

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



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

JORGE RAPHAEL RODRIGUES DE OLIVEIRA COTINGUIBA

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

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

Orientador: Prof. Dr. Valmir Henrique de Araújo.

Vitória da Conquista – Ba

Julho 2022

1. APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Posteriormente os estudantes foram convidados a participar de uma sala de aula virtual, criada no Google Sala de Aula. Esta sala de aula virtual foi elaborada previamente e disponibilizamos nela os seguintes materiais: textos e vídeos sobre o tópico Efeito Fotoelétrico, o simulador interativo Phet Efeito Fotoelétrico juntamente com um roteiro para instruir os participantes na manipulação do simulador. Um questionário-teste onde os participantes puderam responder as questões de acordo com que fora apreendido no minicurso, nos textos e vídeos disponibilizados na sala de aula virtual; disponibilizamos também uma sessão denominada “biblioteca”, na qual foram alocados diversos vídeos sobre temas relativos ao estudo dualidade onda-partícula e mais alguns vídeos sobre o efeito fotoelétrico.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

No outro momento, passamos a estudar e debater a tema Efeito Fotoelétrico através do uso da História das Ciências e sua Evolução. Como foram realizados os

estudos de Hertz, Lenard e Einstein sobre esse fenômeno, sua teorização e suas aplicações tecnológicas conhecidas. Este é o segundo momento pedagógico, conhecido como “Organização do Conhecimento”, que tem por finalidade estudar o conhecimento físico inerente àquele tema e necessário para a compreensão do tema central e da problematização inicial.

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


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

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

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

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

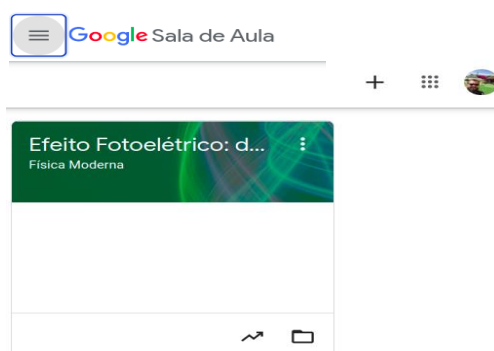
A plataforma Google Sala de Aula possui uma forma intuitiva para a criação de uma turma. Podemos elencar os seguintes passos, a saber:

- Toque em Google Sala de Aula .
- Toque em Adicionar + > **Criar turma.**
- Digite o nome da turma.

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

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

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



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

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

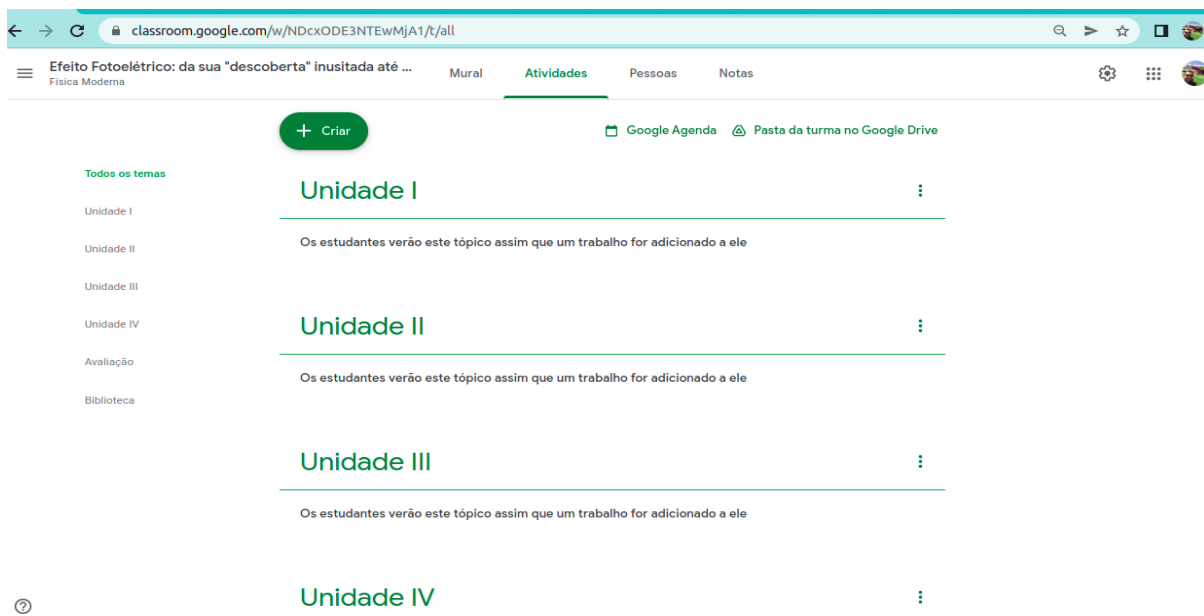


Fonte: <https://classroom.google.com/c/NDcxODE3NTEwMjA1>

No Google sala de aula, o minicurso possui um formato dividido em quatro partes. Essas partes foram criadas na aba “atividades”, onde fixamos as seções denominadas “unidades”; criamos quatro unidades: unidade I, unidade II, unidade III e unidade IV. Essa divisão serve apenas para fins didáticos, de maneira nenhuma

