

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS – *CAMPUS* OURO PRETO  
LICENCIATURA EM FÍSICA

Henrique Ferreira da Silva Júnior

**PLACA FOTOVOLTAICA: Uma Proposta de Abordagem para o Ensino do Efeito  
Fotoelétrico no Ensino Médio**

Ouro Preto

2024

HENRIQUE FERREIRA DA SILVA JÚNIOR

**PLACA FOTOVOLTAICA: Uma Proposta de Abordagem para o Ensino do Efeito  
Fotoelétrico no Ensino Médio**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* Ouro Preto como requisito para obtenção do título de Licenciado em Física.

**Orientador:** Luellerson Carlos Ferreira

Ouro Preto

2024

---

S586p

Silva Júnior, Henrique Ferreira da.

Placa fotovoltaica [manuscrito] : uma proposta de abordagem para o Ensino do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio / Henrique Ferreira da Silva Júnior. – 2024.

43 f. : il.

Orientador: Luellerson Carlos Ferreira.

Trabalho de Conclusão de Curso (licenciatura) – Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ouro Preto, 2024.

1. Física - Licenciatura. 2. Efeito Foto - elétrico. 3. Aparelhos e materiais elétricos - custo. 4. Ensino - Investigação. I. Ferreira, Luellerson Carlos. II. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ouro Preto. III. Título.

CDU: 535.215

---

Catálogo: Kelly Cristiane Santos Morais - CRB-6/3217


Henrique Ferreira da Silva Júnior

**PLACA FOTOVOLTAICA: Uma Proposta de Abordagem para o Ensino do  
Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Licenciatura em Física do Instituto  
Federal de Minas Gerais - *Campus* Ouro Preto  
para obtenção do grau de licenciada em Física.  
Orientador: Luellerson Carlos Ferreira

Aprovada em: 23/09/2024 pela banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Luellerson Carlos Ferreira - IFMG - *Campus* Ouro Preto (Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Ms. Gabriel Leandro Alves da Silva – E. E. João Ramos Filho

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Ms. Wflander Martins de Souza – IFMG - *Campus* Ouro Preto

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, Henrique Ferreira da Silva e Terezinha de Cássia Meira Santos, por todo suporte e apoio incondicional ao longo da minha graduação. Sem o amparo de vocês, este percurso teria sido muito mais desafiador.

Manifesto também minha profunda gratidão a duas figuras essenciais para a realização deste trabalho: ao meu orientador, Luellerson Carlos Ferreira, cuja orientação foi crucial, e ao meu amigo, Valério Augusto Lopes Passos, por sua constante disposição e contribuição valiosa durante todo o processo. Ambos foram fundamentais para a construção do presente trabalho.

Ademais, agradeço aos meus professores da Física, que ampliaram o meu conhecimento e mudaram a forma na qual enxergo o mundo. Tenho a profunda gratidão às professoras da CODAEDU Denise Conceição das Graças Ziviani e Layla Julia Gomes Mattos pelas boas risadas e por tornar minha formação docente mais rica.

Por fim, deixo meu singelo agradecimento aos grandes amigos que fiz ao longo da graduação: Alexia Cristina Oliveira Maia, Guilherme Milagres Viana, Fellipe Augusto Santiago da Silva, Thainara de Souza Santos e Igor da Silva Curvelo. Sou imensamente grato pelo apoio de vocês, pelas boas conversas e por tornarem esta jornada mais leve.

## RESUMO

O ensino de Física no Ensino Médio brasileiro enfrenta desafios, como a falta de professores, a formação docente e a predominância de métodos tradicionais que levam ao desestímulo da aprendizagem. A fim de promover um ensino que considere o estudante ativo, criativo e crítico, este trabalho propõe a construção de um produto educacional aliado a uma Sequência de Ensino por Investigação (SEI) para abordar o tema do efeito fotoelétrico (EFE). O objetivo principal é promover o entendimento do EFE de forma crítica, utilizando o produto educacional como ferramenta didática. O uso do produto educacional como recurso didático tem potencial de facilitar o desenvolvimento de habilidades científicas e investigativas nos discentes. Além disso, o material desenvolvido é versátil, possuindo a capacidade de atender diversos contextos educacionais, incluindo o programa de Educação de Jovens e Adultos (EJA). Os resultados deste projeto indicam que a combinação de estratégias pedagógicas ativas e recursos tecnológicos acessíveis podem enriquecer o ensino de Física no Ensino Médio.

**Palavras-chave:** Efeito Foto-elétrico; Material de baixo custo; Ensino Investigativo.

## **ABSTRACT**

Physics teaching in Brazilian high schools faces challenges such as a shortage of teachers, teacher training, and the predominance of traditional methods that often lead to student disengagement. To promote an approach that encourages active participation, creativity, and critical thinking among students, this study proposes the development of an educational tool combined with an Inquiry-Based Teaching Sequence (SEI) to address the topic of the photoelectric effect (EFE). The main goal is to promote a critical understanding of the EFE, using the educational tool as a teaching resource. This tool has the potential to facilitate the development of scientific and investigative skills in students. Furthermore, the material is versatile and can be adapted to various educational contexts, including the Youth and Adult Education (EJA) program. The results of this project indicate that the combination of active pedagogical strategies and accessible technological resources can enhance the teaching of Physics in high school.

**Keywords:** Photoelectric Effect; Low-cost material; Inquiry-Based Teaching.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Espectro eletromagnético .....	15
Figura 2: Espectro de emissão do Sol.....	15
Figura 3: Estrutura da banda de um isolante elétrico. ....	16
Figura 4: Estrutura da banda de um condutor elétrico.....	17
Figura 5: Estrutura da banda de um semi conditor .....	17
Figura 6: a) representação da estrutura atômica de uma dopagem tipo n.....	18
Figura 6: b) representação da estrutura atômica de uma dopagem tipo p .....	18
Figura 7: Recombinação da junção p-n .....	19
Figura 8: a) Resistência ( $\Omega$ ) X Intensidade luminosa.....	20
Figura 8: b) Elementos visuais de um LDR .....	20
Figura 9: Diagrama unifilar placa fotoelétrica .....	22
Figura 10: Diagrama unifilar placa de intensidade luminosa.....	23
Figura 11: Diagrama funcional placa fotoelétrica .....	23
Figura 12: Diagrama funcional placa de intensidade luminosa.....	24
Figura 13: Placa fotovoltaica.....	28
Figura 14: Subprodutos placa foto voltaica.....	29
Figura 15: Gráfico Tensão ( $V$ ) X Distância ( $m$ ) .....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Materiais utilizados e custo .....	25
Tabela 2: Tensões placa fotoelétrica .....	29
Tabela 3: Medições de tensão placa fotoelétrica .....	30
Tabela 4: Medidas com alteração de ângulo .....	31
Tabela 5: Tensões placa de intensidade luminosa .....	31

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>12</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Contextualização histórica do EFE.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.A Física presente nos semicondutores .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3.LED e o LDR.....</b>	<b>18</b>
<b>3.4.Prática de ensino tradicional X Sequência de Ensino Investigativo.....</b>	<b>20</b>
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>22</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>28</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>35</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>36</b>
<b>APÊNDICE A - Modelo de texto motivador .....</b>	<b>39</b>
<b>APÊNDICE B – Plano de aula etapa 1 .....</b>	<b>41</b>
<b>APÊNDICE C - Plano de aula etapa 2.....</b>	<b>42</b>
<b>APÊNDICE D - Plano de aula etapa 3.....</b>	<b>43</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O ensino de Física no Brasil, em nível médio, vem passando por várias dificuldades, dentre elas o reduzido quadro de professores atuantes e de formandos em licenciatura para atuar na educação básica. Nas escolas faltam professores de Física e aqueles que lecionam, muitas vezes optam por fazer com que os discentes treinem para a realização de provas objetivas e respondam questões de maneira decorada (MOREIRA, 2018).

O ensino de Física no Ensino Médio, tem priorizado apenas questões ligadas a física clássica e, em grande parte, centradas em uma prática de ensino tradicional (PEREIRA, AGUIAR, 2006). Na perspectiva do ensino tradicional, estrutura-se um ambiente de rotina repetitiva e pouco estimulante. Em tal prática de trabalho o professor é a figura central do conhecimento e lança verbalmente os conteúdos para os alunos executarem as listas de exercícios, atribuindo-lhes o papel de coadjuvantes da relação de ensino-aprendizagem (CHAGAS, MACHADO, 2021; MAZUMAKI, 1986).

A necessidade de mudanças no modelo tradicional é evidente, pois a figura do discente ativo é indispensável para construir uma educação transformadora e que forme um cidadão crítico e reflexivo sobre suas atividades cotidianas. Em contraste com o modelo tradicional de ensino, este trabalho propõe a utilização da metodologia de **ensino por meio da investigação** (grifo nosso) a fim de contribuir para as práticas de um ensino de Física crítico, participativo e propiciar condições para a construção da autonomia dos discentes (CHAGAS, MACHADO, 2021).

Segundo os últimos autores, na prática de ensino por investigação, o docente tem papel fundamental na disseminação de problemas voltados a realidade dos discentes. Em tal concepção, o discente se depara com a necessidade de realizar reflexões para alcançar a resolução de problemas e as tomadas de decisões. O objetivo do ensino por investigação não é fazer com que os estudantes resolvam problemas de imediato, mas que haja uma análise da conjuntura das situações impostas, para que as decisões mais eficientes sejam alcançadas.

Ao contrário da metodologia tradicional de ensino, a Sequência de Ensino Investigativa (SEI) tem por objetivo contribuir para o desenvolvimento do pensamento crítico de forma que os indivíduos possam tomar uma postura ativa na construção do conhecimento científico. Nesse contexto, o docente passa a ter um papel de mediador do conhecimento, estimulando a criticidade imposta pelas situações-problemas.

A Física Moderna, mesmo sendo um campo de conhecimento altamente abstrato pode se tornar atrativa e promissora para os estudantes de Ensino Médio por meio da aplicação da SEI pois, essa metodologia visa estimular o pensamento investigativo e crítico dos estudantes.

O ensino da Física Moderna pode ser mais atrativo do que o da Física Clássica pelas aplicações tecnológicas. Dentro desta área, podemos destacar o efeito fotoelétrico (EFE), que ocorre ao submetermos uma superfície metálica ou semicondutora à luz em certa faixa de frequência, promovendo elétrons ligados aos átomos em elétrons livres (VALADARES, LOBOS, 2004).

