

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA - POLO CAMPO MOURÃO**

DANILO CORCI BATISTA

**UMA PROPOSTA PARA SE ENSINAR EFEITO FOTOELÉTRICO NO
ENSINO MÉDIO**

**CAMPO MOURÃO
2016**



Danilo Corci Batista

UMA PROPOSTA PARA SE ENSINAR EFEITO FOTOELÉTRICO NO ENSINO MÉDIO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física 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.

Orientadora: Profa. Dra. Polônia Altoé Fusinato

Co-Orientadora: Profa. Dra. Fernanda Peres Ramos

Campo Mourão - 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

B333p Batista, Danilo Corci

Uma proposta para se ensinar efeito fotoelétrico no ensino médio/
Danilo Corci Batista.--. 2016.
80 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Polônia Altoé Fusinato

Coorientador: Prof. Dra. Fernanda Peres Ramos

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) –
Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-
Graduação em Ensino de Física. Campo Mourão, 2016.

Inclui bibliografias.

1. Ensino de física. 2. Física – Ensino médio 3. Física –
Dissertações. I. Fusinato, Polônia Altoé, orient. II. Ramos, Fernanda
Peres, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. IV. Título.

CDD: 530.07

Biblioteca Câmpus Campo Mourão
Lígia Patrícia Torino CRB 9/1278

TERMO DE APROVAÇÃO

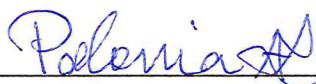
Titulo da dissertação:

Uma proposta para se ensinar efeito fotoelétrico no Ensino Médio

por

Danilo Corci Batista

Esta dissertação foi apresentada às 19h do dia **05 de agosto de 2016** como requisito parcial para a obtenção do titulo de MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA, do Programa de **Mestrado** Profissional em *Ensino de Física* do Departamento de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campo Mourão - Polo 32 do MNPEF - SBF. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação a banca examinadora considerou o trabalho Aprovado (aprovado ou reprovado).



Prof. Dra. Polonia Altoé Fusinato

Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Prof. Dra. Adriana da Silva Fontes

Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Prof. Dr. Ricardo Francisco Pereira

Universidade Estadual de Maringá

Dedico este trabalho

à minha esposa Gabriela, à minha mãe Sueli, ao meu pai Ariovaldo e ao meu irmão Michel pelo incentivo, carinho e amor.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me proporcionado a oportunidade de realizar este estudo.

Aos professores do mestrado, pela paciência, dedicação, e pela forma de conduzir nossa formação e principalmente pelo ambiente de harmonia e amizade.

Aos colegas de turma com os quais tive uma ótima convivência e troca de informações no decorrer do curso.

A professora Dr^a. Polônia Altoé Fusinato que me orientou com muita calma, carinho e dedicação.

A professora Dr^a. Fernanda Peres Ramos por toda a dedicação ao meu trabalho durante a co-orientação.

A todos os meus amigos que de forma direta ou indireta me incentivaram no decorrer do trabalho.

A minha esposa Alessandra Gabriela Ribeiro que tem sido parceira em todos os momentos.

Ao meu pai Ariovaldo Batista e minha mãe Sueli Corci Batista por terem-me dado uma ótima educação, estudo e muito amor, incentivando-me a ir em frente cada vez mais e nunca desistir frente a um obstáculo, fazendo-me acreditar em um futuro melhor. A meu irmão Michel Corci Batista por estar comigo nessa profissão belíssima.

Ao Colégio Evangélico de Maringá e aos alunos do terceiro ano do Ensino Médio por aceitarem fazer parte desta investigação.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus de Campo Mourão pelas condições proporcionadas para a realização desse curso de mestrado.

À Sociedade Brasileira de Física e à Capes por apoiar o projeto.

Meu muito obrigado a todos.

Ninguém caminha sem aprender a caminhar, sem aprender a fazer o caminho caminhando, refazendo e retocando o sonho pelo qual se pôs a caminhar.

Paulo Freire

BATISTA, D. C. UMA PROPOSTA PARA ENSINAR EFEITO FOTOELÉTRICO NO ENSINO MÉDIO. 2016. 62 f. DISSERTAÇÃO (Mestrado em Ensino de Física), do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, UTFPR, Campo Mourão, 2016.

RESUMO

Os documentos oficiais que regem o ensino de Física no país e em especial no estado do Paraná indicam a necessidade da inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Nesse sentido, esse trabalho objetivou elaborar e implementar uma sequência didática para o ensino do efeito fotoelétrico em uma turma da terceira série do Ensino Médio de uma instituição privada da cidade de Maringá, Paraná. As estratégias de ensino e aprendizagem norteadoras da proposta de sequência didática estão fundamentadas, pedagogicamente, na teoria sociocultural de Vigotski. O presente estudo seguiu os pressupostos da pesquisa qualitativa. A implementação da proposta se deu em dois encontros que ocorreram em contra turno e todos os materiais coletados para análise foram interpretados segundo os princípios e procedimentos da análise de conteúdo de Bardin (1977). Um resultado relevante nesse trabalho, foi a construção de um ambiente de ensino e aprendizagem com momentos que estimularam a participação dos alunos de maneira democrática, promovendo interações sociais extremamente proveitosas, o que de acordo com Gaspar (2014) é fundamental para que ocorra a aprendizagem. Ressaltamos ainda que a sequência didática implementada se mostrou satisfatória com relação aos objetivos da pesquisa pois, os alunos foram levados a levantar e testar hipóteses, discutir suas hipóteses em pequenos grupos tendo a chance de defender seu ponto de vista e principalmente respeitar o ponto de vista do outro, atendendo assim o que Zabala (1998) chama de conteúdo atitudinal.

Palavras-chave: Ensino de Física. Física Moderna. Sequência Didática

BATISTA, D. C. **A PROPOSAL TO TEACH PHOTOELECTRIC EFFECT IN MIDDLE SCHOOL.** 2016. 62 F. DISSERTATION (Masters in Physics Teaching), of the National Professional Master Program in Teaching Physics, UTFPR, Campo Mourão, 2016.

ABSTRACT

The official documents that govern the teaching of Physics in the country and especially in the state of Paraná indicate the need for the insertion of Modern and Contemporary Physics in High School. In this sense, this work aimed to elaborate and implement a didactic sequence for the teaching of the photoelectric effect in a group of the third grade of High School of a private institution in the city of Maringá, Paraná. The teaching and learning strategies that guide the teaching sequence are pedagogically grounded in Vygotsky's sociocultural theory. The present study followed the assumptions of the qualitative research. The implementation of the proposal occurred in two meetings that took place in counter shift and all materials collected for analysis were interpreted according to the principles and procedures of the content analysis of Bardin (1977). A relevant result in this work was the construction of an environment of teaching and learning with moments that stimulated the participation of students in a democratic way, promoting extremely useful social interactions, which according to Gaspar (2014) is fundamental for learning to occur. We also emphasize that the didactic sequence implemented was satisfactory in relation to the objectives of the research, because the students were led to raise and test hypotheses, to discuss their hypotheses in small groups having the chance to defend their point of view and mainly respect the point of view. On the other, in accordance with what Zabala (1998) calls attitudinal content.

Keywords: Teaching Physics. Modern physics. Following teaching

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 TEORIA DO DESENVOLVIMENTO DE VYGOTSKY	13
2.2 DEMONSTRAÇÕES EXPERIMENTAIS	17
3 METODOLOGIA	20
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	20
3.2 COLETA DE DADOS	20
3.3 INSTRUMENTO PARA ANÁLISE DOS DADOS	20
4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO	22
4.1 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	24
4.2 INTRUDUÇÃO AO EFEITO FOTOELÉTRICO	26
4.2.1 A Física no final do século XIX	26
4.2.2 Os resultados inesperados do experimento de Hertz	28
4.2.3 O efeito fotoelétrico	28
4.3 ESTRUTURA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	36
4.4 DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	36
4.5 AVALIAÇÃO	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL: RELATO DE EXPERIÊNCIA	49
5.2 AÇÕES DESENVOLVIDAS E ANÁLISE	49
5.3 NOSSO OLHAR PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	53
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS	56
APÊNDICE: PRODUTO EDUCACIONAL	58

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas os avanços tecnológicos e científicos têm despertado nos alunos olhares mais atentos e interessados sobre temas que abordam às ciências de uma forma geral. A Física, em específico, tem contribuído de maneira significativa nesse contexto, principalmente para o desenvolvimento de itens como medicina, engenharia e comunicação. Porém, é extremamente preocupante como o hábito de estudos relacionados às ciências e em específico a Física no Ensino Médio (E.M.) não acompanha a apropriação do conhecimento pela população e os avanços tecnológicos das últimas décadas, se distanciando assim cada vez mais da real necessidade dos alunos em estudar temas interessantes e que dizem respeito a conhecimentos atuais e de grande importância

Vislumbrando um ensino de Física com temas mais atuais, D'Agostin (2008) sugere a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, no entanto, ressalta que a proposta não deve ser alicerçada apenas no formalismo matemático, é importante que se aborde a Física Moderna a partir de situações cotidianas que envolvam assuntos.

Sendo assim, se faz importante mostrar ao aluno que a Física Moderna está inserida no seu cotidiano em situações simples. Nesse sentido, entende-se que o desenvolvimento de um trabalho no Ensino Médio com uma Física Moderna mais atual por meio de uma abordagem diferente, isto é, apresentada de uma forma mais próxima do que o aluno conhece pode contribuir para romper com a visão de que a Física é uma disciplina chata cheia de "fórmulas".

Entendemos, que quanto mais próxima a linguagem do aprendiz quando se trabalha os conceitos da Física, mais fácil e agradável será a compreensão e a inserção deste no contexto em questão.

Dessa forma, esse trabalho se propõe a levar, concretamente, para a sala de aula a proposta bastante difundida, mas pouco explorada, do ensino de Física

Moderna para o Ensino Médio. Sendo assim, esse trabalho objetiva propor uma sequência didática para o ensino do efeito fotoelétrico em uma turma da terceira série do Ensino Médio de uma instituição privada da cidade de Maringá, Paraná.

As estratégias de ensino e aprendizagem norteadoras da proposta de sequência didática estão fundamentadas, pedagogicamente, na teoria sociocultural de Vigotski, que de acordo com Gaspar (2005) “a criança não aprende o que sabe fazer sozinha, mas o que ainda não sabe fazer e lhe vem a ser acessível em colaboração com o professor e sob sua orientação”, a relação entre o professor e o aluno pode ser melhor compreendida como as interações sociais que, do ponto de vista vigotskiano, têm, como função pedagógica, facilitar a formação de novas estruturas cognitivas, permitindo ao aluno processar um novo conceito.

Este trabalho está dividido em 6 capítulos.

O capítulo 1 é a introdução e tem por objetivo situar o leitor sobre a temática do trabalho e apresentar de maneira sucinta os capítulos que serão desenvolvidos ao longo dessa dissertação.

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico adotado para a construção da proposta da sequência didática, bem como para a interpretação dos dados obtidos com a implementação da proposta. Esse capítulo se pauta nas atividades experimentais, tendo como base a teoria sociocultural de Vygotsky.

O capítulo 3 descreve os caminhos metodológicos desse trabalho de pesquisa.

O capítulo 4 faz uma apresentação detalhada do produto educacional desenvolvido. Já o capítulo 5 apresenta os resultados e as discussões da implementação do produto educacional.

O capítulo 6 discute-se as considerações finais deste estudo, apresentando-se resultados observados durante a pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TEORIA DO DESENVOLVIMENTO DE VYGOTSKI

Sabe-se que o sistema de ensino, em geral, e particularmente o ensino de Física tem enfrentado dificuldades relacionadas a questão de como se ensinar Física, a fim de que o aluno se envolva e chegue a uma aprendizagem. Devido a essa preocupação buscamos elaborar um trabalho que relacione a teoria histórico-cultural de Vygotsky com o ensino da Física.

Para ele, autor russo com fundamentação marxista, o aprendizado constitui-se como fator necessário e fundamental para que as funções psicológicas superiores se estabeleçam. Assim, cada indivíduo se desenvolve a partir de sua maturação física, porém a esta se deve somar a interiorização do seu psicológico advindo do aprendizado.

O aprendizado advém de vários processos internos os quais ganham êxito quando a criança interage com pessoas do seu ambiente ou em cooperação com seus companheiros. Se internalizados, tais processos tornam-se parte das aquisições do desenvolvimento independente da criança.

De acordo com Gaspar (2005), Vygotski tem seu estudo baseado na psicologia sócio-histórica, onde todo homem se constitui como ser humano pelas relações que estabelece com os demais. Assim, desde o momento do nosso nascimento, estamos nos relacionando, tornando-nos independentes uns dos outros e os processos históricos nos permitem captar visões sobre o mundo de forma geral a qual será transformada em uma visão pessoal sobre este mesmo mundo. Com isso, cada um traz consigo aspectos pessoais, ou seja, carregam impressões da sua própria história e ao se transformar de criança para adulto processa, internamente, as informações que recebeu de seu exterior e as julgará de forma peculiar.

Vygotski, em sua teoria sócio-interacionista, desenvolve a visão de que todos constroem seus pensamentos baseados no que apreendem externamente e reconstróem internamente. A este processo relaciona-se uma lei, postulada por Vygotski, a qual denominou de dupla estimulação: tudo o que se internaliza no

indivíduo existe anteriormente no âmbito social, o sujeito apreende e modifica o que permite a existência, então no plano intra-psicológico (GASPAR, 2005).

Ressalta-se que as possibilidades oferecidas pelo ambiente são fundamentais para o amadurecimento do ser humano e este possuirá o livre-arbítrio de modificar as circunstâncias em que vive.

Quando a criança está em fase de desenvolvimento, interage com parceiros mais experientes que orientarão o desenvolvimento deste jovem. Nesta fase, as funções psicológicas elementares são transformadas em superiores através, em especial, da linguagem que será um instrumento mediador no processo de desenvolvimento intelectual. Para Vygotski (1991) a palavra é um forte aliado na análise das relações entre pensamento e linguagem.

Esta troca de informações, ou seja, esta negociação, deve ser observada principalmente nas salas de aula, pois neste ambiente o professor poderá detalhar os conceitos científicos bem como os conceitos cotidianos trazidos pelo aluno que serão enriquecidos e melhorados.

Quando os professores de outros sujeitos mais experientes interagiram com as crianças, são capazes de estimular a apropriação da linguagem bem como sua expansão fazendo com que esta tenha um significado mais objetivo e amplo. É por este processo de interação entre os indivíduos que as crianças aprenderão a resolver problemas que se insurgirem.

Para que este processo de aprendizado ocorra de forma satisfatória, é necessário que a sala de aula seja um ambiente propício e estimulador à compreensão. Assim, não poderá se restringir a um local onde apenas o professor fala e acredita “deter” o conhecimento, pelo contrário, a sala de aula deve ser um ambiente em que todos possam se expressar, de levantar suas hipóteses. O professor será o articulador do conhecimento, existem sim papéis na sala de aula, os quais não podem ser deixados de lado, porém não deve haver uma rigidez a eles relacionada. Assim o professor assumirá o papel de ensinar, mas este aluno também aprenderá com seus pares.

“Ora, a aprendizagem desenvolvida na escola é uma fonte importante de expansão conceitual. Afinal, a escola é um ambiente, ou pelo menos

deveria ser privilegiado para fornecer o suporte necessário a ricas e profundas interações com o conhecimento socialmente elaborado. Nas interações criança-criança e professor-criança, a negociação de significados favorece a passagem do conhecimento espontâneo para o científico, possibilitando aos alunos não só a apropriação do legado cultural, a construção das funções psicológicas superiores e a elaboração de valores que possibilitam um novo olhar sobre o meio físico e social, como também sua análise e eventuais transformações” (MARTINS,1997, pg.119).

As crianças trazem consigo concepções espontâneas as quais constroem sozinhas em suas relações cotidianas. Na escola espera-se que essa concepção espontânea adquira uma sistematização, novos significados que estão abarcados pelo conceito científico.

“Os conceitos científicos encontram-se na encruzilhada dos processos de desenvolvimento espontâneos e daqueles induzidos pela ação pedagógica. Revelam simultaneamente as modalidades de construção subjetivas e as regulações da cultura. São ponto de encontro da experiência cotidiana e da apropriação de corpos sistemáticos de conhecimentos. Sua origem genética revela a complexidade dos processos de desenvolvimento e a reorganização das inter-relações funcionais que se estabelecem durante seu curso” (BAQUERO, 1998, pg.89).

Esse conhecimento trazido pelo jovem é o que mediará à aprendizagem de novos saberes.

