

II EVENTO INTEGRADO – PROCIEMA Educação, Ciências e Extensão: Transformando Vidas

CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA INTRODUZIDOS PELO EFEITO FOTOELÉTRICO E ANALISADOS PELA PROTOTIPAGEM ARDUINO

Pedro Henrique Melo Ferraz¹, Sandra Cristina Ramos², Jorge Anderson Paiva Ramos³

RESUMO

O uso didático das Tecnologias Digitais da Informação e da Comunicação no Ensino de Física, tem sido amplamente explorado nos espaços escolares. tem sido amplamente requerido nos espaços escolares. Algumas vezes, os conceitos inerentes a estas tecnologias advém dos fenômenos e conceitos de Física Moderna e Contemporânea (FMC). Com este objetivo, apresenta-se uma proposta experimental para discutir conceitos de FMC relativos ao fenômeno do efeito fotoelétrico mediante uso da plataforma Arduino, vinculado a um adequado experimento, que foi desenvolvido para explorar conceitos relativos ao fenômeno do Efeito Fotoelétrico com utilização da plataforma Arduino. Os objetivos específicos incluem a demonstração do funcionamento de um LDR, com destaque para relação entre a intensidade luminosa incidente e liberação de portadores de carga elétrica, de forma que permite levantar a curva de sensibilidade do LDR. A metodologia empregada consiste na construção do aparato experimental, que utiliza a tela de um *smartphone* como fonte de luz e da medida da relação entre corrente elétrica e intensidade luminosa. Os resultados obtidos confirmam o esperado, demonstrando que a corrente elétrica aumenta com a intensidade luminosa. A utilização da prototipagem Arduino, para a realização do experimento, permite uma abordagem interativa e acessível ao estudo de conceitos de Física Moderna.

Palavras-chave: Ensino de Física Moderna. Arduino. Semicondutores.

1.0 Introdução

A Ciência e a Tecnologia são vistas como Atividades Humanas complexas, que solucionam problemas de forma a fornecer novas perspectivas de mundo. Estas tem

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. E-mail¹: 201510735@uesb.edu.br

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. E-mail²: sandramos@uesb.edu.br

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. E-mail³: jorge@uesb.edu.br

exercido influência em nossa sociedade em aspectos da vida cotidiana, na busca da compreensão do universo e nos fenômenos em escalas subatômicas. Discussões relevantes, como a preservação do meio ambiente, de fontes energéticas e mudanças climáticas, estão sendo impulsionadas por avanços nestas áreas (BRASIL, 2017).

Para as sociedades modernas, não faz sentido ao indivíduo que adquire um conhecimento na fase escolar, não adquirir habilidade de extrapolá-lo para além deste contexto, produzindo reflexão e propondo soluções. No que tange a área de ciências naturais, os dados do relatório do Brasil no PISA apontam que a educação brasileira teve uma leve evolução entre 2006 e 2009, seguido de uma estagnação nos anos seguintes. A média do país, nesta área do conhecimento, foi 404 de 1000, contudo a pontuação mínima é de 410, a qual deve ser atingida por um estudante, para que este seja considerado capaz de aproveitar as oportunidades de aprendizado e participar da sociedade. ~~é 410~~ (BRASIL, 2019). Talvez, este resultado seja um reflexo da cultura do ensino por testagem, descrita e criticada por Moreira (2021).

Na cultura do ensino para a testagem, θ conhecido internacionalmente como Teaching to the test colocam as escolas como centros de treinamento, em que professores e alunos se submetem a essa cultura treinadora, que tem por trás a preparação para o mercado. Desde que entram na educação básica, os alunos começam a ser treinados para dar respostas corretas nas provas. Moreira (2021) aponta que o ensino por testagem é um método que enfatiza a memorização de fórmulas e conceitos prontos, em detrimento da reflexão crítica e aprofundada sobre o assunto. Esse tipo de ensino induz o estudante a uma falsa ideia de que as ciências naturais são acabadas e exatas, além capacitá-lo meramente para a resolução questões de provas padronizadas. A consequência desta abordagem de ensino é uma aprendizagem mecânica, onde se dá “um armazenamento de conhecimentos de forma literal, arbitrária, sem significados, que não requer compreensão e resulta em aplicação mecânica a situações conhecidas.” (Moreira, 2021, p.3). A BNCC, para as ciências da natureza, aponta que o aprendizado desta área não se limita ao conhecimento dos seus conteúdos conceituais. Outras competências e habilidades básicas a serem desenvolvidas no ensino fundamental são a

contextualização dos conhecimentos trabalhados, processos e práticas investigativas e o uso de linguagens próprias a estas ciências (BRASIL, 2017).