A descoberta do efeito fotoelétrico foi um evento crucial para o desenvolvimento da física quântica e da compreensão da natureza dual das partículas e da luz. Possibilitou ainda, ampliar a investigação sobre os efeitos desse fenômeno em situações diversas. Dentre as várias aplicações cotidianas do efeito fotoelétrico, pode-se citar os resistores dependentes de luz (LDRs, do inglês *Light Dependent Resistor*) utilizados em televisões, as placas solares ou aparelhos de radiografia.

O tema é de extrema relevância para o desenvolvimento de tecnologias relacionadas à energia solar, detectores de luz, geração de imagens médicas. Pode-se dizer que ao compreender as ocorrências do fenômeno, será possível evidenciar a conexão da física com outras áreas do conhecimento, tecnologia e saúde, promovendo uma abordagem interdisciplinar e contextualizada, possibilitando que os estudantes tenham percepção da relevância e do impacto que o assunto causa em suas vidas.

O ensino do efeito fotoelétrico proporciona uma oportunidade para os alunos explorarem a interação entre a luz e a matéria, compreendendo conceitos sobre o que é um fóton, energia de um fóton e energia de ligação em nível microscópico. No contexto de ensino médio, o tema pode contribuir com a promoção da alfabetização científica dos discentes, capacitando-os a entender e analisar criticamente questões relacionadas à luz, energia e matéria. Ao ensinar o efeito fotoelétrico, os educadores podem conectar a física a outros campos de estudo, como tecnologia e saúde, proporcionando uma visão mais abrangente e multidisciplinar do conhecimento.

Tomando como base as escolas públicas voltadas para o Ensino Médio, podemos trabalhar com questões práticas como as relações entre a intensidade da luz, frequência e tensão elétrica. O caráter científico do tema, tem consigo a potencialidade de abrir portas para a

produção e análise de dados quantitativos, possibilitando aos discentes identificar, interpretar os dados obtidos e criar hipóteses sobre os resultados.

O efeito fotoelétrico é um tema dentro da Física Moderna que necessita de atenção especial, pois ele requer certo nível de abstração para o seu entendimento. Ao utilizarmos a prática de ensino investigativo e a SEI como proposta de ensino, pode-se promover uma mudança substantiva no ensino desse assunto ao proporcionar ao estudante a verificação experimental do efeito fotoelétrico e sua aplicação cotidiana, contribuindo para a compreensão concreta do fenômeno.

No contexto educacional, a utilização da abordagem do ensino investigativo pode contribuir para o efetivo desenvolvimento das relações de ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico. A abordagem pedagógica do ensino por investigação é baseada na compreensão de que os estudantes podem “[...] seguir alguns procedimentos como: analisar, manusear, realizar perguntas e solucionar problemas para um efetivo aprendizado.” (CHAGAS, MACHADO, 2021, p.4).

Ainda, segundo a BNCC (2018), os alunos do Ensino Médio deverão possuir a habilidade de compreender as aplicações de modelos com maiores níveis de abstração e relacionar a interação entre matéria e energia. Sendo o efeito fotoelétrico um assunto que trata diretamente como os elétrons constituintes da matéria reagem quando expostos a energia luminosa, sua compreensão é relevante e adequada a este nível de ensino.

Por fim, para a proposta de criação da SEI, é importante a realização de experimentos que façam com que os alunos interajam com o objeto de aprendizagem. Segundo Silva (2018, p. 21) “[...] o professor deve fornecer aos alunos conhecimentos científicos e/ou tecnológicos em relação a situação-problema.” Nesta visão, a criação de materiais alternativos de baixo custo atendem as premissas de uma SEI e podem expandir os laboratórios práticos para ambientes informais de aprendizagem.

Sendo assim, nesse trabalho construímos um produto de ensino, a saber, uma placa fotovoltaica e propomos a utilização da SEI como uma sugestão de desenvolvimento dos conceitos e aplicações do EFE, que podem ser obtidas através da placa.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.2. OBJETIVO GERAL**

- Fazer um estudo do EFE no contexto do EM, abordando conceitos, aplicações e estimulando o pensamento crítico dos estudantes.

### **2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudar o efeito fotoelétrico: teoria, experimentos, desenvolvimento histórico e suas aplicações tecnológicas;
- Explorar materiais de baixo custo para o ensino do efeito fotoelétrico;
- Elaborar uma proposta de sequência didática, baseada na SEI, para o ensino do efeito fotoelétrico, no contexto do Ensino Médio.

## **3. MARCO TEÓRICO**

### **3.1 Contextualização histórica do EFE**

Desde a época dos antigos gregos, considerados os pioneiros do pensamento filosófico, questionava-se qual a natureza da matéria e buscava-se teorias que amparassem a explicação de certos fenômenos. Desde Tales de Mileto (624-546 a.C.) até os dias atuais, o pensamento sobre o que compõe a matéria e qual a verdadeira natureza da luz, permeia a humanidade (FEULNER, 2010).

Tais indagações tiveram papel fundamental na construção do desenvolvimento científico e tecnológico do mundo em que vivemos. Os séculos XIX e XX foram períodos nos quais nos deparamos com o estudo de vários fenômenos físicos, como as ondas eletromagnéticas, a radiação de corpo negro e o efeito fotoelétrico. Estes fenômenos nos levaram a uma compreensão mais robusta do pensamento filosófico, matemático e epistemológico quanto ao estudo da Física.

Uma das primeiras observações do efeito fotoelétrico foi feita pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, em 1839. Ao Conduzir experimentos com placas metálicas de platina ou prata, submersas em um eletrólito, Becquerel constatou a existência de uma sutil diferença de potencial quando expostas à luz (TIRAPELLE, MURA, FRAZÃO, 2013). Segundo os mesmos autores, dois inventores dos Estados Unidos da América chamados, W. G. Adams e R. E. Day, em 1877, observaram as propriedades fotocondutoras do selênio, com isso

produziram o primeiro dispositivo capaz de produzir energia elétrica a partir da exposição à luz.

Dez anos após a criação dos inventores Adams e Day, o físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) conduziu experiências que consistiram na produção de ondas eletromagnéticas que, a posteriori, receberam o nome de micro-ondas ou ondas Hertzianas. Neste ponto, Hertz foi o primeiro a descrever que ao eletrizar uma esfera metálica negativamente e iluminá-la com luz ultravioleta, criavam-se centelhas com maior facilidade. Em 1888, o italiano Augusto Righi (1850-1920) foi quem observou com maior riqueza de detalhes o fenômeno e o nomeou como “efeito foto-elétrico” (BASSALO, 2019).

Através das contribuições dos cientistas citados anteriormente, no início do século XX o físico Philipp Eduard Anton von Lenard, assistente de Hertz, apresentou as leis que regem o funcionamento do efeito fotoelétrico:

- Os elétrons emitidos têm velocidades iniciais finitas, que são independentes da intensidade da luz incidente e dependem de sua frequência;
- O número total de elétrons emitidos é proporcional à intensidade da luz incidente.

Para analisar os postulados do efeito fotoelétrico sugeridos por Lenard, temos que a energia cinética de um elétron ejetado de um material é dada por:

$$K_{max} = eV_0 \quad (1.1)$$

sendo " $K_{max}$ " a energia cinética do elétron ejetado, " $e$ " a carga elementar do elétron e " $V_0$ " é o potencial de corte, ou seja, a energia cinética do elétron seria proporcional à frequência de corte.

Apesar da apresentação do fenômeno, juntamente de seus postulados, constatou-se a existência de um problema, uma vez que, tais fundamentos não concordavam com as leis do eletromagnetismo construídas por James Clark Maxwell. Segundo as hipóteses de Maxwell, quanto maior a radiação eletromagnética incidente em um material fotoelétrico, maior seria a velocidade do elétron arrancado e com isso ele concluía que seria necessário um tempo para que a radiação arrancasse elétrons do material (BASSALO, 2019)

Retornando poucos anos nesta linha cronológica, ao final do século XIX, em 1900, o cientista Max Karl Ernst Ludwig Planck, realizou trabalhos na tentativa de explicar o

fenômeno da radiação de corpo negro. Para isto, ele introduziu a ideia de *quanta* de oscilação na emissão de radiação de um corpo negro (SILVA, 2018).

A mudança trazida nos trabalhos de Planck relaciona-se a observação de que a energia dos osciladores não apresenta valores contínuos, como pensado até então, mas sim distribuída em pacotes discretos, ou seja, os *quanta* de energia, é dada pela relação:

$$E = hf \quad (1.2)$$

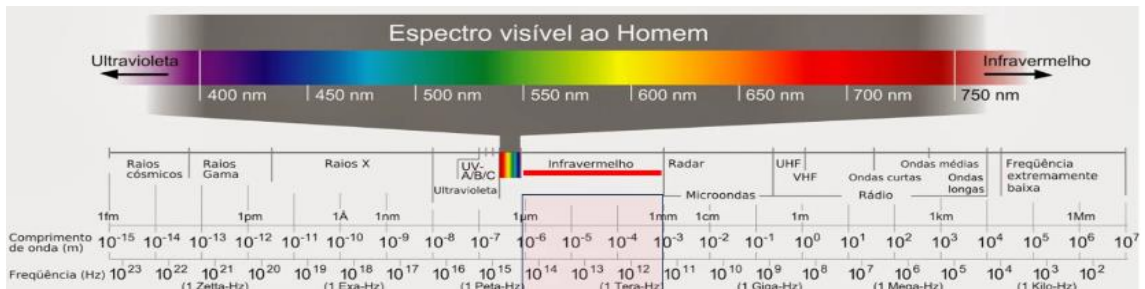
sendo " $E$ " a energia dos osciladores, " $h$ " a constante de Planck e " $f$ " a frequência da radiação eletromagnética.

A partir desse novo conceito introduzido por Planck, o físico Albert Einstein, explicou satisfatoriamente o fenômeno do efeito fotoelétrico, através da interpretação quântica da luz. Em seus estudos, ele propôs que a energia da radiação eletromagnética era concentrada em formas análogas a pacotes de energia, chamados fótons. Isto é, ele acreditava que a luz era composta pela junção de partículas luminosas na qual cada quantum de luz conserva a energia recebida de sua fonte geradora e a transmite no momento em que incidir sobre uma superfície (BASSALO, 2019, SILVA, 2018).

A energia eletromagnética carregada pelo fóton pode ser absorvida pela matéria e está intimamente atrelada à frequência da onda associada a esse fóton. Assim, quanto maior a frequência de um fóton, maior será sua energia, quanto maior for o comprimento de onda do fóton, menor será sua energia (FONSECA, 2024).

