma onda eletromagnética; em outras interações ela se comporta como partícula, como os fótons no efeito fotoelétrico.

02) a difração e a interferência são fenômenos que somente podem ser explicados satisfatoriamente por meio do comportamento ondulatório da luz.

04) o efeito fotoelétrico somente pode ser explicado satisfatoriamente quando consideramos a luz formada por partículas, os fótons.

08) o efeito fotoelétrico é consequência do comportamento ondulatório da luz.

16) devido à alta frequência da luz violeta, o "fóton violeta" é mais energético do que o "fóton vermelho".

Dê como resposta a soma das alternativas corretas.

3) (UFPE) - Para liberar elétrons da superfície de um metal é necessário iluminá-lo com luz de comprimento de onda igual ou menor que $6,0 \cdot 10^{-7}$ m.

Qual o inteiro que mais se aproxima da frequência óptica, em unidades de 10^{14} Hz necessária para liberar elétrons com energia cinética igual a 3,0 eV?

Dados: constante de Planck $h = 4,14 \cdot 10^{-15}$ eV.

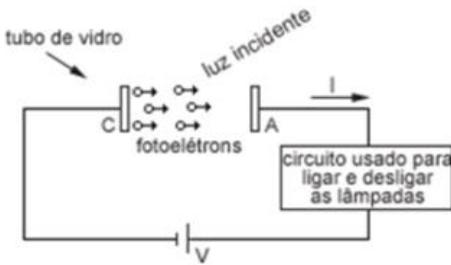
Velocidade de propagação da luz no vácuo $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

4) (UEPB) - A descoberta do efeito fotoelétrico e sua explicação pelo físico Albert Einstein, em 1905, teve grande importância para a compreensão mais profunda da natureza da luz. No efeito fotoelétrico, os fotoelétrons são emitidos, de um cátodo C, com energia cinética que depende da frequência da luz incidente e são coletados pelo ânodo A, formando a corrente I mostrada. Atualmente, alguns aparelhos funcionam com base nesse efeito e um exemplo muito comum é a fotocélula utilizada na construção de circuitos elétricos para ligar/desligar as lâmpadas dos postes de rua. Considere que em um circuito foi construído conforme a figura e que o cátodo é feito de um material com função trabalho $\phi = 3,0$ eV (elétron-volt). Se um feixe de luz incide sobre C, então o valor de frequência f da luz para que sejam, sem qualquer outro efeito, emitidos fotoelétrons com energia cinética máxima $E_c = 3,6$ eV, em hertz, vale:

Dados:

$h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J.s

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ J



- a) $1,6 \cdot 10^{15}$.
- b) $3,0 \cdot 10^{15}$.
- c) $3,6 \cdot 10^{15}$.
- d) $6,6 \cdot 10^{15}$.
- e) $3,2 \cdot 10$.

5) Qual a frequência mínima (frequência de corte) de emissão de fotoelétrons do sódio?

Dados: função trabalho do sódio $\Phi = 2,28 \text{ eV}$ constante de Planck $h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$.

6) A função trabalho do zinco é $4,31 \text{ eV}$. Verifique se há emissão de fótons elétrons, quando sobre uma placa de zinco incide luz de comprimento de onda $4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$. Dados: constante de Planck $h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ velocidade de propagação da luz no vácuo $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Analise as afirmativas abaixo, relativas à explicação do efeito fotoelétrico, tendo como base o modelo corpuscular da luz.

- I – A energia dos fótons da luz incidente é transferida para os elétrons no metal de forma quantizada.
- II – A energia cinética máxima dos elétrons emitidos de uma superfície metálica depende apenas da frequência da luz incidente e da função trabalho do metal.
- III – Em uma superfície metálica, elétrons devem ser ejetados independentemente da frequência da luz incidente, desde que a intensidade seja alta o suficiente, pois está sendo transferida energia ao metal.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- b) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

7) Foi determinado experimentalmente que, quando se incide luz sobre uma superfície metálica, essa superfície emite elétrons. Esse fenômeno é conhecido como efeito fotoelétrico e foi explicado em 1905 por Albert Einstein, que ganhou em 1921 o Prêmio Nobel de Física, em decorrência desse trabalho. Durante a realização dos experimentos desenvolvidos para compreender esse efeito, foi observado que:

1. os elétrons eram emitidos imediatamente. Não havia atraso de tempo entre a incidência da luz e a emissão dos elétrons.
2. quando se aumentava a intensidade da luz incidente, o número de elétrons emitidos aumentava, mas não sua energia cinética.
3. a energia cinética do elétron emitido é dada pela equação $E_c = \frac{1}{2} mv^2 = hf - W$, em que o termo hf é a energia cedida ao elétron pela luz, sendo h a constante de Planck e f a frequência da luz incidente. O termo W é a energia que o elétron tem que adquirir para poder sair do material, e é chamado função trabalho do metal.