“É de central importância a transição dos conceitos espontâneos para os conceitos científicos. Decorre daí o fato de a proposta sócio-interacionista atribuir ao papel do professor uma grande importância. Cabe a ele promover a articulação dos conceitos espontâneos da criança com os científicos veiculados na escola, de tal forma que, de um lado, os conceitos espontâneos possam inserir-se em uma visão mais abrangente do real, própria do conceito científico, e, de outro lado, os conceitos científicos tornem-se mais concretos, apoiando-se nos conceitos espontâneos gerados na própria vivência da criança” (MARTINS,1997, pg.120).

Desta forma, entende-se que é fundamental a interação de pessoas mais experientes na vida das crianças com o objetivo que estas construam seus saberes, a vivência das diferenças é de grande valia para a construção do conhecimento. Assim, tanto as crianças quanto os adolescentes precisam interagir com aqueles capazes de lhes proporcionar novidades em seu saber, para que construam seu conhecimento e que este se concretize com o passar do tempo.

Vygotski, em seus estudos identificou dois níveis de desenvolvimento no indivíduo:

1. o nível real ou efetivo o qual constitui as funções psicológicas já efetivadas e percebem-se amadurecidas devido ao resultado de certos ciclos de desenvolvimento, possíveis de ser vistos por meio de solução individual de problemas;
2. e o nível de desenvolvimento proximal constituindo-se em vias de amadurecimento na qual o individuo necessita do auxilio de adultos e de outras crianças mais experientes.

Assim Vygotski define a Zona de Desenvolvimento Proximal como a diferença entre o que o sujeito consegue fazer individualmente e aquilo que consegue realizar com a mediação social (MELO; URBANETZ, 2008, p. 119).

Este processo de desenvolvimento segue o processo de aprendizagem que é responsável pela zona de desenvolvimento proximal, ou seja, o ensino incide sobre a zona de desenvolvimento proximal.

Para que os alunos consigam formar seus processos psicológicos superiores, é essencial que a escola, ao trabalhar com conceitos científicos, traga-os de maneira organizada, pois, o aluno irá precisar de tal auxilio para elaborar seus conhecimentos.

Desta forma, a escola necessita sistematizar os conteúdos que existem no meio social para que os estudantes consigam apreende-los. O professor, neste contexto, seria um mediador intervindo na zona de desenvolvimento proximal, ou seja, o educador iria conduzir a prática pedagógica de forma a ensinar.

Com isso, todos teriam a capacidade de aprender, desde que utilizassem formas diferenciadas de mediações adequadas a cada necessidade. Ressalta-se ser de grande valia a compreensão correta sobre as dificuldades de cada um visto que, estereotipar determinados problemas educacionais, representaria maior índice de exclusão e fracasso escolar.

Esta dificuldade no âmbito da escola advém de uma série de fatores e não somente da criança ou do professor. Este fator de não aprendizado surge como consequência de problemas que são detectados em todo o sistema: com a família, com a criança, com o educador e com toda a sociedade. O fracasso

escolar é proveniente de uma crise geral.

Assim, na escola é necessário considerar o cotidiano do aluno o qual está repleto de problemas, analisando, ao se tomar medidas necessárias, a relação entre a escola e os processos sociais que se relacionam com a aprendizagem. Desta forma, a dificuldade do ensino esta ligada a uma série de fatores e não somente na interação entre professores aluno e conhecimento.

Outro aspecto a ser observado é que neste processo de evolução e conhecimento há uma interação do individuo com diversos fatores que certamente influenciarão em sua formação, principalmente a intelectual. Por isso, ao se analisar uma dificuldade educacional apresentada não se pode considerar apenas o fator professor-aluno, mas sim uma série de elementos que formam um sistema.

Ao se desenvolver projetos pedagógicos que visem de forma adequada e eficaz diminuir tais dificuldades apresentadas deve-se descobrir o padrão de potencialidade e de necessidade da criança, para que se construa sobre as potencialidades e se atenda tais necessidades.

O estudante ao adentrar no âmbito da Física deveria mostrar interesse em aprender o conteúdo, pois tal ciência explica fatos que ocorrem em seu cotidiano. No entanto, ao se iniciar tal estudo percebe-se que a matemática é uma ferramenta para se demonstrar conceitos físicos e o aluno, por apresentar falha com relação à matemática, acaba por se desencantar com a Física confundindo as duas disciplinas e desenvolvendo a errônea conclusão de que o não entendimento de equações significa a não compreensão do fenômeno.

2.2. DEMONSTRAÇÕES EXPERIMENTAIS

De acordo com Araújo e Abib (2003), as demonstrações experimentais são apresentações realizadas pelo professor na qual ele fundamenta a explicação de conceitos ou modelos físicos. Tais demonstrações podem ser realizadas tanto em sala de aula quanto em laboratórios de ensino e terão por objetivo a melhor visualização por parte do aluno no que está sendo discutido em sala de aula.

Apesar de enfrentar diversos problemas para sua realização, tais como falta de equipamentos adequados e, muitas vezes, até mesmo falta de orientação pedagógica correta, essas demonstrações são de grande valia, pesquisas em ensino têm demonstrado a eficácia de atividades envolvendo demonstrações e experimentos na percepção e estruturação de conceitos físicos em aulas de ciências (CARVALHO e PEREZ, 2006; ARRUDA e LABURU, 2005).

Sabe-se que muito se tem utilizado a teoria de Vygotski na análise das relações de ensino, e de acordo com Gaspar (2014), tal teoria pode também ser utilizada na fundamentação destas atividades de demonstrações experimentais.

Ainda de acordo com Gaspar (2014), todo o conteúdo de física pode ser ensinado por meio de diferentes estratégias pedagógicas, desde que elas desencadeiem interações sociais das quais o professor participe como parceiro mais capaz. Nesse sentido a realização de uma atividade experimental demonstrativa só possibilita a aprendizagem do conteúdo envolvido, se o grupo de alunos contar com a colaboração de alguém que domine esse conteúdo (GASPAR, 2014, p.211)

Para Vygotski (1991), a colaboração é essencial ao desenvolvimento da criança. A interação deste jovem com os demais indivíduos fará com que adquira um conhecimento mais amplo, essa colaboração não se restringe ao professor-aluno, mas também com todos os demais que envolvem este jovem. Estas interações que ocorrem em sala de aula são essenciais ao desenvolvimento do aluno, mas não podem ser vistas isoladamente. Desta forma, as demonstrações experimentais, para apresentarem êxito devem ser realizadas seguindo uma determinada disposição, retratada a seguir.

Ao verem um determinado equipamento ou material, os alunos, a princípio, não saberão o que o professor deseja fazer ou como funciona tal equipamento, porém é provável que façam suas suposições sobre o que será realizado. O professor terá por tarefa unir cada uma destas definições de seus alunos e para isso deverá fazer uma discussão prévia deixando claro o objetivo de sua demonstração e explicando os conteúdos que estarão envolvidos.

Neste momento, o professor poderá desafiar o aluno perguntando o que

eles acreditam que irá ocorrer, isso fará com que eles interajam e pensem a respeito do conteúdo bem como auxiliará o professor em perceber as concepções pessoais trazidas pelos alunos redirecionando, quando necessário, sua atividade.

Em seguida deve ser feito o desenvolvimento da demonstração. Este momento trará como objetivo tornar mais eficiente a inter-subjetividade, ou seja, o professor fará questões aos alunos diretamente relacionadas com o tema, fenômenos e conceitos. As respostas serão anotadas e relacionadas para que eles tenham consciência de suas concepções, o professor então, apontará os aspectos críticos a serem observados tendo em vista o modelo teórico explicativo a ser exposto ao final da apresentação.

Por fim, faz-se a explicação da demonstração em que se deve apresentar aos alunos o modelo teórico que irá definir os conceitos e explicar os fenômenos apresentados com a demonstração. Nesta fase devem ser retomadas as explicações e ideias que foram propostas no início comparando-as com o modelo explicado na aula experimental.

Desta forma, é possível aperfeiçoar o conhecimento que os adolescentes trazem de sua vivência aplicando-se, portanto, o método de Vygotski, pois o adolescente entra em contato com algo novo apresentado por alguém que possui um conhecimento (dentro do que está sendo estudado) mais amplo do que aquele trazido por este aluno e com isso aprende algo diferente além do contato com seus colegas que também trazem novidades capazes de aumentar sua gama de conhecimento.

3METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Nossa proposta pauta-se nas investigações qualitativas, cujos métodos são apropriados quando o fenômeno em estudo possui natureza social e, por isso, é complexo. Tem resultados que não objetivam quantificações e cujo entendimento é indissociável do contexto natural. Bogdan e Biklen (1994) afirmam que tais pesquisas se caracterizam por terem, no ambiente natural, a principal fonte de dados, e, no pesquisador, seu instrumento principal. Seus dados são, predominantemente, descritivos e a preocupação maior está no processo, no lugar do(s) produto(s).

Segundo Lüdke e André (2013), o pesquisador qualitativo, ao estudar determinado problema, volta-se ao ato de verificar como o mesmo se manifesta. O significado que as pessoas dão às coisas e à vida são focos de sua atenção. Nestas pesquisas, tal como nesta, há sempre uma tentativa de compreender a perspectiva dos participantes.

3.2 COLETA DE DADOS

A coleta dos dados ocorreu com a implementação do produto educacional sobre o tema efeito fotoelétrico em uma turma de terceira série do Ensino Médio de uma instituição particular da cidade de Maringá-PR. O produto educacional é composto por uma sequência didática, que terá duração de 4 horas, com a utilização da pesquisa qualitativa como procedimento metodológico.

Como instrumento de coleta de dados foi utilizado a gravação do módulo 1 em vídeo para posterior transcrição, o diário de campo produzido pelo pesquisador e pelo orientador que acompanhou a implementação do primeiro módulo da sequência didática e todos os documentos respondidos pelos alunos no decorrer de toda a implementação.

3.3 INSTRUMENTOS DE ANÁLISE DOS DADOS

O procedimento metodológico utilizado para analisar os dados colhidos

durante a implementação da proposta será do tipo “Análise de Conteúdo”. Em geral, utiliza-se a análise de conteúdo para se analisar textos. Estes podem ser categorizados em (i) materiais elaborados ao longo do desenvolvimento de uma pesquisa, tais como, nosso caso, respostas a questionários, ou transcrições de entrevistas, diários de campo, ou (ii) produzidos antes, como jornais, documentos oficiais, entre outros. Porém, é importante frisar que esses dados chegam ao investigador de maneira bruta, precisando ser processados para uma melhor compreensão, interpretação e inferência, o que aspira a análise de conteúdo (MORAES, 1999).

Em sua vertente qualitativa, a análise de conteúdo parte da mensagem, e permite captar seu sentido no exame de um texto. Sentido esse que nem sempre é manifesto e cujo significado não é único: uma mesma mensagem pode ser capturada de maneiras distintas por distintos leitores e de modo originalmente imprevisível. Deste modo, Puglisi e Franco (2005) enfatizam que, para se compreender a mensagem de um texto, deve-se considerar o contexto ao qual se vincula, às relações contextuais dos seus produtores. De acordo com o mesmo:

“Condições contextuais que envolvem a evolução histórica da humanidade; as situações econômicas e socioculturais nas quais os emissores estão inseridos, o acesso aos códigos linguísticos, o grau de competência para saber decodificá-los, o que resulta em expressões verbais (ou mensagens) carregadas de componentes cognitivos, afetivos, valorativos e historicamente mutáveis”. (PUGLISI; FRANCO, 2005, p.13-14).

Segundo Almeida (2008), é conveniente tratar as diferentes fases: (i) a pré-análise, (ii) a exploração do material e (iii) o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação. A primeira fase é de organização, com o objetivo de organizar as ideias iniciais, sistematizando-as e tornando-as operacionais. A segunda, é realizada após a primeira, e consiste em enumeração e codificação a partir de regras estabelecidas. Já a terceira fase é aquela que trata os resultados, de maneira a serem significativos e válidos.

Contudo, segundo Moraes (1999), uma compreensão mais profunda da análise de conteúdo é adquirida com a prática e por ser um instrumento versátil, depende de cada pesquisador encontrar uma forma de utilizá-la de acordo com sua área específica.

4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO

De acordo com Batista (2016, p.40), em uma sala de aula, independente do nível de ensino, nem todos os alunos aprendem da mesma forma. Nesse sentido faz-se necessário que o professor busque estratégias diferenciadas e as organize de maneira estruturada a fim de potencializar a relação ensino aprendizagem. Ainda corroborando com o mesmo autor, acreditamos que, com um planejamento e um conjunto de atividades bem definidas, como o que se propõe na aplicação da uma sequência didática, seja possível alcançar os alunos de Ensino Médio, criando possibilidades para que possa ocorrer a aprendizagem.

Para Zabala (1998), uma sequência didática ou sequência de ensino é uma proposta metodológica determinada por uma série de atividades ordenadas e articuladas de uma unidade didática. Segundo o autor, um dos elementos que a identifica é o tipo de atividades que se propõe para exercer e, sobretudo, a maneira como são inter-relacionadas (RESQUETI, 2013).

Dessa forma uma sequência didática deve ser organizada de acordo com os objetivos que o professor quer alcançar para a aprendizagem de seus alunos, elas envolvem diversas atividades, de aprendizagem e de avaliação. Zabala (1998), enfatiza que para atingir tais objetivos uma sequência didática deve contemplar atividades:

- que permitam determinar os *conhecimentos prévios* dos estudantes em relação aos conteúdos de aprendizagem;
- cujos conteúdos sejam *significativos* e funcionais para os alunos;
- que representem um *desafio alcançável* para os estudantes, que os faça avançar com a ajuda necessária;
- que provoquem *conflito cognitivo*, de forma a estabelecer relações entre os novos conteúdos e os conhecimentos intuitivos dos estudantes;
- que promovam uma *atitude favorável* do aluno, de modo que fiquem motivados para o estudo dos conteúdos propostos;
- que estimulem a *autoestima* do estudante, para que ele sinta que em certo grau aprendeu e que seu esforço valeu

a pena;

- que ajudem o aluno a adquirir habilidades como o *aprender a aprender* e que lhe permitam tornar-se autônomo.

Para que estas atividades sejam contempladas, uma sequência didática deve conter pelo menos quatro etapas diferentes, como figura 1.

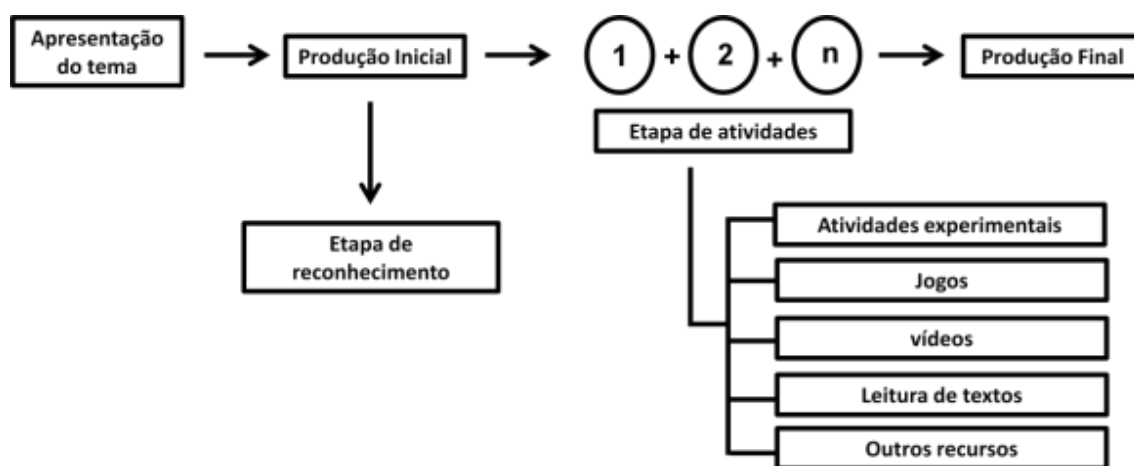


Figura 1: representação reduzida das etapas da sequência didática

Fonte: Batista, 2016, p.42

A primeira etapa consiste na apresentação do tema pelo professor. Em seguida se faz necessário mapear os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema, esta etapa, a segunda, Batista (2016) chama de produção inicial. Para fazer esse mapeamento o professor pode utilizar-se de vários recursos, tais como, questionários, mapas conceituais, desenhos, histórias em quadrinhos entre outros que possibilitem o aluno se expressar.

A terceira etapa se caracteriza pela organização e sistematização dos conhecimentos. Esta é a etapa da comunicação dos conteúdos, a mais difícil de ser planejada, pois numa visão simplista o termo conteúdo é utilizado para expressar aquilo que se deve aprender sobre a matéria estudada. Sobre esta visão Zabala (1998) afirma:

Devemos nos desprender dessa leitura restrita do termo "conteúdo" e entendê-lo como tudo quanto se tem que aprender para alcançar determinados objetivos que não apenas abrangem capacidades

cognitivas, como também incluem as demais capacidades. [...] Portanto, também serão conteúdos de aprendizagem todos aqueles que possibilitem o desenvolvimento das capacidades motoras, afetivas, de relação interpessoal e de inserção social (ZABALA, 1998, p.30).