A luz branca, ou também conhecida como luz visível, está na região do espectro eletromagnético compreendida entre os comprimentos de onda de 400 a 700 nm (Fig.1). Em uma ponta do espectro visível temos a luz violeta, cujo comprimento de onda está na faixa de 400nm e por isso possui a maior energia dentro da luz branca. Em contra partida, temos na outra ponta do espectro a luz vermelha, que possui a menor energia devido ao seu comprimento de onda, que se situa próximo a 700 nm.

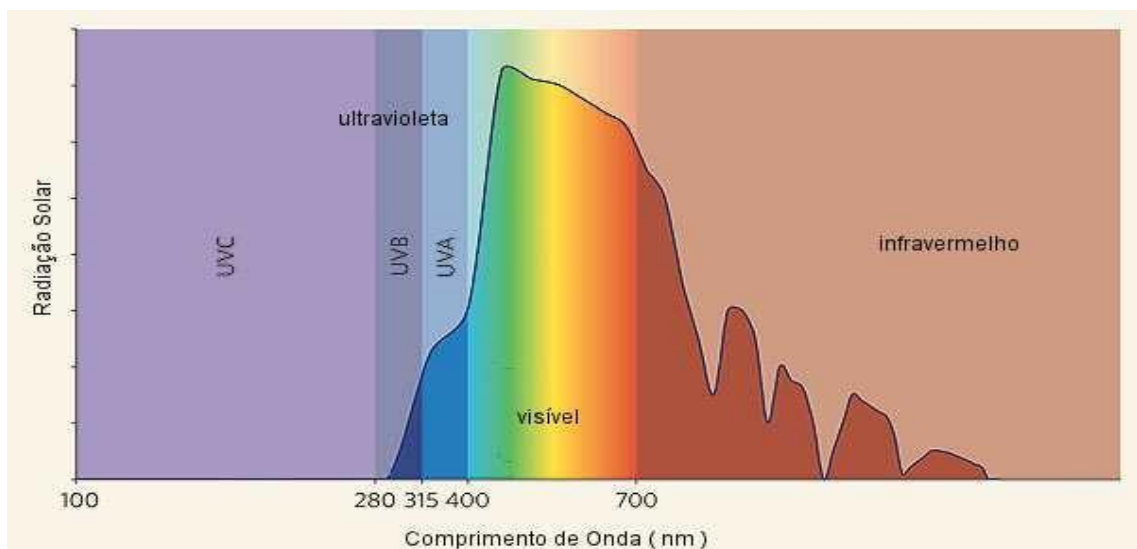
Figura 1: Espectro eletromagnético.



Fonte: FONSECA, 2024.

Einstein concluiu que, para o efeito fotoelétrico, não importava a intensidade luminosa da luz, mas sim a frequência da mesma. Ou seja, a intensidade luminosa pode ser entendida como a quantidade de fótons que determinada fonte luminosa emite, enquanto a frequência é uma característica individual de fótons isolados. Na Figura 2 vemos o espectro de emissão do Sol na faixa do visível, o que permite correlacionar a ideia de intensidade e frequência.

Figura 2: Espectro de emissão do Sol.



Fonte: GIANELLI, JUNIOR, 2009.

Vemos que o Sol emite em todas as frequências do visível (o que caracteriza sua luz como luz branca) e cada frequência tem uma intensidade característica, onde o máximo da emissão está na faixa do verde, desconsiderando efeitos atmosféricos.

Dito isso, Einstein, resumiu os resultados dos experimentos do efeito fotoelétrico na equação:

$$hf = K_{max} + \phi \quad (1.3)$$

dos quais " $\phi$ " é a função trabalho, ou seja, a energia mínima necessária para se arrancar elétrons de um material, " $h$ " a constante de Planck, " $f$ " a frequência da luz e " $K_{max}$ " a energia cinética na qual o elétron é ejetado.

### 3.2. A Física presente nos semicondutores

Na atualidade, estamos cercados por dispositivos eletrônicos que tem como princípio de funcionamento o efeito fotoelétrico, televisões, alarmes, sistemas de iluminação, dentre outros.

Ao final do século do século XIX, o efeito fotoelétrico era observável por equipamentos robustos de uso laboratorial, mas nos dias de hoje, é possível observar o fenômeno com o auxílio de semicondutores.

Os dispositivos conhecidos como semicondutores possuem uma característica peculiar, pois podemos moldar sua aplicabilidade apenas alterando uma diferença de potencial em seus terminais, transformando-o em um isolante ou em um condutor.

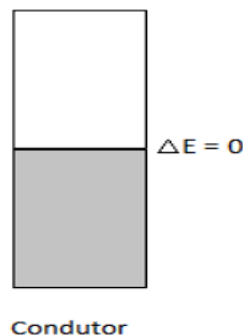
Para que possamos utilizar esta propriedade intrínseca dos semicondutores, vamos compreender como se dá a estrutura de bandas de um isolante de um condutor.

Figura 3: Estrutura da banda de um isolante elétrico.



Um material categorizado como um isolante elétrico é aquele que não conduz eletricidade. Ao analisarmos a Figura 3, observasse a estrutura de bandas de um material isolante, e com isso, concluir que para retirar um elétron desse material, necessitaremos de uma alta energia, já que a banda de maior energia está totalmente ocupada, tornando o processo de condução elétrica extremamente difícil, já que, para ocorrer a condução elétrica, faz-se necessário transpor o *Gap* de energia dessa estrutura (HALLIDAY, RESNICK, 2016).

Figura 4: Estrutura da banda de um condutor elétrico.

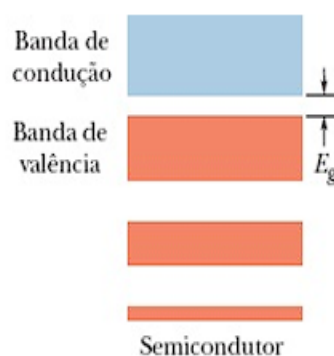


Fonte: Koga, 2019.

Quanto ao material condutor, pode-se dizer que este possui o nível de energia mais alto perto de um possível estado a ser ocupado pelo elétron, logo seu *Gap* de energia é nulo, com isso, possibilitando o fluxo de elétrons (HALLIDAY, RESNICK, 2016).

Ao analisarmos a estrutura de bandas de um material semicondutor, ela se assemelha bastante a de um isolante, porém, com um *gap* de energia menor. Uma característica apresentada por estes componentes, devido ao seu baixo *gap*, é o fato da possibilidade de ocorrer algumas transições eletrônicas apenas com o aumento do grau de agitação térmica (HALLIDAY, RESNICK, 2016).

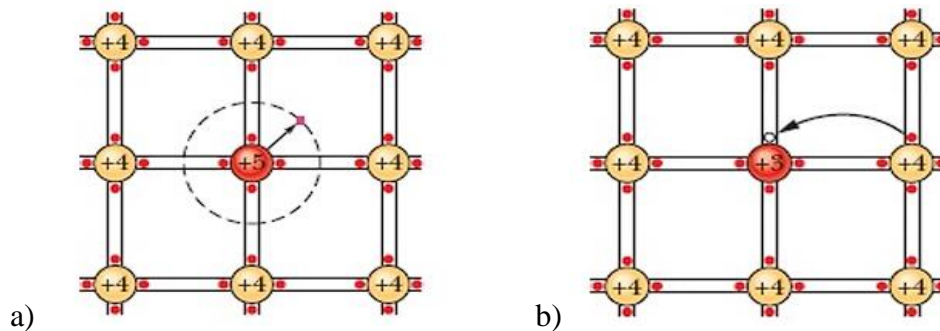
Figura 5: Estrutura da banda de um semicondutor.



Fonte: HALLIDAY, RESNICK, 2016.

O semicondutor como o conhecemos passa por um processo conhecido como dopagem. Este processo ocorre de forma que, é adicionada uma impureza (um átomo de outro elemento químico) no material constituinte do semicondutor. Ao realizar este processo, obtemos dois tipos de dopagem, tipo “p” e tipo “n”. No processo de dopagem de tipo n, adiciona-se uma impureza que possui um elétron a mais que o semicondutor em sua camada de valência. Para o processo de dopagem do tipo p, é adicionado uma impureza que possua um elétron a menos que o semicondutor em sua camada de valência (YOUNG, FREEDMAM, 2009).

Figura 6: a) representação da estrutura atômica de uma dopagem tipo n.  
b) representação da estrutura atômica de uma dopagem tipo p.



Fonte: HALIDAY, RESNICK, 2016.

Para a análise do processo de dopagem, como forma de facilitar a comunicação, utilizamos termos como impureza aceitadora e impureza doadora. Ao adotarmos tais terminologias estaremos nos referindo as ligações do tipo p e tipo n, respectivamente.

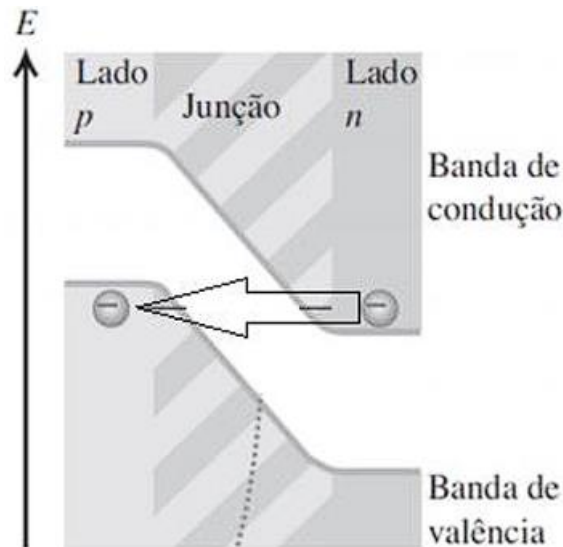
Atualmente, os semicondutores que utilizamos, em sua grande maioria, utilizam a ligação do tipo junção p-n. Este processo é a junção, de maneira geral, de uma placa tipo p com uma placa tipo n, uma à outra, fazendo com que a transição dos elétrons ocorra de forma instantânea. (HALLIDAY, RESNICK, 2016).

### 3.3 LED e o LDR

O LED (Diodo Emissor de Luz), da sigla em inglês *Light-Emitting Diode*, é um diodo semicondutor que possui junção p-n, que ao aplicar uma diferença de potencial em seus terminais, com a polaridade correta, ocorre um grande número de recombinações dos níveis ocupados pelos elétrons do material, acarretando na emissão de luz pelo mesmo (YOUNG & FREEDMAM, 2009; HALLIDAY, RESNICK, 2016).