constitui-se de blocos estanques. O que se espera é que o desenvolvimento do minicurso dependa do participante, principalmente nos momentos assíncronos.

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



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

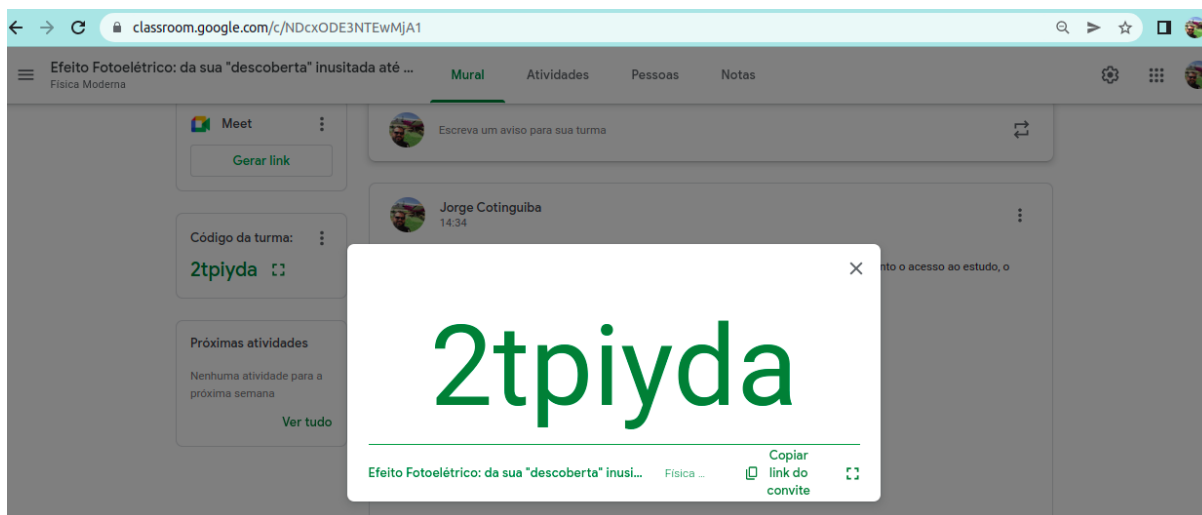
Também disponibilizamos mais duas outras seções denominadas “avaliação” e “biblioteca”, respectivamente. A seção “avaliação” traz o formulário denominado “questionário”. Já a seção “biblioteca” é um espaço onde arrolamos referências bibliográficas, material complementar em formato pdf e diversos outros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