O desenvolvimento de tais competências e habilidades tendem a tornar o aprendizado mais significativo. Para Moreira (2021, p. 5), o aprendizado significativo crítico é “uma aprendizagem que implique pensar criticamente, aprender a aprender, rejeitar certezas, encarar o erro como natural e aprender através de sua superação”, sendo o oposto ao ensino focado em provas. Algumas formas de se distanciar do ensino por testagem perpassa por ~~são buscar~~ priorizar o estudo de ~~os~~ conceitos físicos, além do formalismo matemático, procurando contextualizá-los com a realidade da turma e dar preferência à modelagem matemática, em detrimento à aplicação de fórmulas prontas. Também é fundamental a complementariedade entre a parte teórica e experimental da física, para a promoção de um aprendizado significativo do conteúdo. No caso da inexistência ou a falta de acesso a laboratórios físicos, os laboratórios virtuais tornam-se uma excelente opção didático-pedagógica.

Silva e Assis (2022) apontam que a prática experimental em sala de aula ajuda a tornar conceitos abstratos da Física mais compreensíveis. Elas também reforçam que este “pode ser um ótimo recurso para as aulas de Física, ao despertar emoções positivas nos estudantes, tal como a curiosidade e o estranhamento, o que causa uma motivação inicial em aprender”.

Martinazzo et al. (2014) apontam que esta plataforma Arduino indica elementos que, aliados à prática experimental, no contexto do ensino de Física, proporciona aos estudantes uma maior compreensão dos conceitos ~~teóricos~~, permitindo uma abordagem mais prática e interativa no processo de aprendizagem. Acerca da inserção da tecnologia nas escolas, os autores descrevem que muitas pesquisas em ensino de Ciências, de forma geral e, em particular, no ensino de Física, têm sido feitas com o intuito de incorporar, cada vez mais, a tecnologia e a informação em metodologias, para tornar o ambiente escolar mais contextualizado e atrativo para o aluno (Martinazzo, et al., 2014). A constatação de Martinazzo et al. (2014) demonstra que “os alunos já não se satisfazem apenas com aulas expositivas de Física”. Soma-se a isso, as críticas de Moreira (2021) ao ensino por testagem. Considerando, também, as demandas da

sociedade contemporânea expressas por Brasil (2019) e a diretrizes da BNCC, fica patente a necessidade da constante elaboração de estratégias de ensino que contemplem as necessidades estudantis e promovam um aprendizado significativo. Portanto, neste trabalho, apresenta-se uma proposta experimental de cunho didático, adaptada do projeto 14 de McRoberts (2011), que visa demonstrar a correlação entre intensidade luminosa e corrente elétrica, evidenciando uma regularidade característica do efeito fotoelétrico. A atividade experimental contribuirá positivamente para o ensino da Física Moderna e Contemporânea (FMC), área do conhecimento profundamente atrelada às inovações tecnológicas e de estudo indispensável (Merlin et al., 2019). Devido à estas características, é um conhecimento de fácil contextualização com a vivência dos estudantes (Silva; Assis, 2022).

2.0 Materiais e Métodos

A proposta experimental tem por objetivo desenvolver uma ferramenta para introduzir a discussão do efeito fotoelétrico no ensino médio, através da demonstração, um sensor de luz, no qual o aumento da quantidade de fótons acarreta no aumento de portadores de carga livres. A Figura 1 mostra o aparato experimental para construção e exploração dos conceitos deste experimento.