Devido a este tipo de dopagem, para o LED, podemos realizar o processo inverso dentro do material, ou seja, ao incidirmos luz no LED, poderemos realizar medições de tensão e corrente elétrica.

Figura 7: Recombinação da junção p-n.



Fonte: YOUNG, FREEDMAM, 2009.

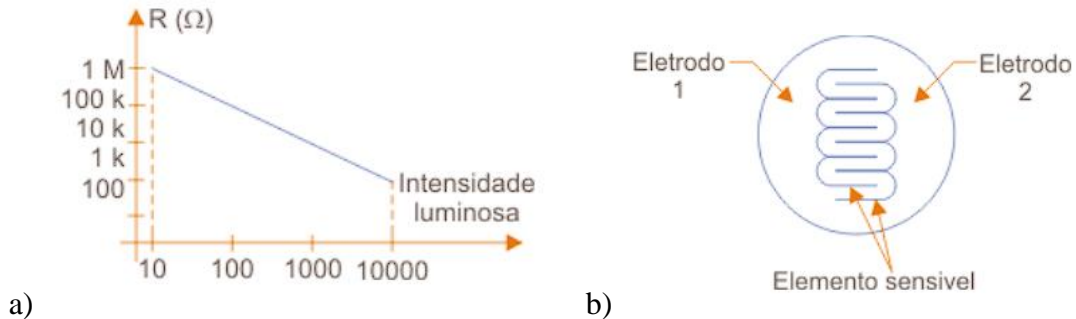
O produto educacional proposto neste trabalho, sugere a construção de um circuito misto que utilizará estes conceitos para simular o princípio de funcionamento de uma placa fotovoltaica, e com isso, iremos medir a tensão elétrica advinda das recombinações realizadas pelos elétrons.

Outro componente que irá ser utilizado na construção do produto educacional é o sensor foto resistivo (LDR) A construção deste componente, de maneira geral é realizada utilizando sulfeto de Cádmio (CdS) ou sulfeto de Chumbo (PbS). Pode-se analisar esse dispositivo como um tipo de resistor variável, no qual sua resistência varia de acordo com a incidência de luz sobre sua superfície (Fig. 8-b) (BRAGA, 2013).

O funcionamento deste componente é descrito da seguinte forma, sua superfície é formada por uma substância chamada Arsenieto de Gálio (GaAs), que é o elemento responsável pela alteração da resistência ao momento de incidência luminosa. No momento em que os fótons incidem no material, são liberados elétrons, aumentando e diminuindo sua resistência. Quanto mais elétrons livres no material, menor será sua resistência. Essa variação resistiva depende, diretamente, da área iluminada no material e da superfície de contato do componente, como ilustrado na figura 8-a (BRAGA, 2013).

Figura 8: a) Resistência ( $\Omega$ ) X Intensidade luminosa.

b) Elementos visuais de um LDR.



Fonte: BRAGA, 2022.

O LDR se apresenta como um bom material de estudo para o efeito fotoelétrico, uma vez que podemos observar essa relação direta entre a resistência em função da intensidade luminosa.

Os LDRs, apesar de serem componentes sensíveis à luz, não devem ser confundidos com as fotocélulas, ou seja, não são capazes de agir diretamente no funcionamento de um circuito elétrico em função da frequência da luz incidente. Enquanto os LDRs funcionam como resistores, cuja resistência depende da intensidade luminosa incidente no dispositivo, as fotocélulas possuem o caráter de converter energia luminosa em energia elétrica.

Atualmente, os componentes LED e LDR estão presentes em diferentes componentes eletrônicos e possuem aplicações variadas como em *displays*, acionamento de relés, sistemas de iluminação, compressores de áudio, dentre outros.

### 3.4.Prática de ensino tradicional X Sequência de Ensino Investigativo

O ensino de ciências em escolas públicas utilizando-se da metodologia tradicional, de forma dominante, tem sido alvo de críticas. Alguns professores de Física adotam posturas de ensino que exigem do discente tamanha atenção para as explicações abarrotadas de teorias, equações e leis, esperando que os estudantes apropriem de maneira quase imediata, do conteúdo trabalhado (STROUPE, 2014). Sendo assim, podemos ressaltar que “a metodologia seguida por uma parcela, significativa, de professores ainda é tradicional” (KESSLER, 2008, p.15). É possível promover o ensino do campo de conhecimento da Física de maneira mais tangível ao cotidiano dos alunos ao invés de trabalhar exclusivamente com equações, números e teorias.

O ensino da Física pode proporcionar aos alunos maneiras de significar o mundo e o contexto em que eles estão inseridos. A figura do professor como mediador do conhecimento guia o estudante na estruturação de hipóteses que podem motivá-lo a buscar mais saberes do mundo. Segundo Júnior e Coelho (2020, p. 52):

“Uma das consequências desse ensino diretivo e descontextualizado é que, no ensino de Física, os alunos ainda carregam a visão de que ela se resume a um conjunto de leis e fórmulas acabadas, apresentadas pelo professor e que devem ser decoradas para a resolução de exercícios. [...]”

Os mesmos autores também defendem que atividades correntes de sala de aula podem se transformar em atividades investigativas, dependendo apenas da abordagem com que o docente trata do assunto. O professor, por consequência, passa a ser o agente que se preocupa com liberdade intelectual dos estudantes, motivando-os a elaborar perguntas e construir hipóteses para a situação problema apresentada.

O ensino por investigação é uma abordagem prática que tem como objetivos reforçar conceitos e desenvolver habilidades. Campos e Sena (2020) defendem o ensino investigativo a partir da escola básica, já que o caráter pedagógico do mesmo tem o potencial de preparar intelectualmente o aluno para as reflexões e as abstrações envolvidas no ramo das ciências.

Segundo Carvalho (2012, p.6) “[...] é importante ter claro que não existe pretensão de dizer que os alunos vão pensar ou se comportar como cientistas, pois eles não têm nem idade, nem conhecimentos específicos [...]”. Tomando como base o autor citado, espera-se criar um ambiente propício para o letramento acadêmico dos discentes, tendo o professor o papel de mediador do conteúdo.

Podemos dizer que o discente, ao compreender as implicações, aplicações e as abstrações do efeito fotoelétrico estará atendendo às exigências do currículo (BNCC). Tais exigências, requerem que os envolvidos no processo de ensino e aprendizado do Ensino Básico necessitam compreender a “[...] aplicação de modelos com maior nível de abstração e que buscam explicar, analisar e prever os efeitos das interações e relações entre matéria e energia ([...] comportamento dos elétrons frente à absorção de energia [...])” (BNCC, 2018, p.549). A utilização da SEI, nesse contexto, possibilita que essa tarefa seja realizada de forma mais palpável.

#### 4. METODOLOGIA

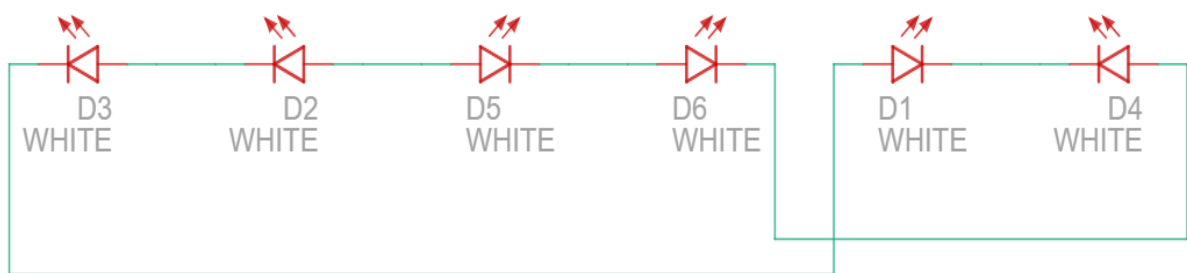
Quanto a abordagem dos problemas, o presente trabalho possui caráter qualitativo, pois busca-se analisar a realidade e as aplicações dos fenômenos no contexto em que o sujeito está inserido. Neste modelo de abordagem, a interpretação é realizada de forma básica e a visão que os indivíduos tem do mundo é o ponto chave para sua caracterização (TUANI *et al*, 2016).

Ao delimitarmos o procedimento técnico utilizado, e tomando como base a autora citada anteriormente, o presente trabalho também possui caráter de pesquisa bibliográfica, pois foi construído a partir de materiais disponíveis na internet, livros e artigos periódicos.

A presente proposta de trabalho utiliza-se da construção de uma placa de circuito com componentes eletrônicos para mostrar a aplicação do efeito fotoelétrico. Além disso sugerimos a abordagem investigativa com base na Sequência de Ensino Investigativo (SEI), que tem como objetivo fazer com que o professor seja o mediador do conhecimento e figure como um agente motivador à pesquisa e elaboração de conceitos e abstrações (SASSERON, 2015 *apud* COELHO e JÚNIOR, 2020; CHAGAS e MACHADO, 2021.).

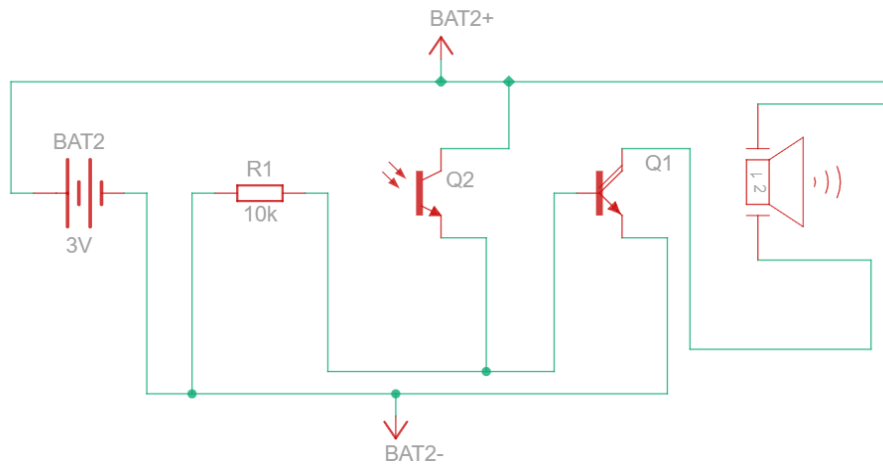
Para a construção do produto educacional sugerido neste trabalho, é imprescindível seguir o passo a passo detalhado na elaboração demonstrada pelos circuitos das figuras 9 e 10. Essas figuras fornecem um guia visual e técnico essencial, que garante a correta montagem e funcionamento do produto.