Considere as seguintes afirmativas:

- I – Os elétrons com energia cinética zero adquiriram energia suficiente para serem arrancados do metal.
- II – Assim como a intensidade da luz incidente não influencia a energia dos elétrons emitidos, a frequência da luz incidente também não modifica a energia dos elétrons.
- III – O metal precisa ser aquecido por um certo tempo, para que ocorra o efeito fotoelétrico.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- b) Todas as afirmativas são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- e) Somente a afirmativa I é verdadeira.

8) Determine a energia cinética máxima dos fotoelétrons se a função trabalho do material é de 2,3 eV e a frequência da radiação é de $3,0 \times 10^{15}$ Hz.

Dados: função trabalho do material $\Phi = 2,3$ eV .

9) A função trabalho do tungstênio é 4,5 eV. Calcule a velocidade do mais rápido fotoelétron emitido para fótons incidentes de 5,8 eV.

Dados: função trabalho do tungstênio $\Phi = 2,3$ eV

10) Qual a definição de Efeito fotoelétrico?

3º Momento: Experimento demonstrativo com a placa fotovoltaica.

- Metodologia: Aula de demonstração experimental.
- Objetivos: Aproximar o aluno do fenômeno através da experimentação, onde a interação e a análise neste momento contribuem para o aprendizado.
- Materiais utilizados: Um multímetro; uma placa fotovoltaica.
- Para a este momento propõe-se uma aula de 50 minutos.

Nesta aula experimental, sugere-se que o professor, como mediador, contextualize o tema proposto que é o efeito fotoelétrico. Para aguçar a curiosidade dos alunos, o professor

deve instigá-los e inquiri-los sobre o que conhecem de aplicação do efeito fotoelétrico no seu dia a dia.

Na sequência o professor pode apresentar aos alunos o produto da foto 1 abaixo e perguntar se o conhecem, se tem noção do seu funcionamento.



Foto 1 – Luminária de Jardim

O produto apresentado aos alunos é uma luminária de uso externo.

A seguir, a luminária poderá ser desmontada, foto 2 e 3, e mostrada a parte interna para explicar o seu funcionamento. A placa fotovoltaica recebe a luz solar convertendo-a em energia elétrica que é armazenada na pilha interna e ao anoitecer utiliza esta energia armazenada para manter acesa a lâmpada de LED que faz parte do circuito. .



Foto 2



Foto 3

Na sequência, como a aula é demonstrativa, sugere-se que se divida a turma em equipes para acompanharem as etapas do experimento.

Assim, para a montagem do experimento para demonstração, se apresenta aos alunos o multímetro da foto 4, e se explica que é um equipamento eletrônico que serve para medir grandezas elétricas e incorpora diversos instrumentos de medição, como voltímetro, ohmímetro, amperímetro, entre outros. Tal equipamento é utilizado em bancadas de trabalho em laboratórios de eletrônica em geral ou em serviços de campo.

As placas voltaicas como a da foto 5 são compostas por células fotovoltaicas que são constituídas por materiais semicondutores, ou seja, com características intermédias entre um condutor e um isolador, normalmente, é o silício ($\text{Si}:[\text{Ne}] 3s^2 3p^2$). O uso de semicondutores deve-se também ao fato de que com o aumento da temperatura a condução elétrica aumenta. A célula fotovoltaica é um dispositivo que aproveita a energia da luz solar para criar diretamente uma diferença de potencial elétrico nos seus terminais, produzindo uma corrente elétrica contínua. Os átomos que constituem as células, ao

serem incididos pelos fótons, libertam elétrons, devido à energia da radiação que os fótons transportam. É o efeito fotoelétrico.



Foto 4 – Multímetro

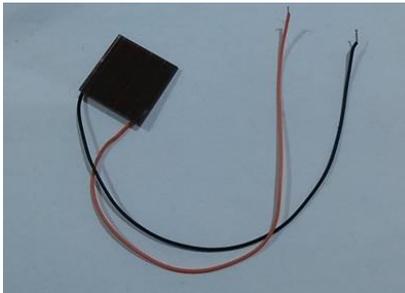


Foto 5 – Placa voltaica

Segue abaixo as etapas para o experimento demonstrativo:

Durante estes dois momentos os alunos devem ser orientados para que observem o que ocorra em cada etapa do experimento e registrem no caderno de física o valor da voltagem que aparecerá no visor do multímetro.