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



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

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



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

4. USO DO SIMULADOR INTERATIVO EFEITO FOTOELÉTRICO PHET COLORADO

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

Fig. 01 – página da internet do PhET

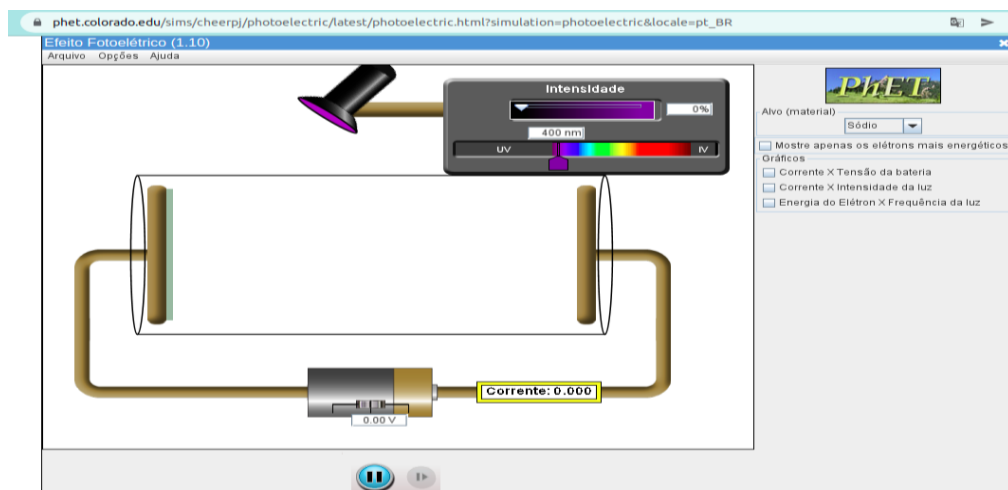


Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/

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

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

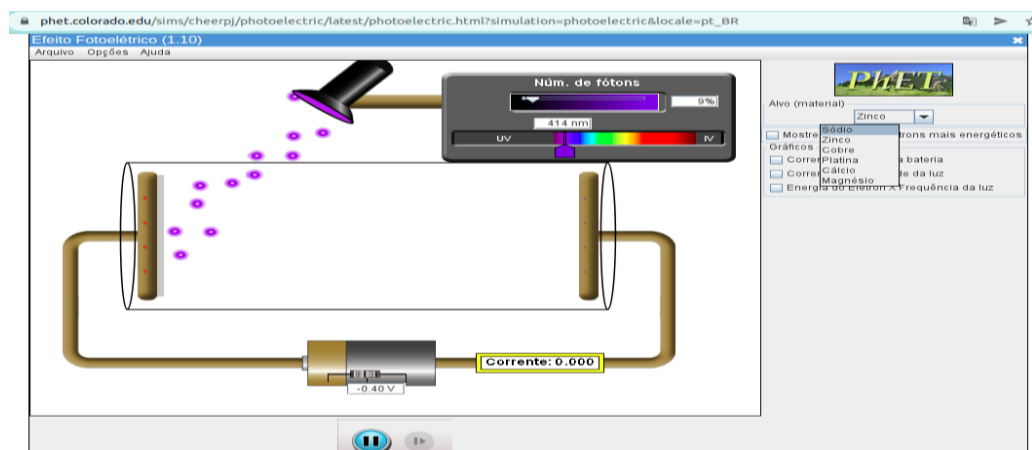
Fig. 02 – Simulador interativo Efeito Fotoelétrico



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

O aparato tecnológico consiste no seguinte esquema:

Fig. 03 – Simulador interativo Efeito Fotoelétrico



Fonte:

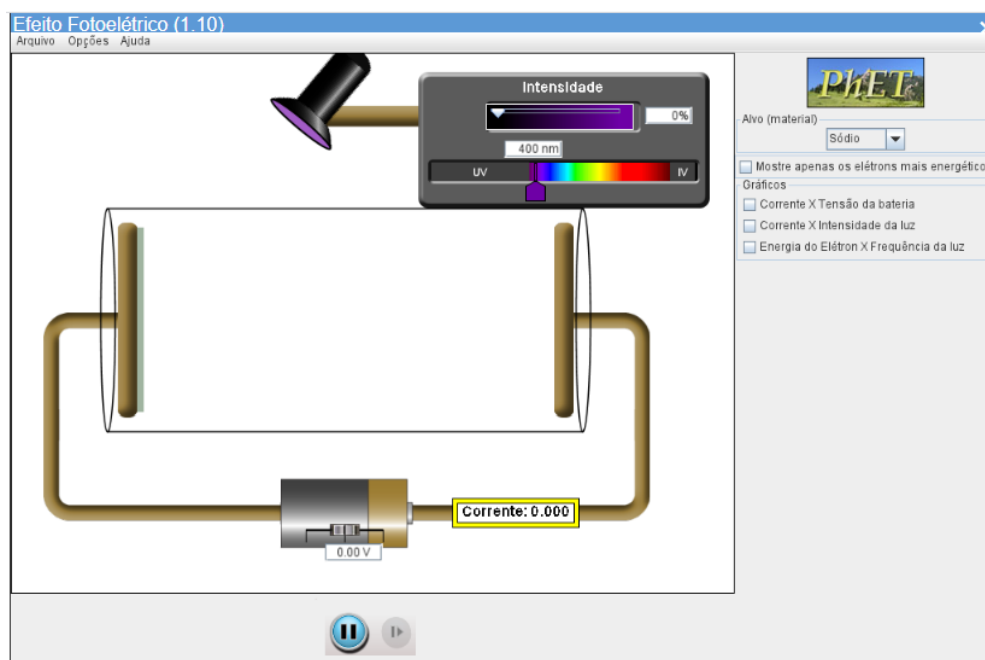
https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt_BR

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

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

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

Fig. 4 - Simulador PhET Efeito Fotoelétrico



Fonte:

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

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

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

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

4.1 Roteiro didático

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

Questionário 01.

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

Será garantido o anonimato das respostas.