Figura 9: Diagrama unifilar placa fotoelétrica.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

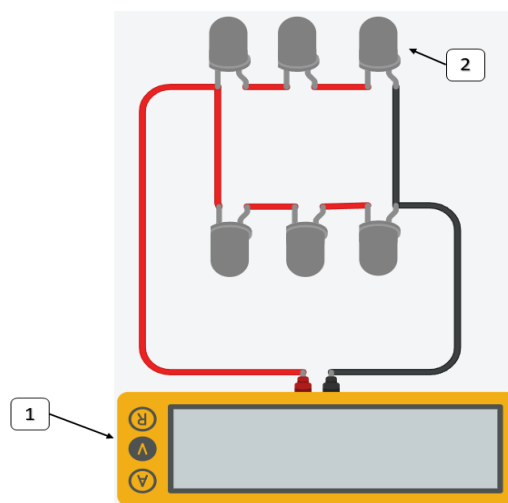
Figura 10: Diagrama unifilar placa de intensidade luminosa.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para fins práticos, também é possível seguir o passo a passo de construção das placas através do diagrama funcional apresentado nas figuras 11 e 12. A utilização dos diagramas funcionais facilita a compreensão das conexões e do funcionamento dos circuitos, oferecendo uma orientação complementar que pode ser muito útil para garantir a correta execução do projeto.

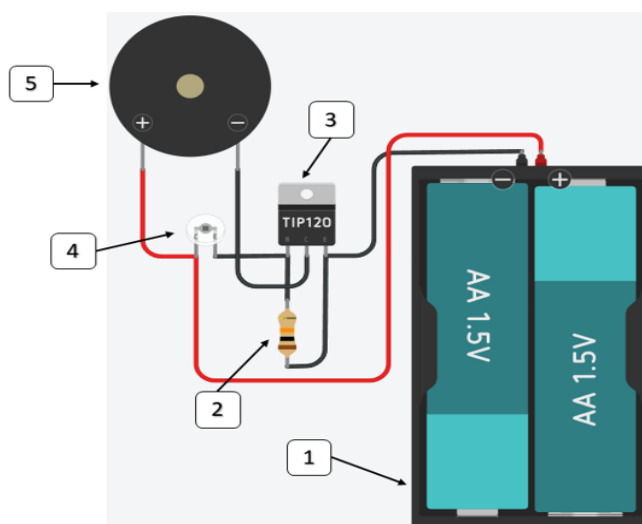
Figura 11: Diagrama funcional placa fotoelétrica.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

De acordo com a Figura 11, o elemento identificado pelo número 1 simboliza o voltímetro, que é utilizado para medir a tensão gerada pela placa quando exposta à luz solar. Já o elemento indicado pelo número 2 representa o LED de alto brilho de cor branca, que pode ser utilizado para demonstrar a conversão da energia luminosa em energia elétrica.

Figura 12: Diagrama funcional placa de intensidade luminosa.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Conforme a Figura 12, o elemento sinalizado pelo número 1 representa o conjunto de pilhas, responsável por fornecer energia ao circuito. O elemento identificado pelo número 2 corresponde ao resistor de  $10k\Omega$ , que limita a corrente no circuito. O número 3 simboliza o circuito integrado (C.I.) TIP120, um transistor utilizado para amplificação ou comutação. O elemento assinalado pelo número 4 representa o LDR, que varia sua resistência com a intensidade da luz. Por fim, o número 5 indica o buzzer, que emite um som quando ativado, servindo como indicador sonoro no circuito.

Uma observação importante a ser feita é a utilização de um circuito integrado (C.I.) TIP122 no produto educacional, conforme representado na figura 12. O AUTODESK: Tinkercad (2024), programa utilizado para a geração das imagens ilustrativas (Figs. 9, 10, 11, 12), não oferece a opção de utilizar o C.I. TIP122 especificamente, razão pela qual foi representado com o TIP120. No entanto, ambos os circuitos integrados possuem a mesma construção e podem ser utilizados de forma intercambiável no circuito, desempenhando as mesmas funções com eficiência. Os materiais utilizados para a construção do produto educacional encontram-se presentes na tabela 1 juntamente com o valor unitário de cada componente utilizado.

Tabela 1: Materiais utilizados e custo.

COMPONENTES	QUANTIDADE	Preço unitário (R\$)
Transistor (TIP122)	1	3,50
LDR	1	0,60
Resistor (10k $\Omega$ )	1	0,42
Buzzer	1	2,17
Pilha (AA)	2	1,50
LED (alto brilho)	6	0,50
Multímetro	1	15,80

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O custo total para a criação de ambos os circuitos foi de R\$ 28,49, desconsiderando o custo do frete, na data de 13/10/2023, em sites da internet.

A metodologia de ensino por investigação utiliza-se de uma SEI, que segundo Chagas e Machado (2014, p.3) consiste em “[...] uma sucessão de atividades planejadas e trabalhadas por meio de uma investigação, buscando a relação de conceitos com atividades experimentais ou simulações [...]”. A SEI teve seu ponta pé inicial no século XIX com base nas ideias de John Dewey, que criticava a forma como o ensino de ciências da época era defasado, repetitivo e não despertava a curiosidade dos discentes pelo ensino (CHAGAS, MACHADO, 2021). O ensino por investigação não pode ser desvincilhado da vida prática dos estudantes e deve ter como fundamento as experiências trazidas por esses sujeitos, identificando problemas ou situações apontadas (CHAGAS, MACHADO, 2021 *apud* DEWEY, 1980).

Os autores Chagas e Machado (2021 *apud* Azevedo, 2009; Carvalho, 2014; Carvalho, 2016) descrevem que para a construção de uma SEI deve-se contar com as seguintes etapas:

- a) questões abertas (argumentação);
- b) problemas abertos (matematização);
- c) textos históricos ou leitura de textos;
- d) demonstração investigativa;
- e) laboratório aberto;
- f) sistematização do conhecimento;
- g) avaliação.

Com a aplicação de uma SEI, poderemos promover o ensino de Física por meio de atividades práticas e experimentais, valorizando a interação ativa dos discentes com o objeto de aprendizagem, de modo a contribuir para um processo de ensino-aprendizagem que leva em consideração os conhecimentos dos estudantes. Este é o ponto de inflexão entre a metodologia tradicional e a metodologia de ensino investigativo.

Utilizando como base os autores Campos e Sena (2020, p. 1472) “[...] o ensino por investigação é uma abordagem didática que modela o ensino das ciências através de atividades práticas de acordo com as etapas do método científico.”. Podemos dizer que a abordagem investigativa pressupõe uma metodologia de trabalho dependente de métodos específicos para alcançarmos sua efetivação.

Sobre a prática do ensino investigativo Campos e Sena (2020, p. 1473. *apud* FERREIRA, HARTWIG e OLIVEIRA, 2010) argumentam:

[...] estamos diante de uma atividade de investigação se respondermos positivamente a cada uma das questões que segue: a atividade A1) – está voltada para a solução de uma questão-problema?; A2) – leva o aluno a formular hipóteses?; A3) – permite a coleta e análise de dados pelo aluno?; A4) – encoraja os alunos a formular explicações por meio de evidências?; A5) – permite a comparação das soluções propostas com várias outras?; e, A6) – propicia a discussão de resultados com os demais colegas e professor?

Para que haja de fato uma abordagem de ensino investigativo, Campos e Sena (2020) defendem a ideia de que tal metodologia de ensino deve partir inicialmente de situações problemas contextualizadas. E assim, caso atendidas todas as etapas levantadas pelos autores, estaremos contribuindo para a construção de uma abordagem investigativa para o ensino de Física nas escolas públicas.

Tomando como base os trabalhos dos autores Santos (2016), Coelho e Júnior (2020), Silva (2018), a elaboração da sequência didática contará com a confecção de materiais didáticos de baixo custo (placa fotovoltaica).

Pretende-se a elaboração de uma sequência didática dividida em três etapas, que serão distribuídas em 3 aulas.

**ETAPA 1:** Organização dos conteúdos, identificando os conceitos chave do efeito fotoelétrico e suas aplicações tecnológicas, através de textos ou diálogos motivadores.

**ETAPA 2:** Implementação dos materiais de baixo custo que serão utilizados para a produção de objetos de aprendizagem da SEI proposta, a saber dois circuitos que envolvam componentes eletrônicos relacionados ao efeito fotoelétrico. A partir disto, espera-se que os discentes possam realizar perguntas e elaborar possíveis respostas pela interação com o objeto de aprendizagem construído.

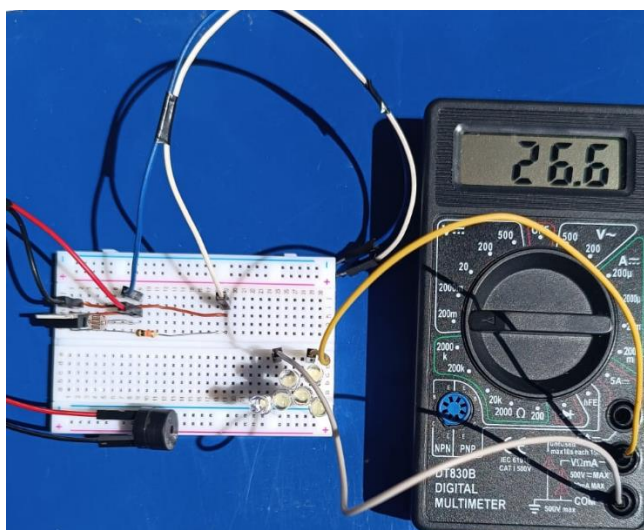
**ETAPA 3:** Aplicação de avaliação para compreender se de fato o conteúdo foi efetivado.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a construção do produto educacional proposto, foram utilizados diversos materiais essenciais, cada com um custo associado e presente na tabela 1. O investimento realizado na compra dos materiais foi meticulosamente pensado para garantir a qualidade da produção do recurso educacional e buscando atender às expectativas de aprendizagem.

Seguindo os modelos de diagramas (Figs 9,10,11,12), foi possível a construção do produto proposto. Nomearemos esse produto de placa fotovoltaica, a qual é composta por dois sub produtos, a placa fotoelétrica (diagramas das figuras 9 e 11) e a placa de intensidade luminosa (diagrama das figuras 10 e 12). O mesmo se encontra representado pela figura 13.