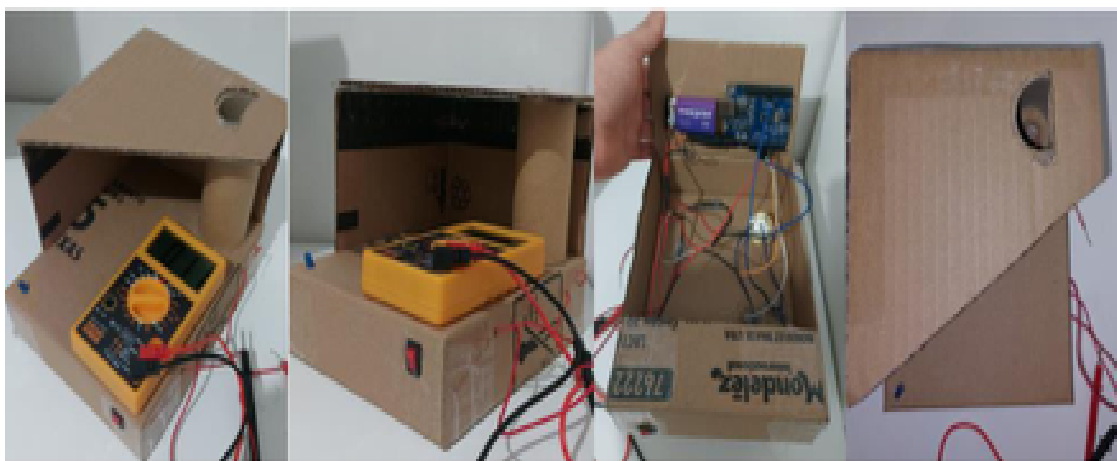


Figura 1 – Aparato Experimental
Fonte – Os Autores (2023)

Na sequência, na Tabela 1, estão listados itens que compõe o experimento, quantidades e o custo estimado de cada parte. A informação do custo é relevante, pois os experimentos para fins didáticos devem ser acessíveis e de baixo custo.

Tabela 1 – Materiais Utilizados e custos

LISTA DE MATERIAIS		
Ítem	Quantidade	Custo Unitário (R\$)
Placa Arduino Uno + Cabo	1	54,86
Jumpers	4	0,50
Piezo	1	1,00
LED	1	0,25
LDR	1	0,70
Resistor10k	1	0,20
Chave On/Off	1	3,00
Estrutura de Papelão	1	-
Bateria 9V	1	12,00
Encaixe de Bateria	1	11,00
Fios de Sucata	1 metro	-
Custo Total		85,01
Custo Específico		18,15

Fonte: Os Autores (2023)

3.0 Montagem do Experimento

O fotoresistor (LDR) é o principal sensor do experimento, sendo este o responsável pela detecção dos fótons. O LDR adquire portadores de cargas livres, σ que produz uma queda na resistência elétrica. Na montagem do circuito (não mostrado), o sensor deve ser ligado em série com um resistor, a fim de dividir a tensão, pois mantendo a diferença de potencial de entrada, constante, a redução da resistência do LDR acarretará numa redução da tensão em seus terminais. A variação da intensidade luminosa também é responsável pela alteração da tensão nos terminais do fotoresistor. Esta é uma informação relevante para a placa Arduino. A programação no Arduino estabelece, através do comando “*tone*”, qual a tensão fornecida ao pino analógico, de modo que seja emitido um sinal sonoro de 1000Hz pelo *buzzer* piezo. Contudo, este som se dará em pulsos de 25ms intercalados, e o período destes intervalos será controlado pelo valor da leitura da tensão, no pino digital 0. Ao iniciar-se a emissão de som, passado os 25mS, o comando *no Tone* corta o envio de tensão para o pino digital, e o tempo para o reenvio de tensão passa a ser controlado pelo LDR. Intervalos curtos, por sua vez, indicam que a tensão de leitura é pequena, logo, muitos fótons chegarão ao fotoresistor, acarretando a

liberação de portadores de carga. O LED e o sensor piezo devem ser ligados em paralelo, deste modo, eles receberão as mesmas tensões, e o primeiro executará tudo o que foi determinado em código, para o segundo. O LED não faz parte do projeto original. O ambiente escolar nem sempre é silencioso e o *bip* do piezo pode não ser intenso o suficiente para ser ouvido, enquanto o brilho do LED é mais perceptível, o que despertará atenção. Para a obtenção de dados de tensão e corrente, conecta-se um multímetro, que viabiliza a leitura da tensão no LDR e a medida da corrente.