E-mail: _____

Nome completo: _____

Qual sua formação? (múltipla escolha)

- nível médio em andamento

- nível médio completo

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

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

Qual seu município/estado?_____

Simulador Efeito Fotoelétrico do Phet

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

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

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

Simulador Efeito Fotoelétrico Phet

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

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

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

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

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

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

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

Vídeo tutorial para uso do Simulador Interativo Efeito Fotoelétrico Phet

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

4.2 Questões propostas

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

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

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

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

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

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

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

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

Fig. 10 –
do Google
Formulário

Recorte



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

REFERÊNCIAS

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

<<https://antigo.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6896/7584>>. Acesso em:
11 jul 2022.

APÊNDICES

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

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

Efeito Fotoelétrico

Como ocorre o fenômeno?

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

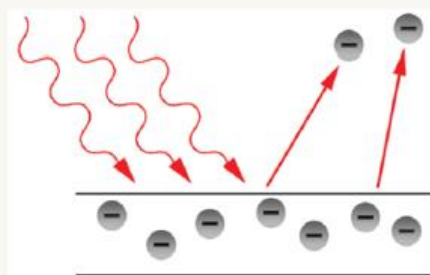


Figura 1 Representação do efeito fotoelétrico
Fonte: Adaptado de Wikimedia Commons

"Descoberta"

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



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

A explicação de Einstein

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

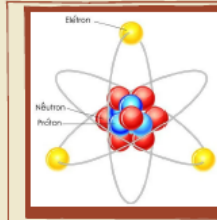
O curioso fenômeno, que não podia ser explicado pelo eletromagnetismo de Maxwell, seria solucionado no quarto grande trabalho de Einstein, em 1905. Utilizando a teoria de Planck, sugeriu que a energia chegava aos elétrons do metal em "pacotes" discretos e não continuamente, como proposto na visão ondulatória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

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

Efeito Fotoelétrico – texto II

Efeito Fotoelétrico - a explicação de Einstein

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



Elétrons que saltam

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

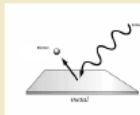
Partículas de luz

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



E como seria, então?

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

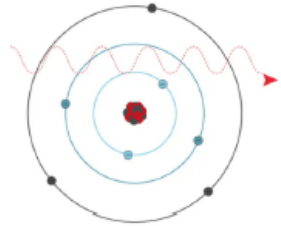


Ideia mais revolucionária

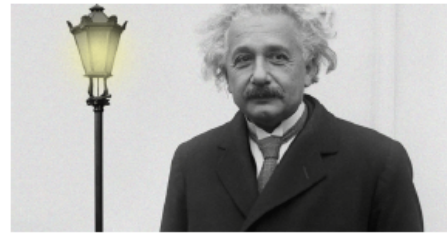
A ideia de que a luz tem natureza corpuscular foi classificada por Einstein como a "mais revolucionária" de sua vida. Em 1915, o físico norte-americano Robert Millikan (1868-1953), ao contrário do que pretendia inicialmente, chegou a resultados que confirmavam a previsão de Einstein sobre o efeito fotoelétrico.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



EFEITO FOTOELÉTRICO - FUNÇÃO TRABALHO



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



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

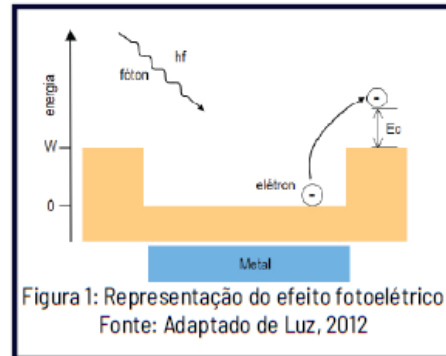


Figura 1: Representação do efeito fotoelétrico
Fonte: Adaptado de Luz, 2012

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

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

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

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

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

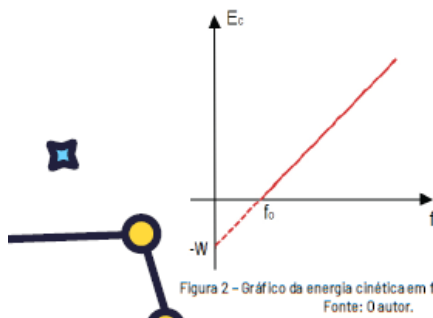


Figura 2 - Gráfico da energia cinética em função da frequência
Fonte: O autor.

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

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

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

Vídeos disponibilizados na sala de aula virtual

Unidade I – Efeito Fotoelétrico – histórico. Disponível em: <https://youtu.be/UdrS13-hjLs>

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

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

Unidade IV –

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

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

Biblioteca

a) Photoelectric effect. Disponível em:

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

b) A luz é uma onda ou partícula? O que isso tem a ver com a Física Quântica?

Disponível em: <https://youtu.be/oNB7dUo-t6I>

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

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