Figura 13: Placa fotovoltaica.

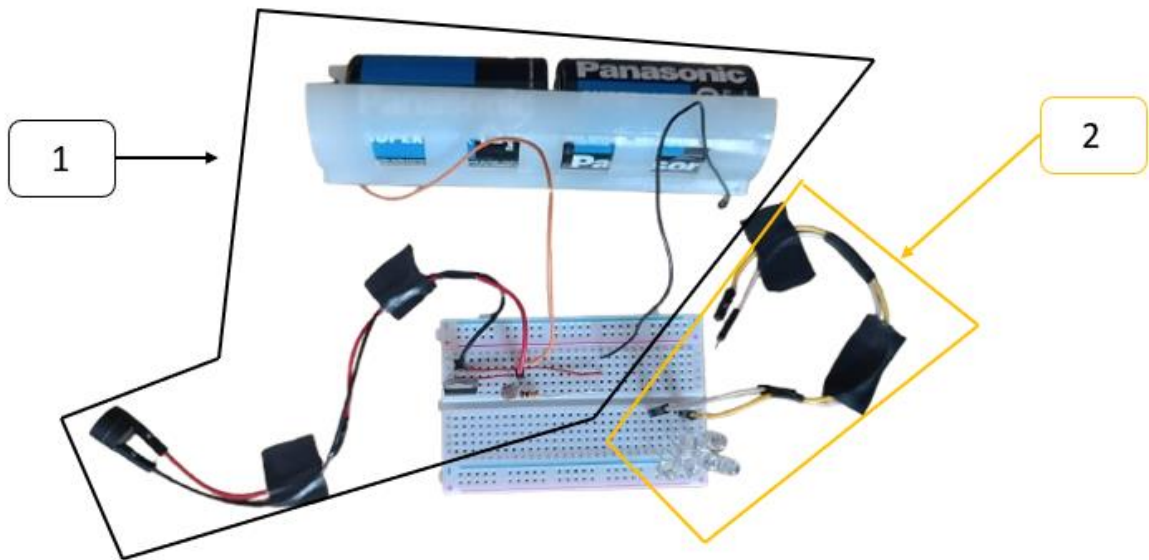


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Na Figura 13, pode-se observar a utilização de uma protoboard, que não está listada na tabela de custos para a execução do produto educacional. A inclusão deste componente no projeto ocorreu por razões práticas, uma vez que, após uma utilização da placa fotovoltaica seus componentes podem ser utilizados em outras montagens. Além disso, a protoboard não é essencial para a montagem e testes do produto educacional, a mesma apenas facilita a conexão e o rearranjo dos componentes sem a necessidade de soldagem. Devido a essas motivações, seu custo não foi incluído no orçamento total necessário para a construção do produto.

A título de apresentação dos subprodutos que compõem a placa fotovoltaica, foi construída a figura 14.

Figura 14: Subprodutos placa foto voltaica.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Na última figura citada, na região destacada em cor preto, simbolizada pelo número 1, encontra-se o circuito de intensidade luminosa. Enquanto que, na região destacada pela cor amarelo, simbolizada pelo número 2, encontra-se a placa fotoelétrica.

Para verificar a eficácia da placa fotovoltaica foram realizadas medições de tensão elétrica para os dois sub produtos e em diferentes condições climáticas e de horário.

A coleta dos dados experimentais foi realizada no período compreendido entre 13h e 17h do dia 10/08/2024, permitindo a elaboração da tabela 2 que apresenta as tensões elétricas geradas pela placa fotoelétrica construída. Esses dados são fundamentais para a análise do desempenho do dispositivo, fornecendo uma base para a validação do funcionamento da placa sob diferentes condições de iluminação.

Tabela 2: Tensões placa fotoelétrica.

HORÁRIO	TENSÃO ELÉTRICA (mV)
13:10	11.3
13:44	2.3
14:19	4.7
15:20	4.2
16:15	0.4
16:56	0.2

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Os resultados obtidos mostram uma grande variação e não seguem um padrão aparente, o que pode ser atribuído à variação da incidência solar no local das aferições. No dia da coleta de dados o céu apresentava-se coberto por nuvens e ao longo do dia a quantidade de nuvens aumentou, reduzindo drasticamente os valores obtidos. Além disso, podemos observar que os últimos dados coletados próximo ao pôr do Sol mostram uma drástica queda no valor da tensão elétrica, visto que há uma queda acentuada na iluminação a partir desse horário. No entanto, para fins didáticos, esses resultados são satisfatórios, pois demonstram o pleno funcionamento do equipamento.

Cabe ressaltar que a figura 13, apresenta valor de tensão elétrica que não constam na tabela 2. Isso se deu devido ao fato de que as medidas realizadas foram em datas distintas. Na data da elaboração da tabela, a incidência solar no local das medições era baixa, resultando nas medidas evidenciadas. Na data da criação da figura 13, a incidência solar no local de medição foi significativamente maior, gerando tensões elétricas de até  $50mV$ .

Em outro momento, outra medição foi realizada, agora no período da manhã, compreendido entre 8h e 10h, do dia 20/08/2024. No dia em questão, havia uma maior intensidade luminosa, gerando tensões elétricas maiores do que aquelas medidas anteriormente. Os resultados de tais medições se encontram na tabela 3.

Tabela 3: Medições de tensão placa fotoelétrica.

HORÁRIO	TENSÃO ELÉTRICA ( $mV$ )
8:00	34,0
8:17	30,8
8:25	25,4
9:30	14,0
10:00	23,5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Os resultados obtidos experimentalmente são relativamente mais próximos uns aos outros devido ao fato de que no dia das medições o céu se encontrava límpido e sem nuvens, permitindo obter tais resultados.

Aproveitando a alta incidência solar, foram realizadas medidas nesse mesmo período de tempo citado anteriormente, mas dessa vez alterando o ângulo de incidência solar sob os LED's da placa fotoelétrica. Sendo assim, encontramos valores maiores de tensões elétricas, levando o produto educacional ao seu limite. Os resultados de tal processo se encontram na tabela 4.

Tabela 4: Medidas com alteração de ângulo.

HORÁRIO	TENSÃO ELÉTRICA (mV)
8:00	68,7
8:17	115,4
8:25	133,7
9:30	122,5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Essa diferença entre os valores obtidos em relação a mudança do ângulo de incidência solar se dá devido a construção do LED, onde os dispositivos semicondutores possuem um alinhamento próprio que obtém uma máxima absorção de luz quando colocados perpendicularmente a incidência dos raios solares.

Para demonstrar a eficácia da placa de intensidade luminosa, também foram realizadas algumas medidas. O processo de execução das aferições foi realizado com uma fonte luminosa constante, um LED de celular, posicionada a diferentes alturas. Com isso, obtivemos os resultados na tabela 5.

Tabela 5: Tensões placa de intensidade luminosa.

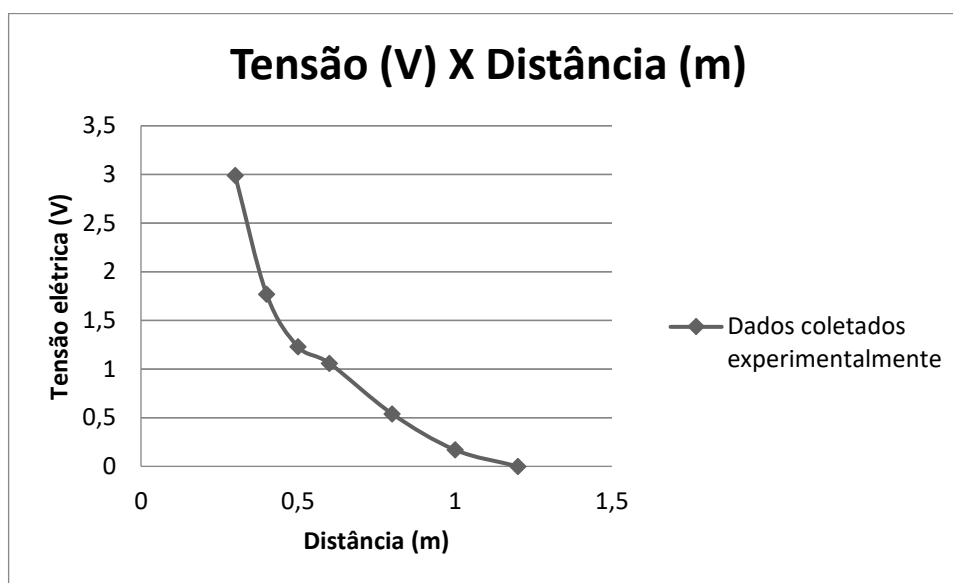
ALTURA (m)	TENSÃO ELÉTRICA (V)
1,20	0,00
1,00	0,17
0,80	0,54
0,60	1,06
0,50	1,23
0,40	1,77
0,30	2,99

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

O conjunto de pilhas utilizado na placa de intensidade luminosa fornece uma tensão total de 3V para o circuito, quantidade suficiente para o acionamento do buzzer. Como visto, o LDR possui a característica de diminuição de sua resistência, diretamente proporcional a intensidade luminosa, o que pode ser observado pelo aumento da tensão na tabela 5.

Existe uma correlação entre a altura em que a fonte de iluminação se encontrava do LDR e a tensão medida no buzzer, sendo que, quanto mais perto o LED do celular se encontrava do LDR, maior era a tensão medida no multímetro. Isso se dá, pois a intensidade luminosa é uma razão entre o número de fótons e a área da superfície iluminada, e quanto menor for a altura em relação ao LDR, menor será a área iluminada pela mesma quantidade de fótons, como observado na figura 15.

Figura 15: Gráfico Tensão (V) X Distância (m)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Com base nos resultados coletados, pode-se afirmar que a placa fotoelétrica tem potencial para ser utilizado nos turnos da manhã e da tarde, quando a intensidade luminosa é mais acentuada. Nessas condições, a placa fotoelétrica opera de forma mais eficiente, permitindo uma observação clara do EFE. No entanto, a utilização desse sub produto no programa de Educação de Jovens e Adultos (EJA) pode não ser tão eficaz, visto que as aulas geralmente ocorrem no período noturno, quando a medição das tensões geradas pela placa será mais baixa, como evidenciado pelos últimos dados da tabela 2. Isso pode dificultar a observação e a compreensão do fenômeno, comprometendo a eficácia desse recurso didático nesse contexto.