Dessa forma, para preparar essa etapa da sequência didática se faz necessário ter clareza da seguinte questão: *"o que os alunos devem aprender ao final dessa sequência?"*.

4.1 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Elaboramos uma proposta, que visa, dar subsídios capazes de contribuir para a discussão em torno das possibilidades de um ensino de Física diferente de uma abordagem tradicional.

Para tal, planejamos uma sequência didática que introduz discussões de Física Moderna na terceira série do Ensino Médio, a partir do estudo do efeito fotoelétrico. Vale ressaltar que, na elaboração da proposta, escolhemos trabalhar com a terceira série do Ensino Médio por ser este o momento em que, formalmente, os alunos da educação básica conhecem os conceitos básicos de eletricidade bem como seu formalismo matemático.

Quanto ao tema central, foi selecionado porque, foi ele que abriu o caminho para uma nova Física, conhecida Física Quântica, portanto, entendemos como um marco na história da Ciência. Assim, essa proposta se apresenta como possibilidade em nossos objetivos, utilizando a História da Ciência (HC) como recurso de ensino, juntamente com a atividade experimental demonstrativa investigativa e com o simulador. Julgamos que por meio da História da Ciência o conceito de efeito fotoelétrico permita aos alunos a compreensão não só do avanço da Ciência e sua aplicação na tecnologia, mas principalmente, que a Ciência é uma construção coletiva, buscando romper com a ideia de que a mesma é feita por uma única pessoa em um momento de inspiração. Acreditamos que os outros recursos utilizados serão de grande importância na construção dos organizadores prévios dos alunos junto ao conteúdo.

A sequência apresentada a seguir tem por objetivo proporcionar um momento privilegiado de estudo despertando nos participantes a curiosidade e a busca pela investigação de temas atuais de Física.

FICHA TÉCNICA: EFEITO FOTOELÉTRICO		
TIPO DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA: Curta, com metodologia de pesquisa e produto final voltados para o uso cotidiano		
PÚBLICO ALVO	Alunos da 3ª série do Ensino Médio	DURAÇÃO: 4horas
CONTEÚDOS	<ul style="list-style-type: none"> • O contexto histórico do final do século XX • Experimento de Hertz • Experimento de Lenard • Max Planck e a quantização da energia • Einstein e sua interpretação para o efeito fotoelétrico • Aplicações do efeito fotoelétrico 	
OBJETIVOS	<ul style="list-style-type: none"> • Compreender porque a física clássica não explicava os resultados obtidos por Lenard. • Estudar a interação da luz com a matéria. • Analisar qualitativamente a relação da frequência e da intensidade com o efeito fotoelétrico. • Aplicar o modelo matemático descrito por Einstein em problemas envolvendo o efeito fotoelétrico. • Compreender que a Ciência é uma construção coletiva. 	
PRODUTO FINAL (AVALIAÇÃO)	Produzir um panfleto explicativo sobre algumas aplicações do efeito fotoelétrico	

4.2 INTRODUÇÃO AO EFEITO FOTOELÉTRICO

4.2.1 A física no final do século XIX

No final do século XIX, acreditava-se que a luz se comportava como uma onda eletromagnética, alguns experimentos (envolvendo difração e interferência) comprovavam essa forma de compreender a luz.

Nesse sentido pode-se dizer que, ondas eletromagnéticas são formadas pela combinação dos campos magnético e elétrico que se propagam perpendicularmente um em relação ao outro e na direção de propagação da energia.

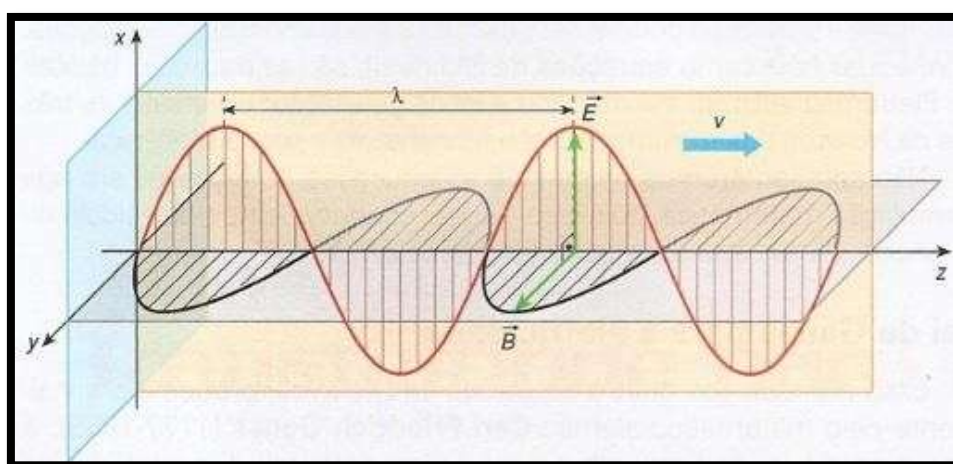


Figura 2: Onda eletromagnética

Fonte: <http://www.coladaweb.com/fisica/ondas/ondas-eletromagneticas>

Na primeira metade do século XIX, o físico escocês James Clerk Maxwell (1831 - 1879) ficou conhecido por desenvolver um dos trabalhos mais relevantes na área do eletromagnetismo. Com apenas vinte e quatro anos, se propôs realizar a tarefa de ligar a eletricidade e o magnetismo por meio de uma base matemática sólida.

De acordo com Mckelvey e Grotch (1981), Michael Faraday (1791 - 1867) já havia realizado experiências e chegado a descobertas que um campo magnético variável induzia um campo elétrico, no entanto, suas explicações em termos de linhas de força não foram consideradas como totalmente satisfatórias por seus contemporâneos. Foi Maxwell quem conseguiu desenvolver uma descrição matemática correta para a lei da indução de

Faraday, além disso, predisse que um campo elétrico variável no tempo induziria um campo magnético. Esta proposição originou-se da descoberta de Maxwell da corrente de deslocamento.

$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$, o fluxo elétrico fora do volume arbitrário é igual a $\frac{1}{\epsilon_0}$, vezes a carga total dentro do volume.

$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$, o fluxo magnético fora do volume arbitrário é igual a carga magnética total no volume. O fluxo deve ser zero devido à inexistência de cargas magnéticas. Portanto, os fluxos para dentro e para fora do volume devem sempre ser iguais.

$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$, a integral de linha de $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$ em torno de uma trajetória fechada é igual a razão de variação no tempo do fluxo magnético através da área encerrada pela trajetória.

$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \left(i_c + \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} \right)$, a integral de linha de $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$ em torno de uma trajetória fechada é igual a μ_0 vezes a soma das correntes de condução e deslocamento (MCKELVEY e GROTCHE, p.1280,1981).

Maxwell propôs quatro equações envolvendo campos elétricos, campos magnéticos, e distribuições de carga e densidade de corrente. Além de descrever o comportamento do campo elétrico e do campo magnético, as equações de Maxwell possibilitaram a previsão da existência das ondas eletromagnéticas, as quais são muito conhecidas e empregadas na ciência e na tecnologia. São ondas eletromagnéticas: as ondas de rádio, as micro-ondas, a radiação infravermelha, os raios X e raios gama e a luz visível ao olho humano.

A velocidade de propagação de uma onda eletromagnética depende do meio em que ela se propaga. Maxwell mostrou que a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética, no vácuo, é dada pela expressão:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0}}$$

onde é ϵ_0 a permissividade elétrica do vácuo e μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo.

Aplicando os valores de ϵ_0 ($8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N^2 \cdot m^2}$) e de μ_0 ($4\pi \cdot 10^{-7} T \cdot m/A$) na expressão acima, encontra-se a velocidade:

$$c = 3 \cdot 10^8 m/s$$

Oito anos após a morte de Maxwell, em 1887, Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), conseguiu detectar experimentalmente, em uma série de experimentos hoje famosos, essas ondas eletromagnéticas.

4.2.2 Os resultados inesperados do experimento de hertz

Em suas experiências de 1887, em que demonstrou a validade da teoria de Maxwell produzindo e detectando ondas eletromagnéticas, Hertz produzia uma descarga oscilante fazendo saltar uma faísca entre dois eletrodos, para gerar as ondas, e detectava-as usando uma antena ressonante, onde até a detecção era acompanhada de uma faísca entre eletrodos. Ele observou que a faísca de detecção saltava com mais dificuldade quando os eletrodos da antena receptora não estavam expostos à luz (predominantemente violeta e ultravioleta) proveniente da faísca primária na antena emissora, ou seja, quando se introduzia um anteparo entre as duas para bloquear a luz.

Curiosamente, ao comprovar a teoria de Maxwell, coroamento da física clássica, Hertz estava assim descobrindo o efeito fotoelétrico, uma das primeiras evidências experimentais da quantização.

4.2.3 O efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico consiste no seguinte: quando se incide luz sobre um material metálico, elétrons podem ser arrancados da superfície do metal.

No final do século XIX, o físico alemão Philipp Eduard Anton Von Lenard, ex- aluno de Hertz, retoma os experimentos do mesmo, fazendo incidir

luz sobre uma placa metálica (feita com materiais diferentes bem limpos e polidos). Observou que a incidência de luz na placa, produzia faíscas ou "raios" e, utilizando um aparato experimental, verificou que os "faíscas" produzidas eram, na verdade, elétrons, ou melhor, fotoelétrons, razão pela qual ele batizou o fenômeno de efeito fotoelétrico.

Na sequência, Lenard fez medidas bastante precisas descobrindo duas importantes propriedades: a primeira, dizia respeito à medida da corrente elétrica gerada em função da tensão elétrica aplicada nos eletrodos, quando ele notou que existia um potencial de corte, a partir do qual não era mais possível observar o efeito; a segunda, tratava da dependência do efeito em relação à frequência da luz incidente. Ele observou que abaixo de determinadas frequências o efeito deixava de acontecer, e isso estava associado a existência de um valor especial da frequência, chamada de frequência de corte.

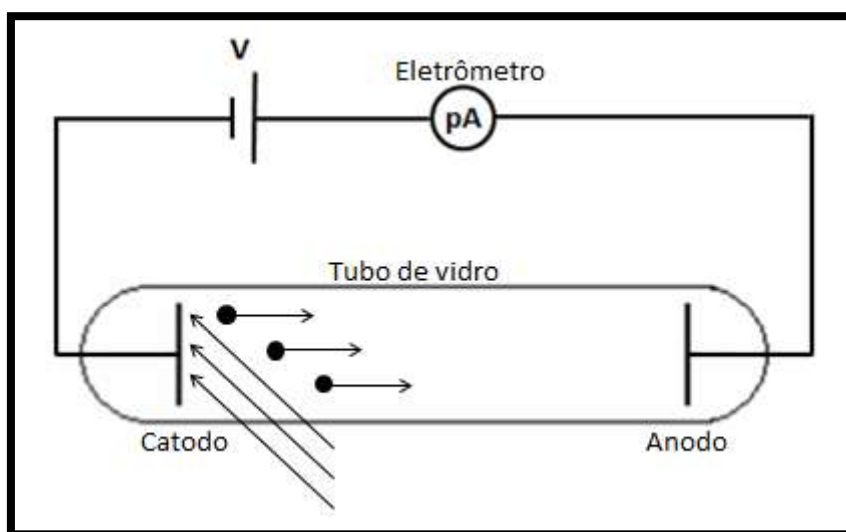


Figura 3: Esquema experimental para observação do efeito fotoelétrico.
Fonte: autoria própria

De acordo com a Figura 2, uma luz monocromática de frequência e intensidade incide sobre o catodo (placa conectada ao polo negativo da bateria) que libera elétrons, esses por sua vez são atraídos pelo anodo (placa conectada ao polo positivo da bateria). Esse movimento dos elétrons produz uma corrente elétrica extremamente pequena, da ordem de $10^{-12}A$ (pA), medida usando-se eletrômetros.

Os resultados obtidos por Lenard, com o equipamento apresentado na Figura 2, são apresentados nas Figuras 3 e 4

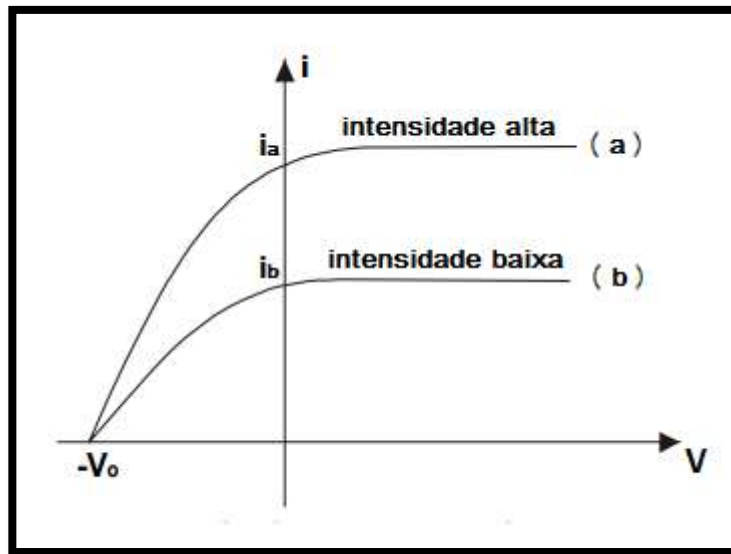


Figura 4: Gráfico da corrente elétrica em função da diferença de potencial entre os eletrodos.

Fonte: www.fis.ufba.br/dfes/estrutura1/roteiros/Fotoeletrico.pdf (adaptado)

A figura 3, mostra o comportamento da corrente elétrica i , em função da variação da tensão elétrica V entre as duas placas, anodo e catodo. Na figura, verifica-se duas curvas (a) e (b), que são relacionadas a duas fontes de luz com intensidade I_a e I_b , respectivamente, com $I_a > I_b$ e ambas com a mesma frequência f . Tanto no caso (a), como no (b), todos os elétrons retirados pela luz são coletados pelo anodo, quando $V > 0$, dando origem as a correntes i_a e i_b . Mas, quando $V < 0$ (inversão da polaridade da fonte de tensão), os fotoelétrons são freados, ao invés de acelerados. Então, embora, a corrente elétrica continue a passar no mesmo sentido, ela irá diminuir com o aumento do $|-V|$, até anular-se em $V = -V_0$, onde V_0 chama-se potencial de corte.

É importante observar que para as duas curvas (a) e (b), apresentadas na Figura 3, independente da intensidade luminosa, o potencial de corte é o mesmo. Esse é um resultado contrário ao previsto pela teoria clássica.

Na teoria clássica se espera que um aumento na intensidade da luz deveria provocar um aumento na energia cinética dos elétrons arrancados do catodo, e conseqüentemente de V_0 , pois a energia cinética máxima $K_{máx}$ é dada

por:

$$K_{m\acute{a}x} = e V_0$$

No entanto, esse comportamento já foi testado inúmeras vezes após o experimento de Lenard, cobrindo um intervalo na variação da intensidade da luz de 10^{+7} , mas em todos eles o potencial de corte, foi sempre o mesmo. Um fato que deixou intrigado muitos cientistas daquela época.

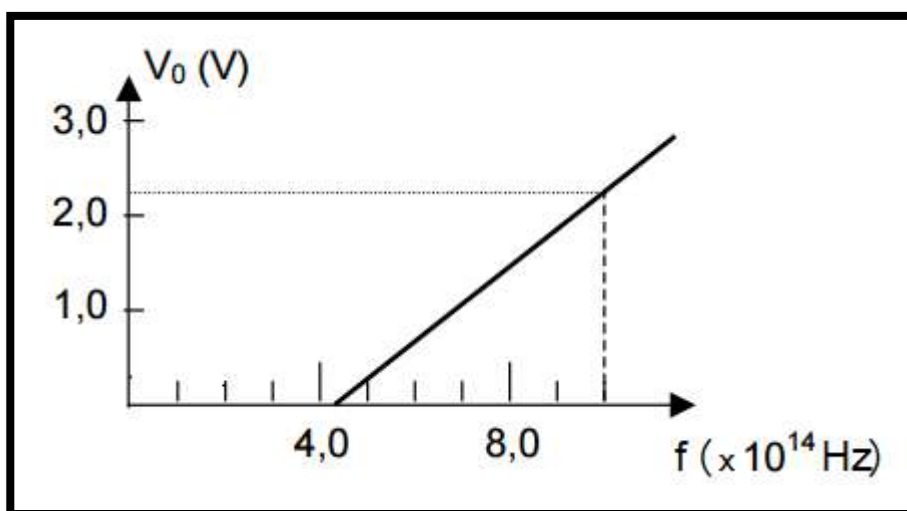


Figura 5: Gráfico do potencial de corte em função da frequência da luz incidente.
Fonte: www.fis.ufba.br/dfes/estrutura1/roteiros/Fotoeletrico.pdf

O gráfico da Figura 4 apresenta medidas do potencial de corte V_0 em função da frequência f da luz incidente, em uma placa metálica (catodo) de sódio. Através de filtros ópticos, selecionava-se diversas frequências associadas à luz que incide sobre a placa de sódio, observando que quanto maior for a frequência f , maior será o valor de do potencial de corte V_0 .