1ª Etapa: A medição da placa dentro da sala de aula.

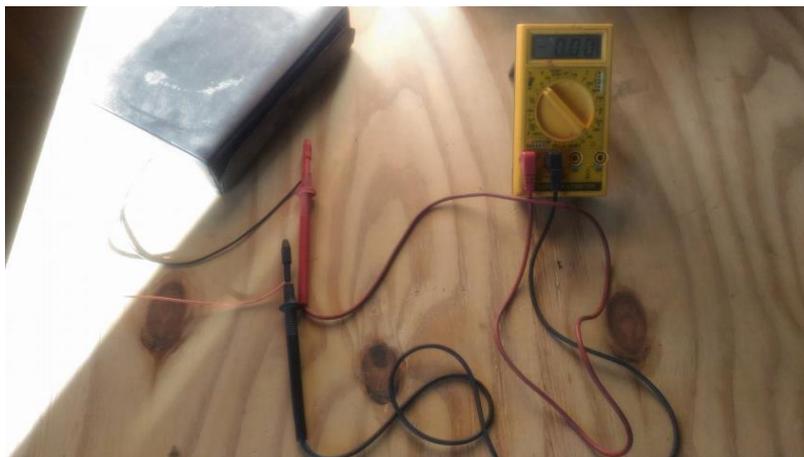


Foto 6 - Montagem experimental com a fotocélula não exposta ao sol

Neste momento, liga-se o voltímetro à placa fotovoltaica e a mesma é preparada para não ficar exposta ao sol. Como sugestão, coloca-se uma caixa em cima da placa para simular a falta de luz e faz-se a medição. Nesse momento, os alunos podem verificar, através do voltímetro, o valor medido na placa solar.

2ª Etapa: A medição da placa exposta ao sol.



Foto 7 – Montagem experimental com a fotocélula exposta ao sol

À seguir, a placa voltaica deve ser exposta à luz solar e deve ser realizada a nova medição da voltagem gerada pela placa. É possível fazer uma conexão das teorias anteriormente vistas, com a comprovação experimental da mesma contribuindo para que o aluno tenha um aprendizado significativo.

Na sequência, sugere-se que se abra uma discussão com a turma sobre o que ocorre em cada etapa do experimento e as suas conclusões.

4º Momento – Aula com uso de Simulador

- Objetivos: Visualizar e interagir com a experiência do efeito fotoelétrico.
- Disponibilidade de computadores para os alunos e acesso a internet para baixar o programa sugerido.
- Para este momento propõe-se uma aula de 50 minutos

Para esta aula escolheu-se uma metodologia que leve os alunos a visualizarem os fenômenos físicos apresentados nas aulas anteriores, tornando-os parte do experimento através da interação com as variáveis que fazem parte do efeito fotoelétrico através de uma simulação computacional.

Para o uso do simulador o professor deverá seguir alguns critérios, procurando proporcionar ao estudante uma simulação que não contenha erros, e que ofereça conforto e facilidade de manipulação. Sugere-se utilizar a simulação do Efeito Fotoelétrico elaborada pelo projeto PhET da Universidade do Colorado (EUA), que disponibiliza gratuitamente simulações computacionais interativas de diversos fenômenos físicos.

O simulador do projeto PhET sobre o efeito fotoelétrico está disponível no site https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric. Ele contribui para a assimilação dos conteúdos desenvolvidos anteriormente, já que os alunos podem interagir com o simulador através do laboratório de informática. Este simulador contempla e completa o conteúdo trabalhado e motiva os alunos a pesquisarem mais sobre o tema.

O professor deve dispor os alunos de acordo com a quantidade de computadores disponíveis na sala de informática e fazer a mediação, tirando dúvidas e conduzindo as etapas para o desenvolvimento da aula.

Nesta aula, o objetivo de se utilizar o simulador é o de se identificar os fenômenos quantitativamente, interagir com o objeto e extrair informações que contribuam para o entendimento do tema abordado.