Como contramedida, pode-se utilizar a placa de intensidade luminosa, que inclui a construção com o LDR. Nesse modelo, a sensibilidade à luz é ajustada de forma a melhorar a captação da luminosidade ambiente, tornando o dispositivo extremamente eficaz para uso no programa EJA. Com essa configuração, mesmo em condições de menor intensidade luminosa, como a noite, o equipamento poderá funcionar adequadamente, permitindo a observação clara dos fenômenos e garantindo uma experiência didática enriquecedora para os alunos, ressaltando que a mesma não opera a partir do EFE.

Visando integrar a utilização da placa fotovoltaica construída com os fundamentos da SEI, a construção da sequência didática proposta, parte da adaptação dos trabalhos de Gomes

e Santos (2021), que se baseiam em três momentos pedagógicos, sendo estes a problematização, organização do conhecimento e avaliação.

Na primeira etapa sugere-se a utilização de uma questão problema como introdução à aula e posteriormente a utilização de um texto motivador ao entendimento do assunto, no caso o EFE. Como exemplo, pode-se questionar os estudantes da seguinte forma "Você já se perguntou como os painéis solares transformam a luz do Sol em eletricidade?". Após a discussão das possíveis respostas, pode-se utilizar o texto motivador presente no apêndice A. Este texto motivador foi construído pelo autor desse trabalho utilizando os conceitos e aplicações relacionadas ao EFE contidas no livro Haliday (2016) e no trabalho de conclusão de curso do autor Silva (2000).

Após a leitura do texto, é importante estimular os estudantes a refletirem sobre o conteúdo e formularem hipóteses que possam justificar o EFE. Esse momento é de extrema relevância para o engajamento dos estudantes no processo investigativo, incentivando-os a explorar e entender os princípios científicos que sustentam o funcionamento dos painéis solares (CHAGAS, MACHADO, 2021).

Para a segunda etapa, recomenda-se a utilização do produto educacional, a placa fotovoltaica. Nesse momento, sugere-se que as hipóteses previamente levantadas pelos alunos sejam recapituladas, e em sequência apresente-se o produto educacional que deverá ser construído previamente à aula. Após essa recapitulação, os estudantes serão incentivados a testar suas hipóteses utilizando a placa fotovoltaica, permitindo-lhes, na medida do possível, realizar a coleta de dados experimentais.

Durante essa atividade, os discentes terão a oportunidade de observar como suas hipóteses se comportam mediante os experimentos realizados, proporcionando uma experiência prática que reforça o aprendizado teórico. A segunda etapa é fundamental para o prosseguimento da sequência proposta, uma vez que os discentes poderão coletar e analisar dados, formular hipóteses e realizar comparações entre as hipóteses dos colegas, conforme os trabalhos de (CAMPOS, SENA, 2020).

Para concluir essa etapa, é essencial apresentar os conceitos chave do EFE, como as equações que descrevem o fenômeno enfatizando o cálculo da energia do fóton (eq. 1.2). Essa abordagem ajudará os alunos a consolidar o conhecimento adquirido, compreendendo como a teoria se aplica na prática e como os fenômenos observados podem ser explicados

cientificamente. Essa também é uma etapa crucial para a continuidade da SEI e para a avaliação da próxima etapa.

Na terceira e última etapa, será o momento de avaliar os conceitos trabalhados ao longo das atividades. Para isso, é proposto que o professor solicite aos alunos a redação de um texto reflexivo, no qual eles deverão relatar suas hipóteses iniciais, descrever o teste realizado com a placa fotovoltaica, e analisar se as hipóteses iniciais convergem ou não com os conceitos do EFE discutidos em aula.

Essa atividade de escrita contribuirá para a consolidação do conhecimento dos alunos, permitindo-lhes expressar seu entendimento do EFE. A comparação entre as hipóteses iniciais e os resultados obtidos tem o potencial de promover uma compreensão mais profunda dos conceitos, além de desenvolver habilidades críticas e argumentativas, essenciais para o aprendizado científico (CHAGAS, MACHADO, 2021).

A estruturação das atividades em etapas progressivas, iniciando pela problematização, passando pela organização do conhecimento e culminando com uma avaliação reflexiva, se mostra como um bom recurso pedagógico.

Inicialmente, os alunos são desafiados a refletir sobre uma questão problema, incentivando o levantamento de hipóteses e promovendo o engajamento. Na etapa de experimentação, a interação prática com a placa fotovoltaica permite que os discentes testem suas hipóteses, observem fenômenos físicos e coletem dados experimentais. Esse processo de investigação prática tem o potencial de consolidar a compreensão dos conceitos teóricos, mas também desenvolver habilidades como a análise crítica e o pensamento científico.

A última etapa, dedicada à reflexão e à construção de um texto argumentativo, é um momento essencial para a construção do conhecimento. Ao compararem suas hipóteses iniciais com os resultados experimentais, os alunos são levados a compreender como a ciência opera na prática, fortalecendo a capacidade de elaborar conclusões fundamentadas e de argumentar com base em evidências. Essa abordagem promove uma aprendizagem significativa, pois conecta o aprendizado à prática.

## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho reforça a importância de uma abordagem prática integrada ao ensino do EFE no contexto do Ensino Médio. Ao longo de todo o estudo, foi possível compreender os conceitos teóricos que estão por trás do EFE, ampliar o entendimento de como se deu sua construção ao longo da história e também explorar suas aplicações tecnológicas. O uso de experimentos e a incorporação de materiais de baixo custo são fundamentais para tornar o conteúdo acessível e relevante para os estudantes, demonstrando que é possível ensinar conceitos científicos complexos de maneira prática e econômica.

A proposta de sequência didática, fundamentada pela SEI, permite criar um ambiente de aprendizado no qual os alunos são incentivados a pensar criticamente, formular hipóteses e testar suas ideias através de experimentos concretos. Com tal abordagem de ensino, estaremos contribuindo para o desenvolvimento de habilidades científicas e investigativas no discentes, preparando-os para desafios acadêmicos.

Nesse contexto, a implementação da placa fotovoltaica, aliada a uma sequência didática bem estruturada, destaca a importância de integrar teoria e prática no ensino de conceitos como o EFE.

A adaptabilidade do dispositivo, ajustável para diferentes condições de luminosidade, é um ponto a se considerar, uma vez que a mesma amplia significativamente as possibilidades de uso em variados contextos educacionais. Tal flexibilidade permite que o recurso seja utilizado desde o ensino regular até programas como o EJA, onde as aulas geralmente ocorrem em horários com menor intensidade solar.

No contexto educacional, o projeto se destaca ao oferecer uma solução eficiente e adaptável, especialmente para situações onde a limitação de recursos e condições adversas poderiam comprometer a eficácia do ensino. A sequência didática proposta, ao integrar teoria e prática de forma estruturada, não apenas atinge seus objetivos pedagógicos, mas também fortalece a formação de estudantes com competências ampliadas, aptos a aplicar o conhecimento científico em diversos cenários. A aprendizagem contextualizada tem o potencial de contribuir com que os conceitos sejam compreendidos de forma mais profunda, resultando em uma educação que vai além da sala de aula tradicional.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUTODESK: Tinkercad. Autodesk, Inc, 2024. Disponível em: <https://www.tinkercad.com>  
Acesso em: 13 de ago. 2024.

BASSALO, J. M. **CURIOSIDADES DA FÍSICA: Observações e Explicação do Efeito Fotoelétrico**. SEARA DA CIÊNCIA, Universidade Federal do Ceará, 2019. Disponível em: <https://seara.ufc.br/wp-content/uploads/2019/03/folclore103.pdf> Acesso em: 21 out. 2023.

BRAGA, C. N. **Como funcionam os sensores fotoelétricos (ART644)**. 2013. Acesso em: 02 de nov. 2023. Disponível em: <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/4883-art644>

BRAGA, C. N. **LDR (ALM332)**. 2022. Disponível em: <https://www.newtonbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/201-l/7547-ldr-alm332>. Acesso em: 28 de jul. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular.

CAMPOS, José Galúcio; SENA, Daniel Richardson de Carvalho. **Aspectos teóricos sobre o ensino de ciências por investigação**. Ensino Em Re-Vista, v.27, n.Especial, p. 1467-1491, dez. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ER-v27nEa2020-13>. Acesso em: 17 jul. 2023.

CARVALHO, A. M. P. **O Ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas**. In: Anna Maria Pessoa de Carvalho. (Org.). Ensino de Ciências por Investigação. 1ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013, v. 1, p. 1-20.

CHAGAS, Júlia Oliveira de Sá; MACHADO, Marina da Silva Margiotti. **SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA PARA AS AULAS DE FÍSICA**. Anais da Semana Internacional da Física do IFSP – Campus Votuporanga. v. 2, n. 01. 2022. Disponível em: Sequência de ensino investigativa para as aulas de Física | Anais da Semana Internacional da Física do IFSP - Câmpus Votuporanga. Acesso em: 10 nov. 2023.

COELHO, Geide Rosa; JÚNIOR, João Mauro da Silva. **O ensino por investigação como abordagem para o estudo do efeito fotoelétrico com estudantes do ensino médio de um Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 37, n. 1, p. 51-78, abr. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n1p51>. Acesso em: 16 jul. 2023.

DENIS, Rafael de Oliveira Pereira; ODERLI, Aguiar. **ENSINO DE FÍSICA NO NÍVEL MÉDIO: TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA E EXPERIMENTAÇÃO**. Revista Ponto de Vista, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 65–81, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/RPV/article/view/9743>. Acesso em: 12 ago. 2023.