Com esse experimento também foi possível perceber que existe uma frequência, chamada de frequência de corte f_0 , abaixo da qual não ocorre mais a produção de fotoelétrons, isto é, o efeito fotoelétrico deixa de existir.

Este resultado indica que a energia cinética dos fotoelétrons arrancados do catodo depende da frequência da luz incidente. Mais uma vez, um resultado contrário ao que se espera classicamente, onde não se prevê nenhuma relação entre energia cinética e frequência.

Outro problema encontrado nos estudos do efeito fotoelétrico está relacionado a uma observação de um retardo (atraso) temporal. Na física clássica, um átomo gasta um certo tempo para absorver a energia, e só após este tempo é que um fotoelétron será emitido. Essa diferença de tempo, nunca foi verificada experimentalmente.

Em resumo, três questões foram levantadas nas pesquisas sobre o efeito fotoelétrico: a não dependência de V_0 com a intensidade da luz; a existência de uma frequência de corte e a medida de um atraso no tempo entre a absorção de energia no catodo e a expulsão de um elétron de sua superfície.

Como alguns resultados experimentais obtidos por Lenard não podiam ser explicados satisfatoriamente com a física que se tinha até o final do século XIX, chamada de física clássica, Lenard decidiu se dedicar a outros estudos guardando assim seus resultados experimentais.

Em 1905, Einstein apresenta em uma revista científica, uma solução, que resolve todas as questões oriundas do experimento de Lenard (sobre o efeito fotoelétrico) que a física clássica não dava conta de explicar.

Einstein buscou subsídios na hipótese da quantização da energia, proposta por Planck,

$$E = h f$$

onde f é a frequência (Hz), h é a constante de Planck ($h = 6,625 \cdot 10^{-34} J s$) e E é a quantidade de energia associada à frequência (J).

Em sua interpretação, Einstein propõe que a luz seria composta de "corpúsculos ou quanta de luz". Ou seja, para Einstein a luz deve se comportar como se fosse constituída de partículas luminosas (os chamados fótons).

Compreendendo a luz dessa forma, o efeito fotoelétrico passa a ser simplesmente descrito como uma colisão entre duas partículas: o fóton e o elétron.

De acordo com Chesman et al (2004) deve-se destacar que a ousadia de

Einstein, ao estender o conceito da quantização da energia para a radiação eletromagnética (luz), ajudou a consolidar o nome de Planck como o grande pioneiro da revolução que dava origem a chamada física moderna; e aos poucos foi convencendo a um grupo significativo de cientistas, que, inicialmente, não aceitavam, a rever suas posições sobre a hipótese do quantum de energia.

Ainda de acordo com Chesman et al (2004), com a hipótese de Einstein, a questão da intensidade da luz não influenciar a determinação do potencial de corte V_0 , logo desaparece, pois, se a luz se comporta como uma partícula (o fóton), aumentar a intensidade implica em aumentar a corrente e não o potencial de corte V_0 , conforme Figura 3. A questão da existência de uma frequência de corte f_0 é rapidamente entendida, visto que, se um fóton não tiver energia suficiente para arrancar o elétron, não adiantará aumentar a intensidade, conseqüentemente o número de fótons, pois tudo que se precisa é de que um único fóton colida com um elétron e transfira a esse elétron, toda a sua energia, para arrancá-lo do metal. Finalmente, o problema do retardo temporal também desaparece, porque a energia é transferida instantaneamente no momento da colisão fóton-elétron. Após verificar as implicações da hipótese de Einstein nos resultados experimentais do efeito fotoelétrico, vamos agora descrever quantitativamente, os resultados obtidos por Einstein e apresentados no artigo de 1905. Usando o princípio de conservação da energia, ele escreveu a seguinte equação:

$$E = K_{m\acute{a}x} + \Phi$$

onde $E = h \cdot f$ é a energia do fóton; $K_{m\acute{a}x}$ é a energia cinética do elétron extraído do metal e Φ é uma característica do metal chamada função de trabalho, que representa o trabalho necessário para arrancar um elétron da superfície da placa metálica (catodo). Essa é a famosa equação de Einstein do efeito fotoelétrico.

Por meio da equação de Einstein pode-se perceber que o elétron adquire uma energia cinética K , quando $f > f_0$, ou seja, quando $E > \Phi$ e, conseqüentemente, essa energia cinética será máxima $K_{m\acute{a}x}$ exatamente, quando a mesma for igual $e \cdot V_0$. Logo, podemos concluir que, a mínima energia fornecida para arrancar o elétron do catodo tem de ser igual Φ . Utilizando a

equação de Einstein pode-se escrever:

$$E = K_{m\acute{a}x} + \Phi$$

$$hf = eV + \Phi$$

$$hf - \Phi = eV$$

dividindo a equação por e, temos:

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

Como h, e, Φ , são constantes pode-se dizer que a proposta feita por Einstein descreve o efeito fotoelétrico por meio de uma equação linear (equação da reta) entre V_0 e f , onde:

coeficiente linear da reta é

$$-\frac{1}{e} \Phi$$

coeficiente angular da reta é

$$\text{tg}\theta = \frac{h}{e}$$

Esse resultado teórico está em pleno acordo com o gráfico da figura 4, obtido experimentalmente.

Quando o potencial de corte for nulo, $V_0 = 0$, essa equação mostra a ocorrência de uma frequência de corte f_0 , abaixo da qual não se observa o efeito fotoelétrico:

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

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

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

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

Dessa forma, Einstein contribuiu para a interpretação de um fenômeno que a Física clássica até então não conseguia interpretar. Esse trabalho de Einstein fez ressurgir na física uma discussão antiga sobre a natureza da luz. A luz é uma onda eletromagnética como descrita por Maxwell e verificada experimentalmente por Hertz ou é constituída de partículas como apresentada na hipótese de Einstein para explicar o efeito fotoelétrico observado por Lenard?

Além das discussões sobre a natureza da luz, a teoria proposta por Einstein permitiu o surgimento de inúmeras aplicações tecnológicas. Como exemplos temos:

- luz interagindo com os bastonetes e cones do nosso olho;
- sensores de controle para abertura de portas;
- sensores de vigilância;
- sensores de imagens nas câmeras de vídeo;
- sensores de câmeras fotográficas;
- placas solares; enfim,
- sensores eletrônicos de radiação eletromagnética de uma maneira geral.

4.3 ESTRUTURA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Etapa da sequência didática	Tempo (horas)	Atividades	
Apresentação do tema Produção inicial	0,5	<ul style="list-style-type: none">Atividade demonstrativa investigativa.	
Etapa das atividades	3	1,5h	Reprodução do experimento de Lenard utilizando um simulador.
		1,5h	Aula expositiva sobre efeito fotoelétrico com base no texto de História da Ciência: Explicação de Einstein para o efeito fotoelétrico; Aplicações do efeito fotoelétrico.
Produção Final	0,5	<ul style="list-style-type: none">Aplicação de um questionário.	

Quadro 1: Estrutura da sequência didática
Fonte: Autoria própria

4.4 DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

AULA 1 E 2

A problematização inicial caracteriza-se por apresentar situações reais que os alunos conhecem e vivenciam. É nesse momento que os estudantes são desafiados a expor os seus entendimentos sobre determinadas situações significativas que são manifestações de contradições locais.

Inicialmente o professor separa a turma em duplas (ou pequenos grupos) e lança a seguinte situação problema:

Imagine que você está passeando com sua sobrinha de 6 anos de idade, num belíssimo fim de tarde (início de noite), quando de repente ela percebe que as luzes dos postes começaram a se acender. Ela então rapidamente

lembra que em sua casa para acender a luz é necessário apertar um botão, que ela não sabe ao certo o nome.

Segundos após processar seu pensamento ela olha pra você e como uma criança curiosa que é lhe faz a seguinte pergunta:

Tia (o) quem acende a luz do poste?

Diante dessa situação discutam sobre o assunto em seus grupos e escrevam a melhor resposta para essa sobrinha curiosa.

Atividade de registro

Essa atividade busca avaliar os conhecimentos prévios dos alunos em relação ao conteúdo que será abordado no decorrer da sequência didática

Depois de alguns minutos o professor solicita que cada pequeno grupo leia sua explicação e juntos devem eleger a melhor e anotá-la no canto do quadro.

Após definirem a melhor explicação, o professor encaminha a realização de uma atividade experimental demonstrativa com um enfoque investigativo.

Uma atividade investigativa se caracteriza como uma possibilidade de ensino que tem a intenção de levar o aluno a refletir sobre o fenômeno, levantar hipóteses, discutir com os colegas, formular explicações, expor suas explicações de forma oral e escrita. Nesse sentido, segundo Azevedo (2006), a aprendizagem de procedimentos e atitudes torna-se tão importante durante o processo quanto a aprendizagem de conceitos ou do conteúdo.

Como produzir o experimento utilizado

Para a montagem do experimento você irá precisar de:

- um relógio digital simples;
- um led de auto brilho;
- dois pequenos pedaços de fio rígido e fino.
- 1,0m fio duplo flexível 1,5mm;
- um soquete para lâmpada incandescente;
- um pino macho;
- uma lâmpada incandescente;
- um ferro de solda;
- um pedaço de estanho.

Inicialmente faça a conexão do pino macho em uma das extremidades do fio, em seguida fixe o soquete na outra extremidade do fio. Conecte a lâmpada no soquete.



Figura 6: Fio duplo conectado ao pino macho e ao soquete
Fonte: Arquivos do autor

Agora retire a pilha do relógio, com uma chave retire os parafusos que prendem a parte traseira do relógio.

Com a ajuda do ferro de solda, fixe um pequeno pedaço de fio fino rígido no ponto onde estaria o polo positivo da pilha. Da mesma forma, fixe outro

pequeno pedaço de fio fino rígido ao ponto que seria conectado o polo negativo da pilha.

Em seguida coloque de volta a tampa traseira do relógio, volte os parafusos aos seus lugares.



Figura 7: Fios conectados no lugar da pilha
Fonte: Arquivos do autor

Temos para a figura 3 um dos fios como polo positivo e o outro como polo negativo.

Pegue o componente led, ele possui dois terminais, um maior que o outro. O maior terminal é o positivo, o menor terminal é o negativo.

Com o auxílio do ferro de solda fixe o fio positivo ao terminal positivo do led, e o fio negativo



Figura 8: Led conectado ao relógio
Fonte: Arquivos do autor

Depois do experimento montado, o professor deve questionar a turma sobre o que é indispensável para o funcionamento de um relógio digital. Aguarda as respostas e estimula a participação dos alunos.

Depois de articular as resposta, o professor apresenta para os alunos um relógio digital em pleno funcionamento (esse deve estar com funcionamento normal sem nenhuma alteração). Em seguida, lança aos pequenos grupos o seguinte questionamento: "é possível o relógio funcionar sem a pilha?".

Atividade de registro

Peça para os alunos anotarem suas respostas seguidas das justificativas.

Após os alunos escreverem, apresenta-se o relógio digital com o LED de auto brilho, incidisse luz sobre o mesmo e solicitasse que os alunos registrem o que estão vendo.

Atividade de registro

Os alunos nos pequenos grupos, devem discutir e elaborar uma explicação física para o que acabaram de registrar.

Após um tempo necessário para escreverem o professor pede que cada grupo leia sua explicação física. O professor deve encaminhar uma discussão com o grande grupo e juntos devem escolher a melhor explicação para o fenômeno.

Este primeiro momento da aula tem por objetivo verificar as concepções prévias dos alunos, o que eles pensam sobre o fenômeno que vamos iniciar seu estudo. Por esse motivo até o presente momento o professor-pesquisador não apresentou nenhuma resposta, apenas deu liberdade para que os alunos

em pequenos grupos pudessem levantar hipóteses sobre o fenômeno observado.

No momento seguinte da aula os alunos foram convidados a realizar uma atividade experimental investigativa, no entanto, não tínhamos equipamentos necessários para reproduzir o experimento histórico de Lenard, que descobriu o fenômeno do efeito fotoelétrico. Utilizamos então um recurso didático disponível online conhecido como simulador, com este foi possível reproduzir o experimento nas mesmas condições da época.

Se na instituição tiver disponível um laboratório de informática a atividade pode ser realizada em duplas ou em pequenos grupos em cada computador. Caso essa possibilidade não seja possível o professor pode projetar o simulador e encaminhar a atividade com a turma dividida em pequenos grupos.

Roteiro para a utilização do simulador

Acesse o simulador – Efeito Fotoelétrico indicado na figura 5.

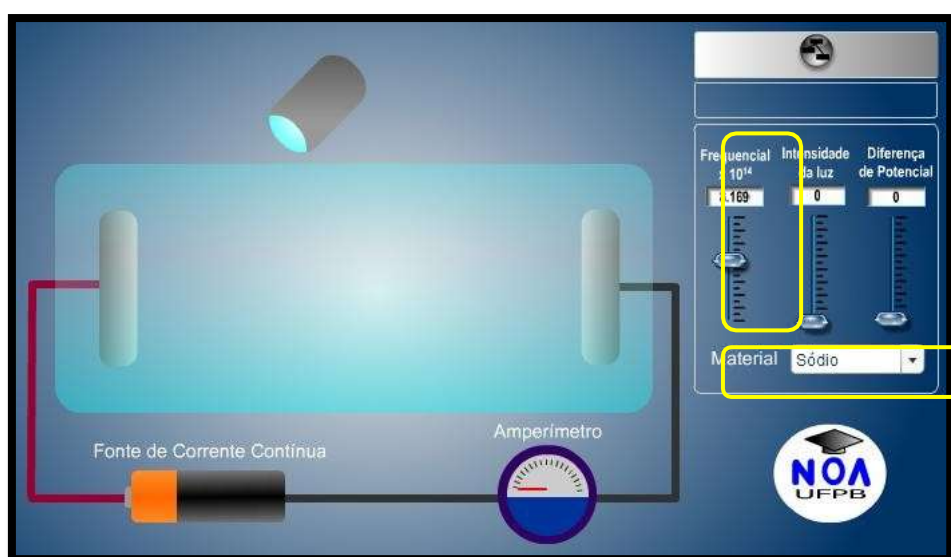


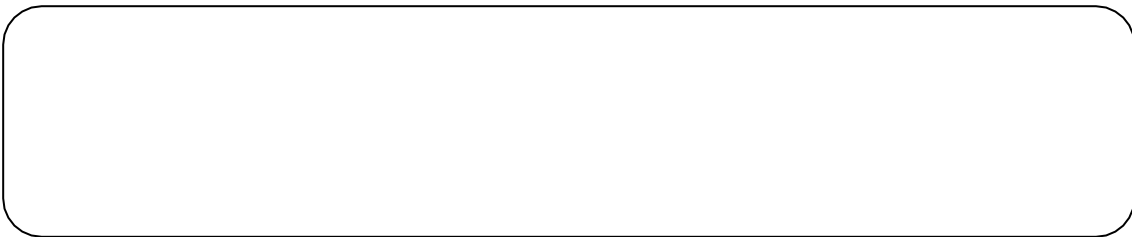
Figura 9: Simulador do efeito fotoelétrico

Fonte: <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/20EfeitoFotoeletrico/Site/Animacao.htm>

1ª PARTE

Inicialmente devemos estabelecer as condições iniciais do experimento:

- 1) Selecione o sódio como material a ser utilizado na placa metálica no interior do experimento, como mostrado na figura 1.
- 2) Coloque o cursor da frequência no seu ponto médio, como indicado na figura 1.
- 3) Retire toda a luz que incide no experimento, ou seja, coloque o cursor da intensidade¹ da luz na posição zero e anote o que acontece com a corrente elétrica no amperímetro.



- 4) Agora regule o cursor da intensidade para o ponto médio e anote o que acontece com a corrente elétrica no amperímetro.