Sugestões que contribuem através da interação para a aprendizagem do aluno:

- ✓ Observar e analisar a experiência do efeito fotoelétrico;

- ✓ Interagir e manipular a intensidade da luz e observar o que ocorre com a corrente e a energia dos elétrons;
- ✓ Se alterarmos o comprimento de onda da luz, como isto irá influenciar a corrente e a energia dos elétrons;
- ✓ A mudança na voltagem afeta a corrente e a energia dos elétrons;
- ✓ A escolha do material tomado como alvo influenciará o valor da corrente e a energia dos elétrons;
- ✓ Traçar gráficos com as variáveis presentes no fenômeno.

5º Momento: Texto final.

Neste momento sugere-se uma discussão sobre a aplicação do efeito fotoelétrico no nosso cotidiano e que tecnologias utilizam este princípio físico.

Que sejam pontuadas as situações onde se aplica hoje o efeito fotoelétrico no cotidiano, assim como os benefícios que isto traz para a sociedade.

Na sequência, pede-se para os alunos relatarem o que aprenderam com as aulas sobre o efeito fotoelétrico e finalizem elaborando um texto descrevendo o que aprenderam sobre o tema exposto nas aulas anteriores.

Dessa forma, espera-se que este trabalho venha contribuir com a inserção do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio e que o processo de ensino e aprendizagem do aluno se torne significativo.

Referências Bibliográficas

- BASSALO, J. M. F. **Nascimento da física (1901 – 1950)**. Belém: EDUFPA. 2000.
- BOSCHETTI, Diego. **Um pouco da história da luz segundo o olhar do Homem**. Disponível em:
<<https://www.if.ufrgs.br/tex/edu02220/sem012/po6/texto616.html>
> Acesso em 27/11/2016
- BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais**. Brasília: MEC / SEF, 1998.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica**: MEC, SEB, DICEI, 2013.
- BRASIL. **PCN+ do Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos PCN. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.
- BRENNAN, Richard P. **Gigantes da física: uma história da física moderna através de oito biografias**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed.2003.
- CHASSOT, Attico. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. 5. Ed., ver. – Ijuí: Ed. Unijuí, 2011.
- CHIOVATTO, Milene. **O professor mediador**. In: **Artes na escola**, Boletim, n. 24. São Paulo, out/nov/2000
- EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica. Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979.
- EINSTEIN, Albert; INFELD, Leopold . **A evolução da física**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2008.
- GIORDAN, Marcelo. **O papel da experimentação no ensino de ciências**. Disponível em:
<<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc10/pesquisa.pdf>>
- HEWITT, Paul G. **Fundamentos de física conceitual**. Borkman. Porto Alegre. 2011.
- MANGILI, A. I. **Henrich Rudolf Hertz e a descoberta do efeito fotoelétrico: Um exemplo de cuidados que devemos ter ao utilizar a história da ciência na sala de aula. História da ciência e ensino: construindo interfaces**.v.6,p. 32 – 48, 2012. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **PCN + Ensino médio: orientações**

educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2002.

MOREIRA, Ildeu de Castro. **Einstein e seus Trabalhos de 1905 e 1915.** IF – UFRJ. Disponível em:

<<http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/fisica/0004.html>> Acesso em maio de 2015.

MOREIRA, Ildeu de Castro. **1905: Um Ano Miraculoso.** IF – UFRJ. Disponível em:

<<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/1905-ildeu.pdf>> Acesso em dezembro de 2014.

Naturaleza del espacio.. Educar Chile. Disponível em:

< <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=133072>> Acesso em agosto de 2015.

PAIS, Abraham. **“Sutil é o Senhor...”: a ciência e a vida de Albert Einstein.** Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

[Phet - Simulation] Disponível em < https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric > acesso em outubro de 2015.

ROCHA, José Fernando M. (org). **Origens e evolução das ideias da física.** EDUFBA, Salvador, 2002.

Salvetti, Alfredo Roque. **A história da luz.** 2 ed. Rev. São Paulo, Editora livraria da Física. 2008.

Silva, Boniek Venceslau da Cruz. **Controvérsias sobre a natureza da luz: uma aplicação didática.** Natal , RN, 2010.

[Silva 2010] J. Silva e J. Souza, O ensino de Física em Botucatu, *Revista Botucatuense de Ensino de Física*, v. 97, n. 4, p. 1103-1125, 2010.

TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. **Física Moderna.** Rio de Janeiro: LTC, 2010.

[Wiki-Termo 2010] *Wikipédia: Termodinâmica.* Disponível em <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Termodinâmica>>. Acesso em julho de 2010.