Para a alimentação da placa Arduino, foi usada uma bateria 9V. E para ligar e desligar o experimento, foi necessária uma chave *on/off*. Os *jumpers* foram destinados à comunicação dos sensores com o Arduino. Soldado ao terminal do resistor, o *jumper* foi conectado ao pino 5V, o que foi soldado no LDR e conectado ao *Ground* e o que formou um nó com os dois resistores plugados ao pino analógico 0. Os sensores foram ligados ao pino digital 8 e ao *Ground* por esses conectores. Esta configuração não está mostrada neste trabalho. Todas essas partes foram conectadas e inseridas dentro da estrutura projetada para comportar o experimento. A estrutura foi desenhada em um pedaço de papelão. Como é possível visualizar na Figura 1, a base da estrutura foi destinada a comportar os componentes, o tubo de papelão tem a função de confinar o LDR e a base superior serve de suporte para a fonte luminosa, proveniente da lanterna do *smartfone*. Os fios foram fixados da estrutura com cola quente e o Arduino, bem como a bateria, foram presos com fita dupla face. O objetivo da estrutura é proteger o fotoresistor de fontes de luz externa. Sem esta parte, o experimento não funcionará bem em uma sala de aula, pois este é um ambiente bem iluminado e a captação da luz externa interfere na medida da corrente no LDR. A fonte de luz empregada para a realização das medições foi da tela de um *smartphone*. Esta escolha se deve à luminosidade do aparelho, que é perceptível pelo LDR, que conta com um sistema de cores RGB (o que viabiliza analisar o comportamento do LDR sobre três ondas monocromáticas) e é uma ferramenta que professores e estudantes têm fácil acesso. Para o LDR realizar a detecção dos fótons, o aparelho celular (*smartphone*) foi posicionado sobre o suporte cobrindo completamente a passagem de luz externa, garantido que somente a luz proveniente do visor do aparelho fosse captada.

Para a comprovação de que o experimento possibilita a visualização da característica do efeito fotoelétrico, que determina uma relação direta entre intensidade luminosa e liberação de elétrons, realizou-se medidas da variação da intensidade luminosa da tela ao emitir luz vermelha, verde, azul e branca. As intensidades luminosas foram controladas usando comandos no código hexadecimal, possibilitando variações precisas. A tabulação dos valores de corrente e a elaboração de gráficos foram as ferramentas de análise de dados adotadas. Cada medida foi realizada cinco vezes.

4.0 Resultados e Discussões

4.1) Luminosidade e corrente elétrica

A Figura 2 mostra os dados que correlaciona os valores medidos de corrente elétrica e a intensidade luminosa, esta relativa. Neste, consta os resultados obtidos para os três comprimentos de onda monocromáticos e para luz branca, que é a superposição destes comprimentos. Estes dados evidenciam a característica do efeito fotoelétrico (Nussenzveig, 1998).