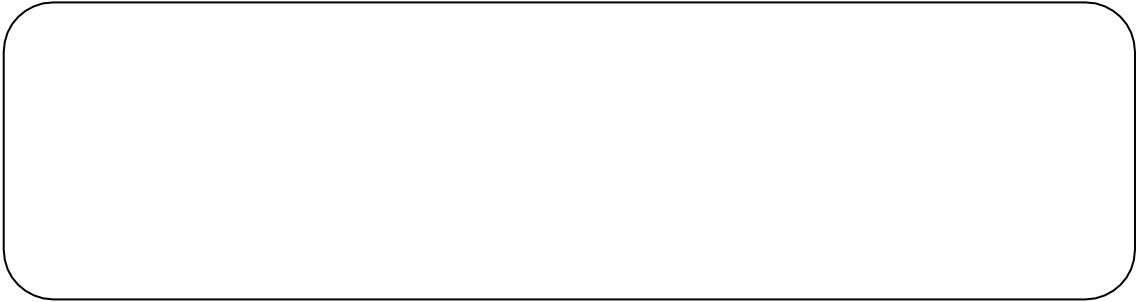


- 5) Regule o cursor da intensidade para a posição máxima e anote o que acontece com a corrente elétrica no amperímetro.



¹ Intensidade de luz significa quantidade de luz que incide na placa metálica.

6) Discuta com seus colegas e chegue a uma conclusão sobre a relação existente entre o efeito fotoelétrico e a intensidade luminosa.



O que diz a teoria

Em Física clássica a energia do elétron está associada a intensidade da luz, portanto, esperava-se que a energia da luz incidente iria movimentar o elétron no átomo até que sua energia fosse suficiente para escapar do metal e só então ele se moveria de uma placa para a outra fazendo aparecer uma corrente elétrica no amperímetro.

Nesse sentido se fornecermos uma intensidade muito baixa de luz, o elétron receberá pouca energia demorando assim algum tempo para ele conseguir se desprender da placa metálica e entrar em movimento, demorando assim para surgir uma corrente elétrica no amperímetro.

7) Coloque o cursor da intensidade na posição 0,5 (consideramos essa uma intensidade muito pequena). Verifique experimentalmente se o tempo necessário para surgir uma corrente elétrica no amperímetro é grande, pequeno ou muito pequeno. Registre o resultado experimental que você observou.



8) Com base na física clássica você pode explicar satisfatoriamente esse resultado experimental? Discuta com seu grupo e anote sua resposta.


O que diz a teoria

De acordo com a explicação clássica, a frequência da luz está relacionada com a cor da luz incidente, mas não interfere no experimento, visto que a energia da luz está associada apenas a intensidade luminosa.

9) Para garantir o fenômeno coloque o cursor da intensidade da luz na posição máxima. Lentamente diminua a posição do cursor da frequência até chegar na posição zero. Registre suas observações.

10) Em seguida ainda com o cursor da intensidade da luz na posição máxima. Aumente lentamente a posição do cursor da frequência até chegar na posição máxima. Registre suas observações.

11) Agora coloque o cursor da intensidade da luz em outra posição qualquer diferente de zero. Varie lentamente a posição do cursor da frequência da posição máxima até a posição zero. Registre suas observações.



O que diz a teoria

A frequência da luz em que os elétrons começam a saltar da primeira placa, da esquerda, para a da direita e o amperímetro passa a registrar uma corrente elétrica recebe o nome de frequência de corte.

2ª PARTE

12) Selecione agora o cobalto como material a ser utilizado na placa metálica no interior do experimento, como mostrado na figura 1.

13) Fixe o cursor da frequência no ponto médio e varie o cursor da intensidade da luz de zero até seu valor máximo.

Registre o resultado experimental encontrado.



14) Fixe o cursor da intensidade da luz no ponto médio e varie o cursor da intensidade da frequência de zero até seu valor máximo. Registre o resultado experimental encontrado.

15) O que aconteceu com o valor da frequência de corte quando alteramos o material da placa metálica de sódio para cobalto?

16) E se alterarmos novamente o material da placa metálica de cobalto para alumínio o que acontecerá com a frequência de corte? Altere o material da placa para alumínio e refaça os passos 13 e 14, em seguida tire suas conclusões.

17) Tomando como base seus resultados experimentais explique como funciona o efeito fotoelétrico.

18) A explicação apresentada acima está de acordo com a Física clássica?

Sim ()

Não ()

Essa atividade objetivou fazer com que o aluno compreendesse que a Física que se tinha disponível até o final do século XIX não era suficiente para explicar os resultados experimentais encontrados na época.

AULA 3 E 4

Com a turma ainda dividida em pequenos grupos, o professor encaminha uma aula sobre os conceitos básicos do efeito fotoelétrico, evidenciando a hipótese de Einstein para solucionar o problema experimental encontrado por Lenard. Em seguida apresenta aos alunos o tratamento matemático dado por Einstein ao efeito fotoelétrico, e por fim cita algumas aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico.

Para essas aulas o professor pode utilizar como referencial o texto apresentado no item 4.2 deste capítulo

O objetivo da aula 3 e 4 é dar condições para que o aluno compreenda que a Ciência é uma construção coletiva, e não fruto de espasmos de gênios da Ciência, como muitas vezes fica subentendido em alguns livros didáticos.

4.5 AVALIAÇÃO

O processo de avaliação da aprendizagem precisa ser coerente com o processo de ensino. Dessa forma, nessa sequência didática a avaliação deve ser contínua, valorizando-se principalmente os debates gerados em sala de aula.

O professor pode ao final da implementação da sequência didática solicitar que cada aluno descreva com suas palavras, o que é o efeito

fotoelétrico e principalmente quem descobriu o efeito fotoelétrico, esses dois questionamentos permitirá ao professor avaliar a compreensão do aluno sobre a temática discutida.

Para finalizar o professor como produção final pode solicitar que cada pequeno grupo de trabalho elabore (para ser entregue em uma data posterior devidamente agendada pelo professor) um panfleto para ser apresentado na escola para outras turmas sobre uma das aplicações do efeito fotoelétrico (cada pequeno grupo ficaria responsável por uma aplicação diferente).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL: RELATO DE EXPERIÊNCIA

Desenvolvemos a implementação do produto educacional junto aos alunos de uma instituição de ensino particular da cidade de Maringá - PR. Tal instituição tem como uma de suas principais prerrogativas a aprovação de seus alunos em concursos vestibulares, dessa forma valoriza um ensino conteudista e uma forma de avaliação que simula o exame vestibular. No entanto, a instituição de ensino "enxergou com bons olhos" a solicitação da implementação de um produto educacional pautado em uma proposta de ensino diferente da convencional, até então adotada, desde que ocorresse no período contra turno, não alterando o ritmo adotado pela escola.

A referida instituição de ensino atende aproximadamente 75 alunos de Ensino Médio e cada série possui apenas uma turma com no máximo de 30 alunos. Nesse contexto trabalhamos a implementação de nossa proposta de ensino com os alunos da terceira série do Ensino Médio, essa turma era composta de 20 alunos.

Todos os alunos foram convidados a participar de encontros que aconteceriam no contra turno, durante duas semanas. Esses foram previamente agendados para as quintas-feiras e teriam a duração de duas horas cada.

No primeiro encontro compareceram treze alunos, sendo nove meninas e quatro meninos.

5.2 AÇÕES DESENVOLVIDAS E ANÁLISE

No dia 05 de maio 2016 tiveram início as atividades. Nesse dia apresentamos aos alunos o tema que seria discutido durante a implementação da proposta, em seguida separamos a turma em quatro pequenos grupos, a separação se deu por afinidade. O quadro 2 mostra a organização dos grupos.

Grupo	Nº de alunos	Composição do grupo
A	3	1 menino e 2 meninas
B	3	3 meninas
C	4	3 meninas
D	3	3 meninos

Quadro 2: Organização dos grupos
Fonte: autoria própria

Após a organização inicial da sala, apresentamos a seguinte situação problema, “Imagine que você tenha um sobrinho pequeno. Você irá passar um tempo com ele e, no entardecer do dia quando os postes em frente de casa começam a acender e ele pergunta: quem acendeu a luz do poste?”.

Solicitamos que os alunos discutissem nos pequenos grupos e elaborassem uma explicação para a questão levantada.

Verificamos com essa atividade uma diversidade de respostas que representam o conhecimento prévio dos alunos sobre o assunto. No geral as respostas se dividiram em duas categorias, acendimento mecânico e acendimento eletrônico. O quadro três apresenta as duas categorias encontradas.

Categorias	Explicação dada pelos grupos
Acendimento mecânico	<i>O poste está ligado a uma empresa de energia, onde há vários botões, ao se aproximar do anoitecer, os funcionários vão apertar os mesmos e ligar a luz de todos os postes (GRUPO A).</i>
Acendimento eletrônico	<i>Existe um sistema onde depois que o sol se põe as luzes ficam programadas para acender (GRUPO B). São sensores que tem um horário programado nele, e quando dá determinada hora a luz liga sozinha (GRUPO C).</i>

	<i>Quando chega o horário eles ligam automaticamente (GRUPO D).</i>
--	---------------------------------------------------------------------

Quadro 3: Categorias encontradas
Fonte: autoria própria

Verificamos nas explicações dos grupos que, mesmo aqueles que acreditam ser eletrônico o acionamento, associam a uma programação feita, não associando assim seu acionamento com a luz.

Após elaborarem uma explicação para o acendimento da luz do poste, apresentamos para os alunos um pequeno relógio digital, em pleno funcionamento, e questionamos sobre o que era necessário para o relógio funcionar. Os alunos foram unânimes em suas respostas, disseram que para o relógio funcionar é necessário uma bateria. Utilizamos então um experimento onde retiramos a bateria do relógio e no lugar colocamos um *led*², em seguida acendemos uma lâmpada incandescente e quando iluminamos o led o relógio começou a funcionar.

Notamos um entusiasmo dos alunos quando isso aconteceu, pareciam não acreditar que o relógio estava funcionando mesmo sem bateria, ficaram surpresos. Aproveitando esse momento, lançamos mais um questionamento aos grupos, como era possível aquele relógio estar funcionando sem bateria?

Três dos quatro grupos disseram que a lâmpada fornece energia para o relógio funcionar, mas não associaram a questão da luz ser transformada em eletricidade. Apenas um grupo apresentou uma resposta física para o questionamento:

"A lâmpada emite calor que é convertido em energia elétrica" (GRUPO D).

Notamos na resposta do grupo, o conceito físico de conversão de uma forma de energia (térmica) em outra forma de energia (elétrica). Entendemos que

² led - é um componente eletrônico semicondutor, ou seja, um diodo emissor de luz (L.E.D = Light emitter diode), mesma tecnologia utilizada nos chips dos computadores, que tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz.

mesmo a resposta não estando correta ela é muito importante pois, revela os conhecimentos prévios desse grupo de alunos.

Durante essa etapa da implementação foi dado aos alunos a oportunidade de falar, opinar e principalmente ouvir, desenvolvendo assim o que consideramos ser atitudes importantes para o processo de ensino aprendizagem.

Ainda no primeiro encontro, propusemos aos grupos a realização de uma atividade experimental histórica, o experimento de Lenard. Como a reprodução física de tal experimento é muito difícil, utilizamos um simulador que possibilita a realização do mesmo. O roteiro para a utilização desse simulador foi desenvolvido para que o aluno compreendesse que, com a Física que se tinha disponível até o final do século XIX não dava para explicar os resultados experimentais encontrados na época por Lenard, e por esse motivo ele guardou seus resultados.

Durante essa atividade os alunos foram levados a pensar de maneira clássica, ou seja, fizemos um resgate da física clássica que se tinha disponível para tentar explicar os resultados experimentais. De forma simplificada fizemos uma discussão sobre o comportamento ondulatório da luz.

Percebemos com a utilização do simulador de forma investigativa, que os alunos, ainda nos pequenos grupos, começam a construir respostas, que aos poucos por meio do diálogo e elaboração de raciocínios, caminha para respostas mais elaboradas.

Devemos evidenciar ainda que o fato de trabalharem em grupo tendo liberdade de verificar os resultados, levantar hipóteses e dialogar com os colegas foi bastante importante, pois atuou como um mecanismo de grande motivação para a participação dos alunos nas discussões.

No dia 12 de maio se deu a última etapa da implementação da proposta. Nesse dia apresentamos aos alunos uma aula expositiva, dialogada, com o auxílio do computador e do projetor sobre o tema efeito fotoelétrico. Permitimos aos alunos que mesmo com uma aula expositiva mantivessem a formação dos

pequenos grupos, cuidando apenas para conseguirem visualizar a tela onde estava sendo projetada a aula.

Nessa aula utilizamos como referência o texto produzido na sequência didática (apresentado no tópico 4.2), que apresenta a temática numa abordagem da história da ciência, ressaltando o desenvolvimento da ciência como uma construção humana, apresentando a descoberta e a interpretação do fenômeno em estudo.

Ao final da exposição dialogada, solicitamos aos alunos, que em uma folha de papel escrevessem sobre o efeito fotoelétrico. Essa atividade foi entregue ao professor e objetivou verificar ao término da implementação como os alunos entendiam sobre o assunto. As respostas dos alunos nos permite dizer que conseguiram compreender o fenômeno estudado, mas o que nos chamou atenção foi que em 100% das respostas apareceram nomes como Hertz, Lenard e Einstein o que mostra que os alunos tiveram o entendimento de que a ciência é construída de maneira coletiva e não por pessoas que de repente descobrem algo.

5.3 NOSSO OLHAR PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Podemos dizer que as atividades vivenciadas pelos alunos no decorrer da sequência didática aplicada contribuíram para a formação de um aluno cidadão, capaz de compreender fenômenos que ocorrem no seu dia a dia, como sugere as Diretrizes de Física do Estado do Paraná (2008).

Nossos resultados apresentam indícios de que os alunos gostaram da forma como as atividades foram propostas, ou seja, encontraram-se motivados durante a implementação do produto educacional - uma sequência didática para o estudo do efeito fotoelétrico, o que de acordo com Batista et al (2009) é o primeiro passo para uma aprendizagem efetiva.

Foi uma aula participativa com debates (aluno-professor e nos grupos) que permitiu uma física mais descontraída e menos monótona (somente "contas") - (ALUNA 1- GRUPO A).

Foi legal trabalhar em grupos porque assim você consegue ver que cada pessoa tem um pensamento diferente. Consegui entender direitinho - (ALUNA 1- GRUPO C).

De acordo com as respostas dos alunos, verificamos que eles gostaram da forma que a aula aconteceu, simplesmente pelo fato de poderem participar dessa aula, com discussões nos pequenos grupos e debates com toda a sala, o que nos leva a crer que é possível ministrar uma aula de Física na qual o aluno se torna corresponsável pelo processo de ensino-aprendizagem.

Muito mais do que motivação a implementação da proposta proporcionou um momento de reflexão sobre a forma como a ciência surge, como se dá as teorias que são apresentadas nos livros didáticos.

Entendi que muita gente colaborou para que a teoria que estamos estudando pudesse ser descoberta (DIÁRIO DE CAMPO DO AUTOR - ALUNA 1 - GRUPO D).

Primeiro Maxwell levou a matemática e descreveu a onda eletromagnética, depois Hertz pegou as ideias de Maxwell e fez o experimento. Depois disso Lenard também fez o experimento e teve várias conclusões, mas não tinha explicação. Depois de todos esses veio Einstein, que conseguiu explicar o experimento, dizendo que a luz era fótons que ao atingir a placa libera elétrons para a outra placa (quantização de energia) - (ALUNA 1 - GRUPO D).

Diante disso, pode-se afirmar que o produto educacional obteve sucesso nos seus objetivos, pois, conseguiu de suprir de maneira satisfatória o conteúdo conceitual, visto que os alunos foram capazes de explicar com suas palavras e de maneira adequada o fenômeno estudado.

Podemos dizer que a proposta implementada obteve sucesso pois, o ambiente de aprendizagem gerado por meio da participação dos grupos permitiu aos alunos por meio do estudo de um fenômeno físico desenvolver os conteúdos atitudinais, de responsabilidade e respeito.

Por fim podemos dizer que a implementação do produto educacional permitiu aos alunos superarem uma visão simplista de como se dá o desenvolvimento da ciência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve por objetivo, propor uma sequência didática para o ensino do efeito fotoelétrico em uma turma da terceira série do Ensino Médio, e, investigar de que forma esta metodologia de abordagem contribuiu para o aprendizado de Física, dos participantes.

Durante a aplicação das questões iniciais, percebemos a importância em abordar um tema vinculado ao cotidiano do aluno. No entanto, foi com o decorrer da implementação que percebemos efetivamente o envolvimento e a motivação dos alunos para o estudo do tema proposto.

As questões iniciais revelaram que os estudantes apresentavam um conhecimento alicerçado em concepções alternativas, muitas vezes simplista, visto que a maior parte deles acreditavam que o acendimento da luz do poste se dava de forma mecânica.