- FEUNER, G. **Os grandes físicos que mudaram o mundo**. 1ªed. São Paulo: Escala, 2010.
- FLEURY, Maria Tereza Leme; WERLANG, Sérgio. **Pesquisa aplicada: reflexões sobre conceitos e abordagens metodológicas**. Anuário de pesquisa, v. 2017, 2016.
- FONSECA, Francisco. **Luz solar é a fonte da vida**. Acesso em 13 de jul. 2024. Disponível em: <https://www.drfranciscofonseca.com.br/a-vida-e-fruto-da-luz-solar/>.
- GIANELLI, B; JUINOR, G. B. **Caracterização do Efeito Corona em Isoladores Poliméricos do Tipo Bastão Submetidos à Poluição Salínica**. Acesso em 28 de jul. 2024. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/272818818\\_Caracterizacao\\_do\\_Efeito\\_Corona\\_em\\_Isoladores\\_Polimericos\\_do\\_Tipo\\_Bastao\\_Submetidos\\_a\\_Poluicao\\_Salinica](https://www.researchgate.net/publication/272818818_Caracterizacao_do_Efeito_Corona_em_Isoladores_Polimericos_do_Tipo_Bastao_Submetidos_a_Poluicao_Salinica)
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna**. David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker; tradução Ronaldo Sérgio de Biassi. – 10.ed.- Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- KESSLER, Sérgio Luís. **O ENSINO DA FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: Necessidades e Dificuldades no Oeste Catarinense**. Tese (Pós-Graduação) - Curso de Ciências e Matemática - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 211. 2008.
- KOGA, André H. **Bandas de condução explicação**. Acesso em 02 de nov. 2023. Disponível em: <https://noic.com.br/solucoes-quimica-semana-70/bandas-de-conducao-explicacao/>
- MAZUMAKI, Maria da Graça Nicoletti. **Ensino: as abordagens do processo**. São Paulo, 1986.
- MOREIRA, Marco Antonio. **Uma análise crítica do ensino de Física**. Estudos Avançados [online]. 2018, v. 32, n. 94. Acessado em: 12 de agosto 2023, pp. 73-80. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0006>.
- SANTOS, Roziane Aguiar Dos. **O desenvolvimento de Sequências de Ensino Investigativas como forma de promover a alfabetização científica dos alunos dos anos iniciais do ensino fundamental**. Tese (Pós-Graduação) – Formação de Professores da Educação Básica – UESC-BA, Ilhéus – Bahia. p. 156. 2016.
- SILVA, Edson Alan Pinheiro da. **O Efeito Fotoelétrico**. Tese (trabalho de conclusão de curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2000. Acesso em: 10 de agosto 2024. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/3097>
- SILVA, Denny Davidson de Almeida. **Confecção e aplicação de uma placa foto-eletrônica como ferramenta para mediar projetos pedagógicos sobre o efeito fotoelétrico no século XXI**. Tese (Mestrado) – Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN. p. 56. 2018.

STROUPE, D. **Examining classroom science practice communities: How teachers and students negotiate epistemic agency and learn** Science as practice. Science Education, Wiley Online Library, v. 98, n. 3, p. 487-516, 2014.

TIRAPELLE, G. A. H.; MURA, L. B.; FRAZÃO, L. **ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE, COM BACKUP DE ENERGIA, INSTALADOS EM POSTOS DE COMBUSTÍVEIS**. 2013. Trabalho de conclusão de curso, graduação. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9974>. Acesso em: 21 out. 2023.

TUANI, Marcelo; LEITE, Leandro Butier; ALMEIDA, Adriana Aparecida Borin de. **Manual de metodologia da pesquisa aplicada à educação**. Faculdade de Porto Feliz. Porto Feliz, 2016.

VALADARES, Eduardo de Campos; MOREIRA, Alysson Magalhães. **Ensinando física moderna no ensino médio: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, p. 359-371, 2004.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física IV: ótica e física moderna**. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

## APÊNDICE A – Modelo de texto motivador.

Desde a Antiguidade, o ser humano tem se empenhado em compreender e explicar o mundo ao seu redor. A visão de mundo dos gregos antigos, com suas teorias filosóficas, dominou o pensamento por séculos, mas com o avanço da ciência, novas descobertas revolucionaram a nossa compreensão do universo. A física, em especial, tornou-se uma ferramenta crucial para melhorar a qualidade de vida, simplificando e explicando fenômenos naturais que antes eram misteriosos.

Entre as muitas conquistas da física, o estudo da luz e sua interação com a matéria destaca-se como um dos pilares que transformaram a ciência moderna. Durante séculos, o modelo ondulatório da luz foi a principal explicação para fenômenos como a óptica geométrica, interferência, difração e polarização. A teoria ondulatória ganhou ainda mais força com o desenvolvimento da teoria eletromagnética, culminando nas realizações de James Clerk Maxwell. Ele previu a existência de ondas eletromagnéticas que se propagam à velocidade da luz, um fato posteriormente confirmado experimentalmente por Heinrich Hertz em 1887, demonstrando que a luz é, de fato, uma onda eletromagnética.

No entanto, o comportamento da luz na interação com a matéria, como na emissão e absorção, continuava a ser um desafio para a teoria clássica. A partir de 1890, já se sabia que os átomos eram compostos de cargas positivas e negativas e que, em certas condições, parte dessas cargas negativas – os elétrons – poderiam ser removidas. Mas compreender plenamente como a luz interagia com essas cargas ainda era um mistério.

Foi nesse contexto que o efeito fotoelétrico, descoberto por Hertz em 1887 e estudado detalhadamente por Hallwachs e Lenard, surgiu como um enigma. Esse efeito ocorre quando uma superfície metálica é iluminada por radiação eletromagnética de comprimento de onda adequado, resultando na liberação de elétrons, chamados de fotoelétrons. Sabia-se que os elétrons no interior dos condutores eram mantidos presos pela barreira de energia na superfície do material, mas como a luz conseguia fornecer energia suficiente para que esses elétrons escapassem era uma questão que a física clássica não conseguia responder de maneira satisfatória.

Foi então que, em 1905, Albert Einstein propôs uma ideia revolucionária: a radiação eletromagnética, ou simplesmente a luz, é quantizada. Ele sugeriu que a luz não era apenas uma onda, mas também poderia ser descrita como um feixe de partículas discretas chamadas fótons. Cada fóton carrega uma quantidade de energia proporcional à frequência da luz, expressa como

$hf$ , onde " $h$ " é a constante de Planck e " $f$ " a frequência da luz. Essa abordagem permitiu a Einstein explicar o efeito fotoelétrico: quando a luz incide sobre um metal, os fótons transferem sua energia para os elétrons. Se essa energia é suficiente para superar a barreira de energia na superfície do metal, os elétrons são liberados.

A teoria de Einstein introduziu o conceito de que a energia da luz é quantizada e que a absorção e emissão de fótons pelos átomos são processos discretos. Isso significa que quando um átomo absorve um fóton, a energia  $hf$  do fóton é transferida completamente para o átomo, resultando na aniquilação do fóton. Da mesma forma, quando um átomo emite luz, ele cria um fóton ao transferir uma energia  $hf$  do átomo para a luz. Essa compreensão trouxe uma nova perspectiva para a física, mostrando que os átomos têm a capacidade de emitir e absorver fótons de maneira precisa e quantizada.

Esse avanço foi crucial para o desenvolvimento de tecnologias que utilizamos diariamente, como câmeras de TV e óculos de visão noturna, que dependem do efeito fotoelétrico. Ele nos lembra que, desde os tempos antigos até os dias de hoje, a busca pelo conhecimento e a curiosidade científica são forças poderosas que nos levam a novas descobertas, capazes de transformar o mundo e melhorar a vida das pessoas.

## APÊNDICE B – Plano de aula etapa 1

<i>Plano de Aula</i>
<p><b>Dados de Identificação:</b></p> <p>Professor (a):</p> <p>Disciplina: Física</p> <p>Turma:</p> <p>Período: 50 min</p>
<p><b>Tema:</b></p> <p>O Efeito Fotoelétrico.</p>
<p><b>Objetivo geral:</b> Compreender os conceitos iniciais do efeito fotoelétrico.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b> Explorar o efeito foto elétrico através do texto motivador.</p>
<p><b>Conteúdo:</b> - Fóton; - Energia de um fóton; - Efeito fotoelétrico.</p>
<p><b>Recursos didáticos:</b> quadro, giz, apagador e folha A4.</p>
<p><b>Avaliação:</b> Formativa</p> <p>- <b>Atividades</b> Discussão do texto motivador, compreensão do fenômeno.</p>
<p><b>Bibliografia:</b> GOMES, I. F; SANTOS, B. M. <b>SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO BASEADO NOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS.</b> UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA NATUREZA MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA, 2021.</p> <p>HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. <b>Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna.</b> David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker; tradução Ronaldo Sérgio de Biassi. – 10.ed.- Rio de Janeiro: LTC, 2016.</p> <p>SILVA, E. A. P. <b>O Efeito Fotoelétrico.</b> Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020.</p>

### APÊNDICE C – Plano de aula etapa 2

<i>Plano de Aula</i>
<p><b>Dados de Identificação:</b></p> <p>Professor (a):</p> <p>Disciplina: Física</p> <p>Turma:</p> <p>Período: 50 min</p>
<b>Tema:</b> O Efeito Fotoelétrico
<p><b>Objetivo geral:</b> Compreender os conceitos iniciais do efeito fotoelétrico.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b> Explorar o efeito fotoelétrico através do produto educacional.</p>
<b>Conteúdo:</b> - Fóton; - Energia de um fóton; - Efeito fotoelétrico.
<b>Recursos didáticos:</b> quadro, giz, apagador e placa fotoelétrica.
<p><b>Avaliação:</b> Formativa</p> <p>- <b>Atividades:</b> Discussão do fenômeno envolvido, compreensão do funcionamento do produto educacional.</p>
<p><b>Bibliografia:</b></p> <p>GOMES, I. F; SANTOS, B. M. <b>SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO BASEADO NOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS.</b> UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA NATUREZA MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA, 2021.</p> <p>SILVA, E. A. P. <b>O Efeito Fotoelétrico.</b> Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020.</p>

### APÊNDICE D – Plano de aula etapa 3

<i>Plano de Aula</i>
<p><b>Dados de Identificação:</b></p> <p>Professor (a):</p> <p>Disciplina: Física</p> <p>Turma:</p> <p>Período: 50 min</p>
<p><b>Tema:</b></p> <p>O Efeito Fotoelétrico.</p>
<p><b>Objetivo geral:</b> Compreender os conceitos iniciais do efeito fotoelétrico.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b> Explorar o efeito foto elétrico através do texto motivador.</p>
<p><b>Conteúdo:</b> - Fóton; - Energia de um fóton; - Efeito fotoelétrico.</p>
<p><b>Recursos didáticos:</b> Papel e caneta.</p>
<p><b>Avaliação:</b> Diagnóstica.</p> <p>- <b>Atividades:</b> Realização de um texto que englobe os elementos do efeito fotoelétrico relacionados ao uso da placa fotoelétrica</p>
<p><b>Bibliografia:</b></p> <p>GOMES, I. F; SANTOS, B. M. <b>SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO BASEADO NOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS.</b> UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA NATUREZA MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA, 2021.</p> <p>SILVA, E. A. P. <b>O Efeito Fotoelétrico.</b> Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020.</p>