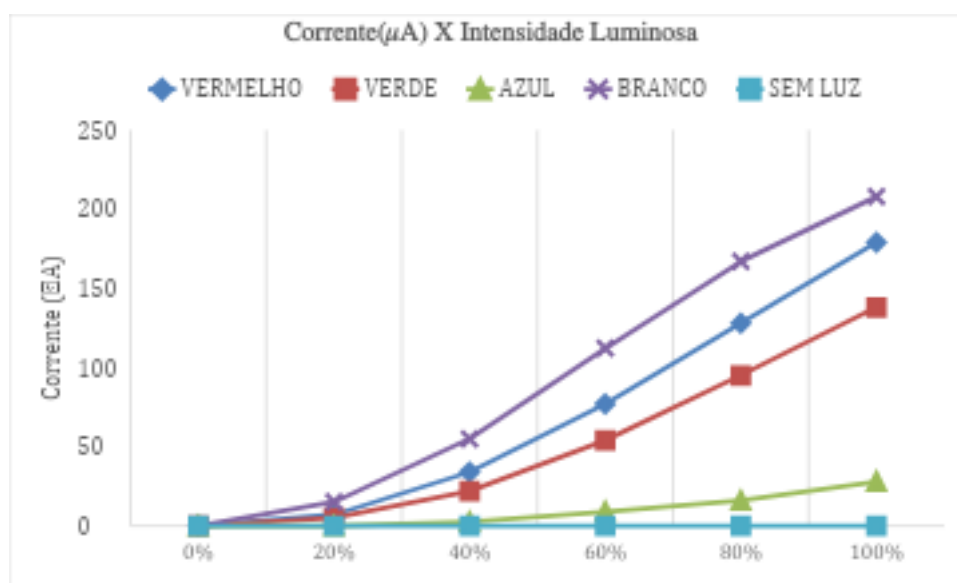


Figura 2 – Relação entre corrente elétrica x intensidade luminosa relativa
Fonte: Produzido pelo Autores (2023)

O eixo das ordenadas (vertical ou y) traz a informação da corrente elétrica medida pelo multímetro digital. O eixo das abscissas é adimensional, pois trata-se de uma

unidade relativa. Tem-se duas referências para as medidas: A luminosidade da tela, com os LED apagados (0%) e a luminosidade da tela com LED ligados em sua potência máxima (100%).

Os dados obtidos partiram da variação da intensidade luminosa e registro da corrente. E neste sentido, não foi necessário executar cálculos laboriosos, apenas observação do fenômeno e o registro das grandezas em tempo real.

Na sequência pode-se confeccionar um gráfico, que está apresentado na Figura 1. Percebe-se que o LDR é sensível às cores, ou seja, responde de forma diferenciada com o comprimento de onda incidente. A sua sensibilidade é maior para fótons de luz vermelha (#FF0000) e menor para fótons de luz azul (#0000FF). Quando iluminado com a luz branca (#FFFFFF) a resposta do sensor superou àquela obtida pelo vermelho e isto indica uma possível superposição dos resultados dos três comprimentos observados. Desta forma, levantou-se uma curva para avaliar a sensibilidade do sensor de acordo com a luz incidente. A Figura 3 abaixo, apresenta a curva de sensibilidade do sensor relativo à luz branca.

A partir da análise dos dados é possível avaliar a potencialidade deste experimento para demonstrar a relação entre a intensidade luminosa e corrente elétrica e a interação da luz (energia) com a matéria, mais especificamente com os elétrons presentes nos materiais. A atividade experimental proposta se enquadra melhor em uma discussão inserida na unidade temática de Matéria e Energia (Brasil, 2017).

Pode-se propor, a partir dos dados apresentados, algumas inferências exploratória do fenômeno como recurso didático, a saber: (a) Propor a elaboração de um roteiro experimental estruturado que seja capaz de direcionar os estudantes a explorar os resultados experimentais que, aliado ao auxílio e orientação do professor pode viabilizar a articulação de competências como a investigação científica; (b) Propor aplicação de conhecimentos; pensamento crítico; trabalho em equipe e resolução de problemas. (c) Vincular o experimento para desenvolvimento de habilidades outras, dado pela coleta, tabulação e análise de dados; representação gráfica e uso de tecnologia, de acordo com o proposto pela BNCC. (d) Permite investigar fundamentos ou abordagem mais complexa, como conceitos de semicondutores, frequência, comprimento de onda,

energia discreta, dualidade onda-partícula. (e) Diferenciar efeito fotoelétrico e efeito fotovoltaico. (f) Contextualizar a aplicação dos fenômenos para efeitos fotoelétricos e/ou fotovoltaicos, como por exemplo o abrir e fechar portas dos elevadores automaticamente” e aplicações das células solares.



Figura 2 – Sensibilidade do LDR relativa à luz branca.