Um aspecto relevante nesse trabalho foi a construção de um ambiente de ensino e aprendizagem com momentos que estimularam a participação dos alunos de maneira democrática, promovendo interações sociais extremamente proveitosas, o que de acordo com Gaspar (2014) é fundamental para que ocorra a aprendizagem.

A sequência didática proposta nesse trabalho se mostrou satisfatória com relação aos objetivos da pesquisa pois, os alunos foram levados a levantar e testar hipóteses, discutir suas hipóteses em pequenos grupos tendo a chance de defender seu ponto de vista e principalmente respeitar o ponto de vista do outro, atendendo assim o que Zabala (1998) chama de conteúdo atitudinal.

Ressaltamos, ainda, que a implementação dessa proposta não teve por objetivo substituir o ensino regular de Física, muito menos influenciar na proposta pedagógica da instituição de ensino, mas sim de complementar o ensino já realizado por meio de uma abordagem diferenciada e despertar a motivação do aluno para o estudo da Física.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. R.; **A ficção científica na ficção escolar: potencialidades do gêneros no ensino de física**, Maringá, 2008. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.
- ARAÚJO, M. S. T. & ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n.2, jun. 2003.
- ARRUDA, S. M., LABURÚ, C. E. **Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências**. In: NARDI, R. Questões atuais no Ensino de Ciências. São Paulo: Escrituras, 2005.
- BAQUERO, R. **Vygotski e a aprendizagem escolar**. Trad. Ernani F. da Fonseca Rosa. – Porto Alegre: Artes Médias, 1998.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BATISTA, M. C.; **A experimentação no ensino de física: modelando um ambiente de aprendizagem**, 2009. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Portugal: Porto Editora, 1994.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Brasília: MEC, 1999.
- _____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCNs+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: 30 abril. 2014.
- CARVALHO, A. M. P.; PÉREZ, D. G. **Formação de Professores de Ciências: tendências e inovações**. 8ª. ed. São Paulo: Cortez Editora (Coleção Questões da Nossa Época)., 2006. v. 26.
- CHESMAN, C., ANDRÉ, C., MACÊDO, A. **Física moderna – Experimental e aplicada**, 1ª ed., Livraria da Física, São Paulo, 2004.
- D'AGOSTIN A., **Física Moderna e Contemporânea: Com a Palavra Professores do Ensino Médio**. Dissertação em Educação, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de física: uma nova visão baseada na teoria de Vigotski**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.
- LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. 2. ed. Rio de Janeiro: E.P.U., 2013. e-Book.
- MARTINS, J. C. **Vygotski e o Papel das Interações Sociais na Sala de Aula: Reconhecer e Desvendar o Mundo**. Série Ideias, n.28. São Paulo: FDE, 1997. pg.111 – 122.
- MCKELVEY, J.P; GROUCH. **Física V.3**. Ed. Harbra, 1981.
- MELO, A de; URBANETZ, S.T. **Fundamentos de Didática**. Curitiba: IBPEX, 2008.

MENESES, L.C., Uma Física para o Novo Ensino Médio. **Física na Escola**. v. 1, n.1, p.7, out. 2000.

MORAIS A., GUERRA A., História e a filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas física moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, 1502 (2013)

MORAES, R. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. **Diretrizes Curriculares da Educação básica**. Curitiba: Seed/DEB-PR, 2008.

PUGLISI, M.L.; FRANCO, B. **Análise de conteúdo**. 2. ed. Brasília: Líber Livro, 2005.

VIGOTSKI, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul Ltda., 1998.

APÊNCICE: PRODUTO EDUCACIONAL

Produto Educacional

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE EFEITO FOTOELÉTRICO

**DANILO CORCI BATISTA
POLONIA ALTOÉ FUSUNATO
FERNANDA PERES RAMOS**

Campo Mourão
2016

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

DANILO CORCI BATISTA

Produto Educacional

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE EFEITO FOTOELÉTRICO³

Produto Educacional apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Prof^a Dra. Polonia Altoé Fusinato
Co-orientadora: Prof. Dra. Fernanda Peres Ramos

Campo Mourão
2016

³ Essa sequência didática é apenas uma proposta para o ensino do tema efeito fotoelétrico, e pode ser adaptada de acordo com a necessidade.

1 INTRODUÇÃO

Corroborando com os pesquisadores da área de ensino de Física (ARAÚJO e ABIB, 2003, CARVALHO e PEREZ, 2006; ARRUDA e LABURU, 2005, BATISTA, 2016 e GASPAR, 2014) construímos uma proposta, que visa, fornecer subsídios para professores de Física do nível médio trabalharem conteúdos atuais de Física por meio de uma abordagem sociocultural.

Para tal, planejamos uma sequência didática que introduz discussões de Física Moderna Contemporânea (FMC) na terceira série do Ensino Médio, a partir do estudo do efeito fotoelétrico. Vale ressaltar que, na elaboração da proposta, escolhemos essa série por ser este o momento em que, formalmente, os alunos conhecem os conceitos básicos de eletricidade bem como seu formalismo matemático.

Quanto ao tema central, ele foi escolhido porque ele abre o caminho para uma nova Física conhecida Física Moderna e Contemporânea. Assim, essa proposta se apresenta como possibilidade para trazer a FMC para o EM, por meio do fenômeno sem dar ênfase aos modelos matemáticos.

Para produzir uma sequência didática que se adequasse aos nossos objetivos, utilizamos a História da Ciência (HC) como recurso de ensino, juntamente com a atividade experimental demonstrativa investigativa e com o simulador. Julgamos que por meio da HC o conceito de efeito fotoelétrico permita aos alunos a compreensão não só o avanço da Ciência e sua aplicação na tecnologia, mas principalmente, que a Ciência é uma construção coletiva, buscando romper com a ideia de que a Ciência é feita por uma única pessoa em um momento de inspiração. Acreditamos que os outros recursos utilizados serão de grande importância na construção dos organizadores prévios dos alunos junto ao conteúdo.

Assim está tem por objetivo proporcionar um momento privilegiado de estudo despertando nos participantes a curiosidade e a busca pela investigação de temas atuais de Física.

1.1. SEQUÊNCIA DIDÁTICA

De acordo com Batista (2016, p.40), em uma sala de aula, independente do nível de ensino, nem todos os alunos aprendem da mesma

forma. Nesse sentido faz-se necessário que o professor busque estratégias diferenciadas e as organize de maneira estruturada a fim de potencializar a relação ensino aprendizagem. Ainda corroborando com o mesmo autor, acreditamos que, com um planejamento e um conjunto de atividades bem definidas, como o que se propõe na aplicação da uma sequência didática, seja possível alcançar os alunos de Ensino Médio, criando possibilidades para que possa ocorrer a aprendizagem.

Para Zabala (1998), uma sequência didática ou sequência de ensino é uma proposta metodológica determinada por uma série de atividades ordenadas e articuladas de uma unidade didática. Segundo o autor, um dos elementos que a identifica é o tipo de atividades que se propõe para exercer e, sobretudo, a maneira como são inter-relacionadas (RESQUETI, 2013).

Dessa forma uma sequência didática deve ser organizada de acordo com os objetivos que o professor quer alcançar para a aprendizagem de seus alunos, elas envolvem diversas atividades, de aprendizagem e de avaliação. Zabala (1998), enfatiza que para atingir tais objetivos uma sequência didática deve contemplar atividades:

- que permitam determinar os conhecimentos prévios dos estudantes em relação aos conteúdos de aprendizagem;
- cujos conteúdos sejam significativos e funcionais para os alunos;
- que representem um desafio alcançável para os estudantes, que os faça avançar com a ajuda necessária;
- que provoquem conflito cognitivo, de forma a estabelecer relações entre os novos conteúdos e os conhecimentos intuitivos dos estudantes;
- que promovam uma atitude favorável do aluno, de modo que fiquem motivados para o estudo dos conteúdos propostos;
- que estimulem a autoestima do estudante, para que ele sinta que em certo grau aprendeu e que seu esforço valeu a pena;
- que ajudem o aluno a adquirir habilidades como o aprender a aprender e que lhe permitam tornar-se autônomo.

Para que estas atividades sejam contempladas, uma sequência didática deve conter pelo menos quatro etapas diferentes, como figura 1.

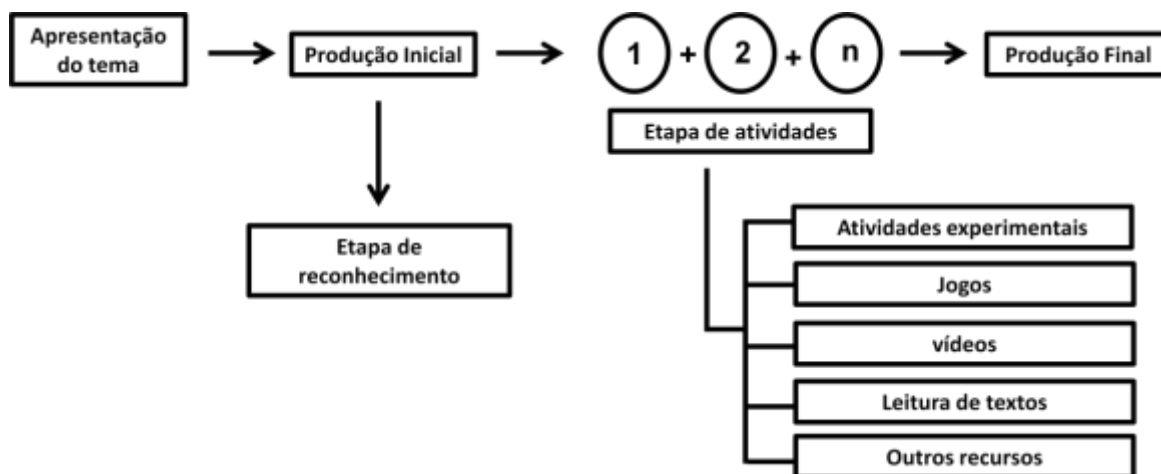


Figura 1: representação reduzida das etapas da sequência didática

Fonte: Batista, 2016, p.42

A primeira etapa consiste na apresentação do tema pelo professor. Em seguida se faz necessário mapear os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema, esta etapa, a segunda, Batista (2016) chama de produção inicial. Para fazer esse mapeamento o professor pode utilizar-se de vários recursos, tais como, questionários, mapas conceituais, desenhos, histórias em quadrinhos entre outros que possibilitem o aluno se expressar.

A terceira etapa se caracteriza pela organização e sistematização dos conhecimentos. Esta é a etapa da comunicação dos conteúdos, a mais difícil de ser planejada, pois numa visão simplista o termo conteúdo é utilizado para expressar aquilo que se deve aprender sobre a matéria estudada. Sobre esta visão Zabala (1998) afirma:

Devemos nos desprender dessa leitura restrita do termo "conteúdo" e entendê-lo como tudo quanto se tem que aprender para alcançar determinados objetivos que não apenas abrangem capacidades cognitivas, como também incluem as demais capacidades. [...] Portanto, também serão conteúdos de aprendizagem todos aqueles que possibilitem o desenvolvimento das capacidades motoras, afetivas, de relação interpessoal e de inserção social (ZABALA, 1998, p.30).

Dessa forma, para preparar essa etapa da sequência didática se faz necessário ter clareza da seguinte questão: *"o que os alunos devem aprender ao final dessa sequência?"*.

FICHA TÉCNICA: EFEITO FOTOELÉTRICO

TIPO DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA: Curta, com metodologia de pesquisa e produto final voltados para o uso cotidiano

PÚBLICO ALVO	Alunos da 3ª série do Ensino Médio	DURAÇÃO: 4horas
CONTEÚDOS	<ul style="list-style-type: none">• O contexto histórico do final do século XX• Experimento de Hertz• Experimento de Lenard• Max Planck e a quantização da energia• Einstein e sua interpretação para o efeito fotoelétrico• Aplicações do efeito fotoelétrico	
OBJETIVOS	<ul style="list-style-type: none">• Compreender porque a física clássica não explicava os resultados obtidos por Lenard.• Estudar a interação da luz com a matéria.• Analisar qualitativamente a relação da frequência e da intensidade com o efeito fotoelétrico.• Aplicar o modelo matemático descrito por Einstein em problemas envolvendo o efeito fotoelétrico.• Compreender que a Ciência é uma construção coletiva.	
PRODUTO FINAL (AVALIAÇÃO)	Produzir um panfleto explicativo sobre algumas aplicações do efeito fotoelétrico	

2 INTRODUÇÃO AO EFEITO FOTOELÉTRICO

A física no final do século XIX

No final do século XIX, acreditava-se que a luz se comportava como uma onda eletromagnética, alguns experimentos (envolvendo difração e interferência) comprovavam essa forma de compreender a luz.

Nesse sentido pode-se dizer que, ondas eletromagnéticas são formadas pela combinação dos campos magnético e elétrico que se propagam perpendicularmente um em relação ao outro e na direção de propagação da energia.

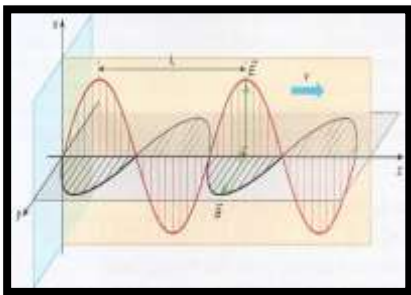


Figura 2: Onda eletromagnética

Na primeira metade do século XIX, o físico escocês James Clerk Maxwell (1831 - 1879) ficou conhecido por desenvolver um dos trabalhos mais relevantes na área do eletromagnetismo. Com apenas vinte e quatro anos, se propôs realizar a tarefa de ligar a eletricidade e o magnetismo por meio de uma base matemática sólida.

De acordo com Mckelvey e Grotch (1981), Michael Faraday (1791 - 1867) já havia realizado experiências e chegado a descobertas que um campo magnético variável induzia um campo elétrico, no entanto, suas explicações em termos de linhas de força não foram consideradas como totalmente satisfatórias por seus contemporâneos. Foi Maxwell quem conseguiu desenvolver um descrição matemática correta para a lei da

indução de Faraday, além disso, predisse que um campo elétrico variável no tempo induziria um campo magnético. Esta proposição originou-se da descoberta de Maxwell da corrente de deslocamento.

$\oint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} dA = \frac{q}{\epsilon_0}$, o fluxo elétrico fora do volume arbitrário é igual a $\frac{1}{\epsilon_0}$ vezes a carga total dentro do volume.

$\oint_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dA = 0$, o fluxo magnético fora do volume arbitrário é igual a carga magnética total no volume. O fluxo deve ser zero devido à inexistência de cargas magnéticas. Portanto, os fluxos para dentro e para fora do volume devem sempre ser iguais.

$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dA$, a integral de linha de $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$ em torno de uma trajetória fechada é igual a razão de variação no tempo do fluxo magnético através da área encerrada pela trajetória.

$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \left(i_c + \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} dA \right)$, a integral de linha de $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$ em torno de uma trajetória fechada é igual a μ_0 vezes a soma das correntes de condução e deslocamento. (MCKELVEY e GROTCCH, p.1280,1981)

Maxwell propôs quatro equações envolvendo campos elétricos, campos magnéticos, e distribuições de carga e densidade de corrente. Além de descrever o comportamento do campo elétrico e do campo magnético, as equações de Maxwell possibilitaram a previsão da existência das ondas eletromagnéticas, as quais são muito conhecidas e empregadas na ciência e na tecnologia. São ondas eletromagnéticas: as ondas de rádio, as micro-ondas, a radiação infravermelha, os raios X e raios gama e a luz visível ao olho humano.

A velocidade de propagação de uma onda eletromagnética depende do meio em que ela se propaga. Maxwell mostrou que a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética, no vácuo, é dada pela expressão:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0}}$$

onde ϵ_0 é a permissividade elétrica do vácuo e μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo.

Aplicando os valores de ϵ_0 ($8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$) e de μ_0 ($4\pi \cdot 10^{-7} T \cdot m/A$) na expressão acima, encontra-se a velocidade:

$$c = 3 \cdot 10^8 m/s$$

Oito anos após a morte de Maxwell, em 1887, Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), conseguiu detectar experimentalmente, em uma série de experimentos hoje famosos, essas ondas eletromagnéticas.

Os resultados inesperados do experimento de hertz

Em suas experiências de 1887, em que demonstrou a validade da teoria de Maxwell produzindo e detectando ondas eletromagnéticas, Hertz produzia uma descarga oscilante fazendo saltar uma faísca entre dois eletrodos, para gerar as ondas, e detectava-as usando uma antena ressonante, onde até a detecção era acompanhada de uma faísca entre eletrodos. Ele observou que a faísca de detecção saltava com

mais dificuldade quando os eletrodos da antena receptora não estavam expostos à luz (predominantemente violeta e ultravioleta) proveniente da faísca primária na antena emissora, ou seja, quando se introduzia um anteparo entre as duas para bloquear a luz.