Fonte: Os Autores (2023)

Ademais, ao serem desafiados a planejar e realizar experimentos para investigar a relação entre a luz e a resistência elétrica do LDR, permite explorar diferentes cenários e analisar os resultados, os estudantes praticarão a investigação científica. Será necessária a aplicação de conhecimentos científicos sobre os conceitos do efeito fotoelétrico e da interação entre a luz e a matéria para compreender os resultados observados durante o experimento. Os desafios relacionados à configuração dos LED, calibração da intensidade luminosa, coleta e análise de dados, exigirão habilidades de resolução de problemas. Por fim os estudantes terão a oportunidade de colaborar, compartilhar ideias, planejar o experimento em conjunto, coletar e analisar dados de forma colaborativa, além de discutir e interpretar os resultados obtidos, fomentando o trabalho em equipe. Os estudantes podem trabalhar a organizar dos dados coletados em uma tabela, registrando as diferentes configurações e resultados obtidos, facilitando a posterior análise e interpretação. Os estudantes podem ser incentivados a comunicar os

resultados de forma clara e precisa, por meio da elaboração de relatórios ou apresentações, compartilhando suas conclusões e evidências com os partícipes. Além de que o uso do smartphone como fonte de luz e do multímetro digital para medida da corrente elétrica permite que os estudantes explorem e utilizem diferentes instrumentos tecnológicos durante o experimento.

Desta forma, o experimento proposto também contempla alguns requisitos listados por Moreira (2021) para ser aplicado no contexto escolar, promovendo um ensino mais significativo para os estudantes. Isso ocorre, pois abre espaço para o trabalho da modelagem matemática, prioriza o debate de conceitos físicos em detrimento da realização de cálculos e aplicação de fórmulas prontas, e aproxima o estudo da realidade dos estudantes ao fazer uso de ferramentas do seu cotidiano.

5.0 Considerações Finais

Os resultados obtidos evidenciam que o experimento em questão possui potencialidade para contribuir com discussões de Física Moderna e Contemporânea no contexto do Ensino Médio. A demonstração da relação entre liberação de elétrons e incidência de fótons no LDR evidencia uma característica do Efeito Fotoelétrico, que é a variação linear da corrente com a incidência da luz. O que permite efetuar uma discussão profunda da interação entre a luz e a matéria. No contexto educacional, o experimento proposto atende a requisitos para um ensino significativo, envolvendo tecnologias digitais para o debate conceitual em vez de apenas efetuar a aplicação de fórmulas prontas e a utilização de ferramentas do cotidiano dos alunos. Esta atividade experimental pode vir a propiciar uma oportunidade valiosa para conectar a teoria à prática, pois o experimento é relevante para explorar tópicos relacionados à estrutura da matéria, como modelos atômicos, energia de ligação e características de condutores, isolantes e semicondutores. Essas discussões proporcionam uma base sólida para uma compreensão mais profunda das propriedades dos materiais e sua interação com a luz.

6.0 Referências

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2017. Disponível: basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_sit e.pdf. Acesso em: 08 abr. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. Relatório do Brasil no Pisa 2018: Versão Preliminar. 2019. Disponível em: download.inep.gov.br/acoes_internacionais/pisa/documentos/2019/relatorio_PISA_2018_preliminar.pdf

MARTINAZZO, C. A. et al. Arduino: Uma Tecnologia no Ensino de Física. *Perspectiva*: m. v. 38, n.143, p. 21-30, 2014. Disponível em: https://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/143_430.pdf

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. [S. l.]: São Paulo: Novatec, 2011. Disponível: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4287597/mod_resource/content/2/Ardu%C3%A4Dno%20B%C3%A1sico%20-%20Michael%20McRoberts.pdf

MERLIM, Ronald dos Santos et al. Unidade de ensino potencialmente significativa Análise da aplicação sobre efeito fotoelétrico. *Revista Thema*, v. 16, ed. 2, p. 284-300, 2019. Disponível em <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/1362>

MOREIRA, Marco Antônio. Desafios no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, e20200451. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/xpwKp5WfMJsfCRNFCxFhqLy/?format=pdf&lang=pt>

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica 4: Ótica, Relatividade e Física Quântica**. 8. Blucher, 2010. Disponível em: <https://linux.ime.usp.br/~dfrevert/programs/Desktop/fisica2/Curso%20de%20F%C3%A4Dsica%20B%C3%A1sica-%20H.Moys%C3%A9s%20Nussenzveig%20Vol%204.pdf>

SILVA, Luciene Fernanda da; ASSIS, Alice. Física Moderna no Ensino Médio: Um Experimento para Abordar o Efeito Fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, p. 313-324, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29n2p313/22920>. Acesso em: 25 abr. 2023.