Curiosamente, ao comprovar a teoria de Maxwell, coroamento da física clássica, Hertz estava assim descobrindo o efeito fotoelétrico, uma das primeiras evidências experimentais da quantização.

Efeito fotoelétrico: uma introdução histórica da física quântica

O efeito fotoelétrico consiste no seguinte: quando se incide luz sobre um material metálico, elétrons podem ser arrancados da superfície do metal.

No final do século XIX, o físico alemão **Philipp Eduard Anton Von Lenard**, ex- aluno de **Hertz**, retoma os experimentos do mesmo, fazendo incidir luz sobre uma placa metálica (feita com materiais diferentes bem limpos e polidos). Observou que a incidência de luz na placa, produzia faíscas ou "raios" e, utilizando um aparato experimental, verificou que os "faíscas" produzidas eram, na verdade, elétrons, ou melhor, fotoelétrons, razão pela qual ele batizou o fenômeno de efeito fotoelétrico.

Na sequência, **Lenard** fez medidas bastante precisas descobrindo duas importantes propriedades: a primeira, dizia respeito à medida da corrente elétrica gerada em função da tensão elétrica aplicada nos eletrodos, quando ele notou que existia um **potencial de corte**, a partir do qual não era mais possível observar o efeito; a segunda, tratava da dependência do efeito em relação à frequência da luz incidente. Ele observou que abaixo

de determinadas frequências o efeito deixava de acontecer, e isso estava associado a existência de um valor especial da frequência, chamada de **frequência de corte**.

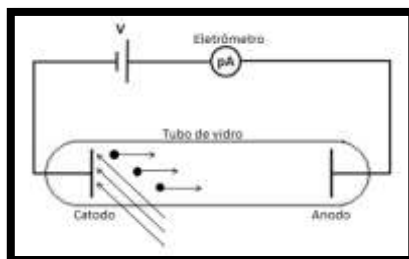


Figura 3: Esquema experimental para observação do efeito fotoelétrico.

De acordo com a Figura 2, uma luz monocromática de frequência f e intensidade I_0 incide sobre o catodo (placa conectada ao polo negativo da bateria) que libera elétrons, esses por sua vez são atraídos pelo anodo (placa conectada ao polo positivo da bateria). Esse movimento dos elétrons produz uma corrente elétrica extremamente pequena, da ordem de 10^{-12} A (pA), medida usando-se eletrômetros.

Os resultados obtidos por **Lenard**, com o equipamento apresentado na Figura 2, são apresentados nas Figuras 3 e 4

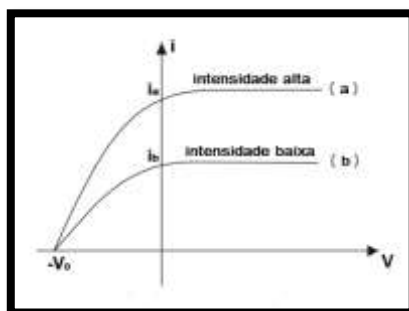


Figura 4: Gráfico da corrente elétrica em função da diferença de potencial entre os eletrodos.

A figura 3, mostra o comportamento da corrente elétrica i , em função da variação da tensão elétrica V entre as duas placas, anodo e catodo. Na figura, verifica-se duas curvas (a) e (b), que são relacionadas a duas fontes de luz com intensidade I_a e

I_b , respectivamente, com $I_a > I_b$ e ambas com a mesma frequência f . Tanto no caso (a), como no (b), todos os elétrons retirados pela luz são coletados pelo anodo, quando $V > 0$, dando origem as a correntes i_a e i_b . Mas, quando $V < 0$ (inversão da polaridade da fonte de tensão), os fotoelétrons são freados, ao invés de acelerados. Então, embora, a corrente elétrica continue a passar no mesmo sentido, ela irá diminuir com o aumento do $|-V|$, até anular-se em $V = -V_0$, onde V_0 chama-se potencial de corte.

É importante observar que para as duas curvas (a) e (b), apresentadas na Figura 3, independente da intensidade luminosa, o potencial de corte é o mesmo. Esse é um resultado contrário ao previsto pela teoria clássica.

Na teoria clássica se espera que um aumento na intensidade da luz deveria provocar um aumento na energia cinética dos elétrons arrancados do catodo, e conseqüentemente de V_0 , pois a energia cinética máxima $K_{máx}$ é dada por:

$$K_{máx} = e V_0$$

No entanto, esse comportamento já foi testado inúmeras vezes após o experimento de **Lenard**, cobrindo um intervalo na variação da intensidade da luz de 10^{+7} , mas em todos eles o **potencial de corte**, foi sempre o mesmo. Um fato que deixou intrigado muitos cientistas daquela época.

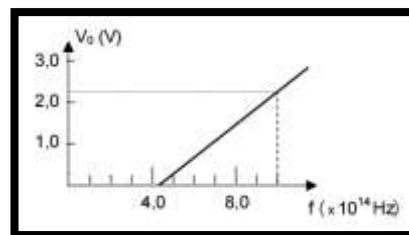


Figura 5: Gráfico do potencial de corte em função da frequência da

luz incidente.

O gráfico da Figura 4 apresenta medidas do potencial de corte V_0 em função da frequência f da luz incidente, em uma placa metálica (catodo) de sódio. Através de filtros ópticos, selecionava-se diversas frequências associadas à luz que incide sobre a placa de sódio, observando que quanto maior for a frequência f , maior será o valor de do potencial de corte V_0 .

Com esse experimento também foi possível perceber que existe uma frequência, chamada de **frequência de corte** f_0 , abaixo da qual não ocorre mais a produção de fotoelétrons, isto é, o efeito fotoelétrico deixa de existir.

Este resultado indica que a energia cinética dos fotoelétrons arrancados do catodo depende da frequência da luz incidente. Mais uma vez, um resultado contrário ao que se espera classicamente, onde não se prevê nenhuma relação entre energia cinética e frequência.

Outro problema encontrado nos estudos do efeito fotoelétrico está relacionado a uma observação de um retardo (atraso) temporal. Na física clássica, um átomo gasta um certo tempo para absorver a energia, e só após este tempo é que um fotoelétron será emitido. Essa diferença de tempo, nunca foi verificada experimentalmente.

Em resumo, três questões foram levantadas nas pesquisas sobre o efeito fotoelétrico: a não dependência de V_0 com a intensidade da luz; a existência de uma frequência de corte e a medida de um atraso no tempo entre a absorção de energia no catodo e a expulsão de um elétron de sua superfície.

Como alguns resultados experimentais obtidos por Lenard não podiam ser explicados satisfatoriamente com a física que se tinha até o final do século XIX, chamada de física clássica, Lenard decidiu se dedicar a outros estudos

guardando assim seus resultados experimentais.

Em 1905, **Einstein** apresenta em uma revista científica, uma solução, que resolve todas as questões oriundas do experimento de Lenard (sobre o efeito fotoelétrico) que a física clássica não dava conta de explicar.

Einstein buscou subsídios na hipótese da quantização da energia, proposta por **Planck**,

$$E = h f$$

onde f é a frequência (Hz), h é a constante de Planck ($h = 6,625 \cdot 10^{-34} J s$) e E é a quantidade de energia associada à frequência (J).

Em sua interpretação, Einstein propõe que a luz seria composta de "corpúsculos ou quanta de luz". Ou seja, para **Einstein** a luz deve se comportar como se fosse constituída de partículas luminosas (os chamados fótons).

Compreendendo a luz dessa forma, o efeito fotoelétrico passa a ser simplesmente descrito como uma colisão entre duas partículas: o fóton e o elétron.

De acordo com Chesman et al (2004) deve-se destacar que a ousadia de Einstein, ao estender o conceito da quantização da energia para a radiação eletromagnética (luz), ajudou a consolidar o nome de **Planck** como o grande pioneiro da revolução que dava origem a chamada física moderna; e aos poucos foi convencendo a um grupo significativo de cientistas, que, inicialmente, não aceitavam, a rever suas posições sobre a hipótese do quantum de energia.

Ainda de acordo com Chesman et al (2004), com a hipótese de **Einstein**, a questão da intensidade da luz não influenciava a determinação do potencial de corte V_0 , logo desaparece, pois, se a luz se

comporta como uma partícula (o **fóton**), aumentar a intensidade implica em aumentar a corrente e não o potencial de corte V_0 , conforme Figura 3. A questão da existência de uma frequência de corte f_0 é rapidamente entendida, visto que, se um fóton não tiver energia suficiente para arrancar o elétron, não adiantará aumentar a intensidade, conseqüentemente o número de fótons, pois tudo que se precisa é de que um único fóton colida com um elétron e transfira a esse elétron, toda a sua energia, para arrancá-lo do metal. Finalmente, o problema do retardo temporal também desaparece, porque a energia é transferida instantaneamente no momento da colisão fóton-elétron. Após verificar as implicações da hipótese de Einstein nos resultados experimentais do efeito fotoelétrico, vamos agora descrever quantitativamente, os resultados obtidos por **Einstein** e apresentados no artigo de 1905. Usando o princípio de conservação da energia, ele escreveu a seguinte equação:

$$E = K_{m\acute{a}x} + \Phi$$

onde $E = h \cdot f$ é a energia do fóton; $K_{m\acute{a}x}$ é a energia cinética do elétron extraído do metal e Φ é uma característica do metal chamada função de trabalho, que representa o trabalho necessário para arrancar um elétron da superfície da placa metálica (catodo). Essa é a famosa equação de **Einstein** do efeito fotoelétrico.

Por meio da equação de Einstein pode-se perceber que o elétron adquire uma energia cinética K , quando $f > f_0$, ou seja, quando $E > \Phi$ e, conseqüentemente, essa energia cinética será máxima $K_{m\acute{a}x}$ exatamente, quando a mesma for igual a $e \cdot V_0$. Logo, podemos concluir que, a mínima energia fornecida para arrancar o elétron do catodo tem de ser igual Φ . Utilizando a

equação de Einstein pode-se escrever:

$$E = K_{máx} + \Phi$$

$$hf = eV + \Phi$$

$$hf - \Phi = eV$$

dividindo a equação por e , temos:

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

Como h, e, Φ , são constantes pode-se dizer que a proposta feita por Einstein descreve o efeito fotoelétrico por meio de uma equação linear (equação da reta) entre V_0 e f , onde:

coeficiente linear da reta é

$$-\frac{1}{e} \Phi$$

coeficiente angular da reta é

$$tg\theta = \frac{h}{e}$$

Esse resultado teórico está em pleno acordo com o gráfico da figura 4, obtido experimentalmente.

Quando o potencial de corte for nulo, $V_0 = 0$, essa equação mostra a ocorrência de uma frequência de corte f_0 , abaixo da qual não se observa o efeito fotoelétrico:

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

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

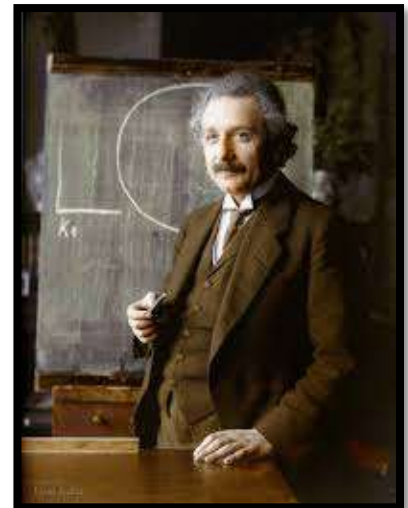
$$\frac{1}{e} \Phi = \frac{h}{e} f$$

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

Dessa forma, Einstein solucionou um problema existente na Ciência no início do século XX. Esse trabalho de Einstein fez ressurgir na física uma discussão antiga sobre a natureza da luz. A luz é uma onda eletromagnética como descrita por Maxwell e verificada experimentalmente por Hertz ou é constituída de partículas como apresentada na hipótese de Einstein para explicar o efeito fotoelétrico observado por Lenard?

Além das discussões sobre a natureza da luz, a teoria proposta por Einstein permitiu o surgimento de inúmeras aplicações tecnológicas. Como exemplos temos:

- luz interagindo com os bastonetes e cones do nosso olho;
- sensores de controle para abertura de portas;
- sensores de vigilância;
- sensores de imagens nas câmeras de vídeo;
- sensores de câmeras fotográficas;
- placas solares; enfim,
- sensores eletrônicos de radiação eletromagnética de uma maneira geral.



Albert Einstein em 1921

Fonte: <http://www.emlii.com/db873615/52-Colorized-Pics-That-Redefine-History-All-Together>

PARA SABER MAIS

<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol3/Num1/a08.pdf>

<http://www.if.ufrgs.br/einstein/efeitofotoeletricoindex.html>

<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v28n4/a18v28n4>

3 ESTRUTURA DAS AULAS

Etapa da sequência didática	horas	Atividades	
Apresentação do tema Produção inicial	0,5	• Atividade demonstrativa investigativa.	
Etapa das atividades	3	1,5 aula	Reprodução do experimento de Lenard utilizando um simulador.
		1,5aulas	Aula expositiva sobre efeito fotoelétrico: Explicação de Einstein para o efeito fotoelétrico; Aplicações do efeito fotoelétrico.
Produção Final	0,5	• Aplicação de um questionário.	

AULA 1 E 2

A problematização inicial caracteriza-se por apresentar situações reais que os alunos conhecem e vivenciam. É nesse momento que os estudantes são desafiados a expor os seus entendimentos sobre determinadas situações significativas que são manifestações de contradições locais.

Inicialmente o professor separa a turma em duplas (ou pequenos grupos) e lança a seguinte situação problema:

Imagine que você está passeando com sua sobrinha de 6 anos de idade, num belíssimo fim de tarde (início de noite), quando de repente ela percebe que as luzes dos postes começaram a se acender. Ela então rapidamente lembra que em sua casa para acender a luz é necessário apertar um botão, que ela não sabe ao certo o nome.

Segundos após processar seu pensamento ela olha pra você e como uma criança curiosa que é lhe faz a seguinte pergunta:

Tia (o) quem acende a luz do poste?

Diante dessa situação discutam sobre o assunto em seus grupos e escrevam a melhor resposta para essa sobrinha curiosa.

Atividade de registro

Essa atividade busca avaliar os conhecimentos prévios dos alunos em relação ao conteúdo que será abordado no decorrer da sequência didática

Depois de alguns minutos o professor solicita que cada pequeno grupo leia sua explicação e juntos devem eleger a melhor e anotá-la no canto do quadro.

Após definirem a melhor explicação, o professor encaminha a realização de uma atividade experimental demonstrativa com um enfoque investigativo.

Uma atividade investigativa se caracteriza como uma possibilidade de ensino que tem a intenção de levar o aluno a refletir sobre o fenômeno, levantar hipóteses, discutir com os colegas, formular explicações, expor suas explicações de forma oral e escrita. Nesse sentido, segundo Azevedo (2006), a aprendizagem de procedimentos e atitudes torna-se tão importante durante o processo quanto a aprendizagem de conceitos ou do conteúdo.

Construção do experimento

Para a montagem do experimento você irá precisar de:

- um relógio digital simples que funcione com bateria tipo disco;
- um led de auto brilho;
- dois pequenos pedaços de fio rígido e fino.
- 1,0m fio duplo flexível 1,5mm;
- um soquete para lâmpada incandescente;
- um pino macho;
- uma lâmpada incandescente;
- um ferro de solda;
- um pedaço de estanho.

Inicialmente faça a conexão do pino macho em uma das extremidades do fio, em seguida fixe o soquete na outra extremidade do fio. Conecte a lâmpada no soquete.



Figura 6: Fio duplo conectado ao pino macho e ao soquete
Fonte: Arquivos do autor

Agora retire a pilha do relógio, com uma chave retire os parafusos que prendem a parte traseira do relógio.

Com a ajuda do ferro de solda, fixe um pequeno pedaço de fio fino rígido no ponto onde estaria o polo positivo da pilha. Da mesma forma, fixe outro pequeno pedaço de fio fino rígido ao ponto que seria conectado o polo negativo da pilha.

Em seguida coloque de volta a tampa traseira do relógio, volte os parafusos aos seus lugares.



Figura 7: Fios conectados no lugar da pilha
Fonte: Arquivos do autor

Temos para a figura 3 um dos fios como polo positivo e o outro como polo negativo.

Pegue o componente led, ele possui dois terminais, um maior que o outro. O maior terminal é o positivo, o menor terminal é o negativo.

Com o auxílio do ferro de solda fixe o fio positivo ao terminal positivo do led, e o fio negativo



Figura 8: Led conectado ao relógio
Fonte: Arquivos do autor

Depois do experimento montado, o professor deve questionar a turma sobre o que é indispensável para o funcionamento de um relógio digital. Aguarda as respostas e estimula a participação dos alunos.

Depois de articular as respostas, o professor apresenta para os alunos um relógio digital em pleno funcionamento (esse deve estar com funcionamento normal sem nenhuma alteração). Em seguida, lança aos pequenos grupos o seguinte questionamento: "***é possível o relógio funcionar sem a pilha?***".

Atividade de registro

Peça para os alunos anotarem suas respostas seguidas das justificativas.

Após os alunos escreverem, apresenta-se o relógio digital com o LED de auto brilho, incidisse luz sobre o mesmo e solicitasse que os alunos registrem o que estão vendo.

Atividade de registro

Os alunos nos pequenos grupos, devem discutir e elaborar uma explicação física para o que acabaram de registrar.

Após um tempo necessário para escreverem o professor pede que cada grupo leia sua explicação física. O professor deve encaminhar uma discussão com o grande grupo e juntos devem escolher a melhor explicação para o fenômeno.

Este primeiro momento da aula tem por objetivo verificar as concepções prévias dos alunos, o que eles pensam sobre o fenômeno que vamos iniciar seu estudo. Por esse motivo até o presente momento o professor-pesquisador não apresentou nenhuma resposta, apenas deu liberdade para que os alunos em pequenos grupos pudessem levantar hipóteses sobre o fenômeno observado.

No momento seguinte da aula os alunos foram convidados a realizar uma atividade experimental investigativa, no entanto, não tínhamos equipamentos necessários para reproduzir o experimento histórico de Lenard, que descobriu o fenômeno do efeito fotoelétrico. Utilizamos então um recurso didático disponível online conhecido como simulador, com este foi possível reproduzir o experimento nas mesmas

condições da época.

Se na instituição tiver disponível um laboratório de informática a atividade pode ser realizada em duplas ou em pequenos grupos em cada computador. Caso essa possibilidade não seja possível o professor pode projetar o simulador e encaminhar a atividade com a turma dividida em pequenos grupos.

Roteiro para a utilização do simulador

Acesse o simulador – Efeito Fotoelétrico indicado na figura 5.

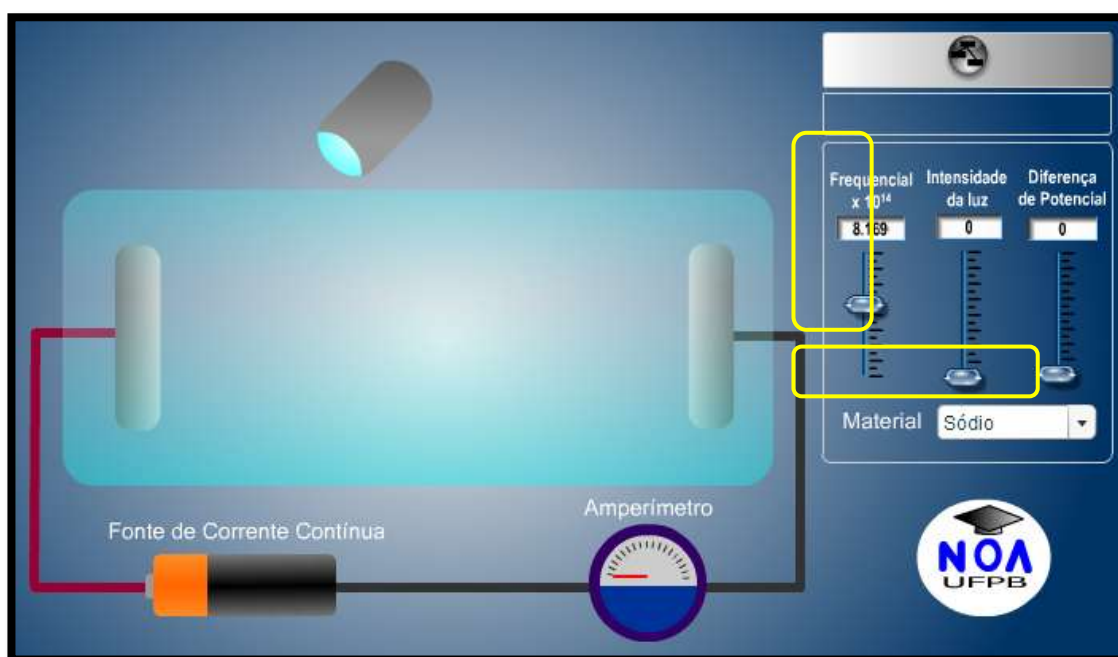


Figura 9: Simulador do efeito fotoelétrico

Fonte: <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/20EfeitoFotoeletrico/Site/Animacao.htm>

1ª PARTE

Inicialmente devemos estabelecer as condições iniciais do experimento:


- 1) Selecione o sódio como material a ser utilizado na placa metálica no interior do experimento, como mostrado na figura 1.
- 2) Coloque o cursor da frequência no seu ponto médio, como indicado na figura 1.
- 3) Retire toda a luz que incide no experimento, ou seja, coloque o cursor da intensidade⁴

⁴ Intensidade de luz significa quantidade de luz que incide na placa metálica.

da luz na posição zero e anote o que acontece com a corrente elétrica no amperímetro.



4) Agora regule o cursor da intensidade para o ponto médio e anote o que acontece com a corrente elétrica no amperímetro.



5) Regule o cursor da intensidade para a posição máxima e anote o que acontece com a corrente elétrica no amperímetro.



6) Discuta com seus colegas e chegue a uma conclusão sobre a relação existente entre o efeito fotoelétrico e a intensidade luminosa.

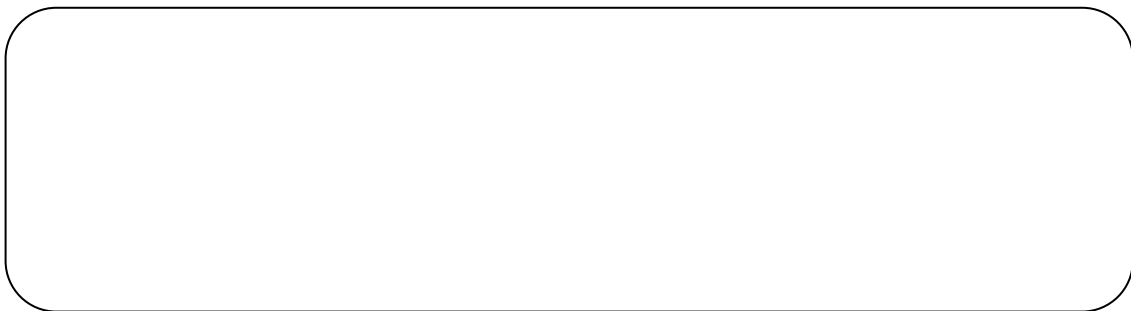


O que diz a teoria

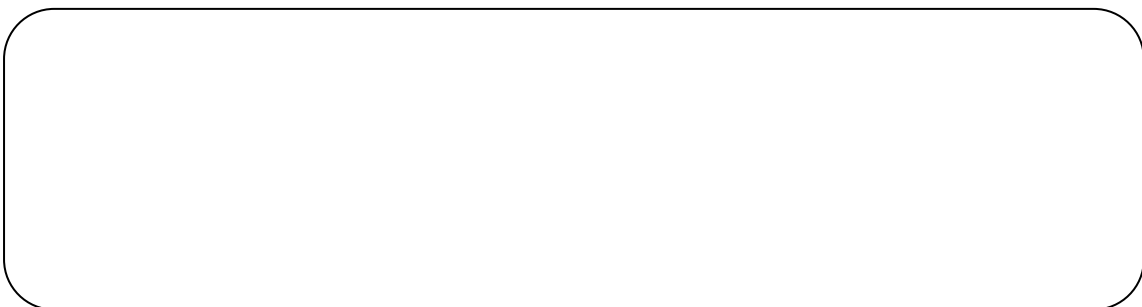
Em Física clássica a energia do elétron está associada a intensidade da luz, portanto, esperava-se que a energia da luz incidente iria movimentar o elétron no átomo até que sua energia fosse suficiente para escapar do metal e só então ele se moveria de uma placa para a outra fazendo aparecer uma corrente elétrica no amperímetro.

Nesse sentido se fornecermos uma intensidade muito baixa de luz, o elétron receberá pouca energia demorando assim algum tempo para ele conseguir se desprender da placa metálica e entrar em movimento, demorando assim para surgir uma corrente elétrica no amperímetro.

7) Coloque o cursor da intensidade na posição 0,5 (consideramos essa uma intensidade muito pequena). Verifique experimentalmente se o tempo necessário para surgir uma corrente elétrica no amperímetro é grande, pequeno ou muito pequeno. Registre o resultado experimental que você observou.



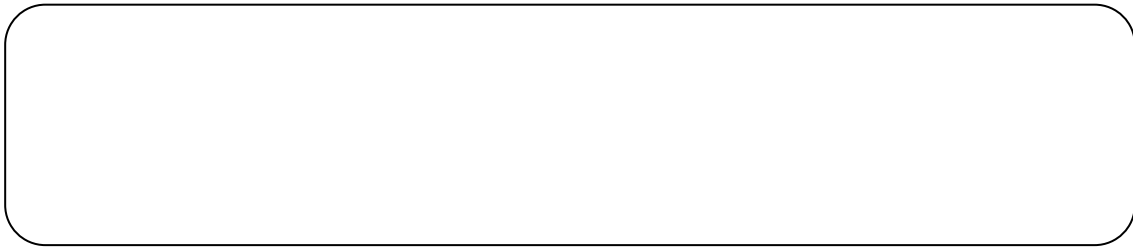
8) Com base na física clássica você pode explicar satisfatoriamente esse resultado



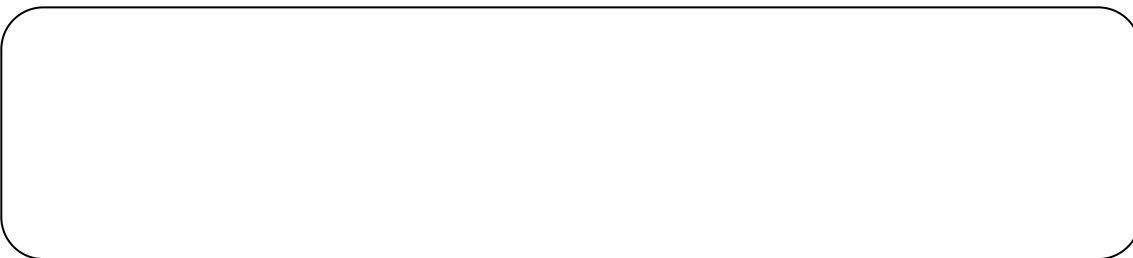
O que diz a teoria

De acordo com a explicação clássica, a frequência da luz está relacionada com a cor da luz incidente, mas não interfere no experimento, visto que a energia da luz está associada apenas a intensidade luminosa.

9) Para garantir o fenômeno coloque o cursor da intensidade da luz na posição máxima. Lentamente diminua a posição do cursor da frequência até chegar na posição zero. Registre suas observações.



10) Em seguida ainda com o cursor da intensidade da luz na posição máxima. Aumente lentamente a posição do cursor da frequência até chegar na posição máxima. Registre suas observações.



11) Agora coloque o cursor da intensidade da luz em outra posição qualquer diferente de zero. Varie lentamente a posição do cursor da frequência da posição máxima até a posição zero. Registre suas observações.



O que diz a teoria

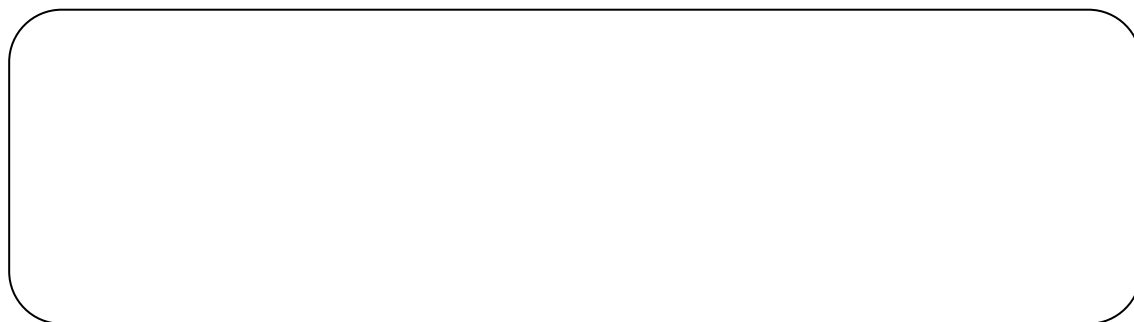
A frequência da luz em que os elétrons começam a saltar da primeira placa para a da direita e o amperímetro passa a registrar uma corrente elétrica recebe o nome de frequência de corte.

2ª PARTE

12) Selecione agora o cobalto como material a ser utilizado na placa metálica no interior do experimento, como mostrado na figura 1.

13) Fixe o cursor da frequência no ponto médio e varie o cursor da intensidade da luz de zero até seu valor máximo.

Registre o resultado experimental encontrado.



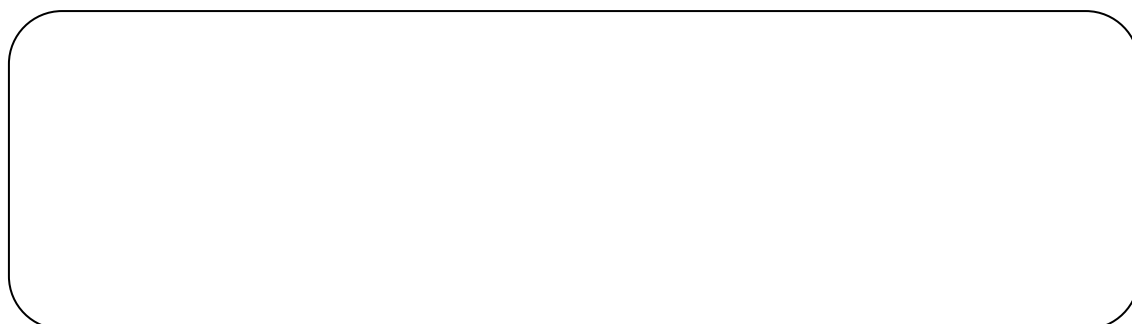
14) Fixe o cursor da intensidade da luz no ponto médio e varie o cursor da frequência de zero até seu valor máximo. Registre o resultado experimental encontrado.



15) O que aconteceu com o valor da frequência de corte quando alteramos o material da placa metálica de sódio para cobalto?



16) E se alterarmos novamente o material da placa metálica de cobalto para alumínio o que acontecerá com a frequência de corte? Altere o material da placa para alumínio e refaça os passos 13 e 14, em seguida tire suas conclusões.



17) Tomando como base seus resultados experimentais explique como funciona o efeito fotoelétrico.

18) A explicação apresentada acima está de acordo com a Física clássica?

Sim ()

Não ()

Essa atividade objetivou fazer com que o aluno compreendesse que a Física que se tinha disponível até o final do século XIX não era suficiente para explicar os resultados experimentais encontrados na época.

AULA 3 E 4

Com a turma ainda dividida em pequenos grupos, o professor encaminha uma aula sobre os conceitos básicos do efeito fotoelétrico, evidenciando a hipótese de Einstein para solucionar o problema experimental encontrado por Lenard. Em seguida apresenta aos alunos o tratamento matemático dado por Einstein ao efeito fotoelétrico, e por fim cita algumas aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico.

Para essas aulas o professor pode utilizar como referencial o texto apresentado no item 2 desta sequência didática.

O objetivo da aula 3 e 4 é dar condições para que o aluno compreenda que a Ciência é uma construção coletiva, e não fruto de espasmos de gênios da Ciência, como muitas vezes fica subentendido em alguns livros didáticos.

4 AVALIAÇÃO

O processo de avaliação da aprendizagem precisa ser coerente com o processo de ensino. Dessa forma, nessa sequência didática a avaliação deve ser contínua, valorizando-se principalmente os debates gerados em sala de aula.

O professor pode ao final da implementação da sequência didática solicitar que cada aluno descreva com suas palavras, o que é o efeito fotoelétrico e principalmente quem descobriu o efeito fotoelétrico, esses dois questionamentos permitirá ao professor avaliar a compreensão do aluno sobre a temática discutida.

Para finalizar o professor como produção final pode solicitar que cada pequeno grupo de trabalho elabore (para ser entregue em uma data posterior devidamente agendada pelo professor) um panfleto para ser apresentado na escola para outras turmas sobre uma das aplicações do efeito fotoelétrico (cada pequeno grupo ficaria responsável por uma aplicação diferente).