



INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE
COORDENADORIA DE LICENCIATURA EM FÍSICA
WESLEY NUNES DE SALES



MONTAGEM DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS UTILIZANDO MATERIAIS DE
BAIXO CUSTO E FÁCIL AQUISIÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA

LAGARTO - SE

2023

WESLEY NUNES DE SALES

MONTAGEM DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS UTILIZANDO MATERIAIS DE
BAIXO CUSTO E FÁCIL AQUISIÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
de Sergipe como pré-requisito para obtenção do grau
em licenciatura em Física.

Orientador: Prof. Dr. Ângelo Francklin Pitanga

LAGARTO - SE

2023

Sales, Wesley Nunes de.
S155m Montagem de células fotovoltaicas utilizando materiais de baixo custo e fácil aquisição para o ensino de física / Wesley Nunes de Sales. – Lagarto, 2023.
37 f. ; il.

Monografia (Graduação) – Licenciatura em Física. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, 2023.
Orientador: Prof. Dr. Ângelo Franklin Pitanga.

1. Energia solar. 2. Conversão fotovoltaica. 3. Economia ambiental. 4. Ciência-estudo e ensino. I. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS. II. Título.

CDU: 53:620.91



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
Av. Jorge Amado, 1551 – Loteamento Garcia, Bairro Jardins - CEP 49025-330 – Aracaju/SE
Fone: (79) 3711 1400 – E-mail: sergipe@ifse.edu.br

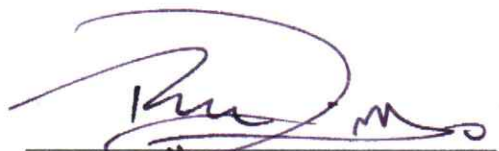
TERMO DE APROVAÇÃO

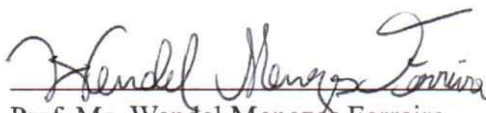
Curso de Licenciatura em Física.

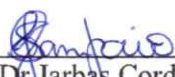
**Montagem de Células Fotovoltaicas utilizando materiais de baixo custo e fácil
aquisição para o ensino de Física**
Wesley Nunes de Sales

Esta monografia foi apresentada às 10h30 horas do dia 21 (vinte e um) de julho de dois mil e vinte e três como requisito parcial para a obtenção do título de **Licenciado(a) em Física**. O(A) candidato(a) foi arguido(a) pela banca examinadora composta pelos examinadores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.


Prof. Dr. Ângelo Francklin Pitanga
Instituto Federal de Sergipe


Profa. Me. Ronaldo Da Maceno Lima
Instituto Federal de Sergipe


Prof. Me. Wendel Menezes Ferreira
Instituto Federal de Sergipe


Prof. Dr. Jarbas Cordeiro Sampaio
Instituto Federal de Sergipe
Coordenador do Curso

Dedico esse trabalho para meu avô, minha falecida avó, minha mãe, irmão e todos os meus gatos vivos ou falecidos, que fizeram parte dessa trajetória de vida cheia de altos e baixos. Dedico também ao meu orientador Dr. Ângelo Pitanga, que desde 2020 vem me ensinando a ser um professor e pesquisador melhor. Por fim dedico também para todos que fizeram parte da minha história em todos esses anos, professores, amigos e os diversos funcionários e animais do IFS.

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha gratidão, primeiramente à minha mãe, **Cristina**, que tem sido uma guerreira desde o falecimento de minha avó em 2011. Ela criou meu irmão e eu, mesmo estando desempregada, e sempre se esforçou para que eu não precisasse trabalhar enquanto estudava. Agradeço também ao meu orientador, **Ângelo Pitanga**, que vem me apoiando desde 2020, fazendo com que eu me torne um pesquisador e professor melhor.

Desejo agradecer a todos os meus professores ao longo dos anos, desde o ensino fundamental até a faculdade, por me ajudarem a perceber qual era o meu sonho. No entanto, quero fazer menção especial aos professores **André Neves, Augusto, Héstia, José Uibson (vulgo Jack), Lucas, Mauro e Paulo Jorge**.

Quero expressar meus sinceros agradecimentos a todos do IFS que fizeram parte da minha trajetória, desde os funcionários que mantêm o campus funcionando, até os animais que dão vida ao local. No entanto, quero agradecer especialmente a **Luciana**, que tem aguentado meu TDAH há tantos anos, **Jhonattas**, um nerdão como eu, e, **Ruan Miguel**, que é praticamente um irmão em loucura.

Por fim, gostaria de agradecer a todas as pessoas que fazem parte deste caminho que escolhi para minha vida, incluindo **Alexandre Henrique, Anselmo Mota, Ari Thiago, Douglas, Felipe, Lazaro Nascimento e Valdevan**.

“Toda minha vida é um esforço para escapar do tédio do cotidiano. Esses pequenos problemas ajudam.”

Sherlock Holmes

RESUMO

Devido à crescente preocupação com o meio ambiente, a demanda por fontes de energia limpa e alternativa tem aumentado. Uma das fontes de energia limpa mais procuradas é a solar, que pode ser gerada através do uso de placas foto-térmicas ou do efeito fotovoltaico, que transforma a luz solar em eletricidade. Diante disso, é importante discutir de forma multidimensional o funcionamento das células fotovoltaicas. Essa temática pode ser abordada no ensino de ciências por meio de aulas experimentais investigativas, utilizando materiais de baixo custo e fácil aquisição para criar um ambiente ativo de aprendizagem. Assim, este TCC tem como objetivo propor a montagem de células fotovoltaicas com um custo inferior a R\$ 10,00 para promover discussões sobre este tema atualmente relevante. Na abordagem metodológica, foi utilizada a pesquisa experimental, na qual foram montadas células em associação mista e em paralelo, que foram testadas, a partir das medições das correntes e tensões geradas quando expostas à luz solar. Os resultados indicam que as montagens foram bem-sucedidas com o uso de Leds azuis de alto brilho, gerando tensões de aproximadamente 2,33V e 3,36V para as células em paralelo e mista, respectivamente. Por fim, foi observado que as células montadas eram capazes de acionar uma calculadora simples, como também as células foram utilizadas em experimentos de degradação de corantes com resultados exitosos.

Palavras-chave: Ensino de Física. Energia Solar. Células Fotovoltaicas. Ensino por Investigação.

ABSTRACT

Due to the growing concern for the environment, the demand for clean and alternative energy sources has increased. One of the most popular sources of clean energy is solar, which can be generated through the use of photo-thermal panels or the photovoltaic effect, which transforms sunlight into electricity. Therefore, it is important to discuss in a multidimensional way the functioning of photovoltaic cells. This theme can be addressed in science teaching through investigative experimental classes, using low-cost and easily acquired materials to create an active learning environment. Thus, this TCC aims to propose the assembly of photovoltaic cells with a cost of less than R\$ 10.00 to promote discussions on this currently relevant topic. In the methodological approach, experimental research was used, in which cells were assembled in mixed association and in parallel, which were tested, from measurements of currents and voltages generated when exposed to sunlight. The results indicate that the assemblies were successful with the use of high-brightness blue LEDs, generating voltages of approximately 2.33V and 3.36V for the parallel and mixed cells, respectively. Finally, it was observed that the assembled cells were capable of triggering a simple calculator, as well as the cells were used in dye degradation experiments with successful results.

Keywords: Physics Teaching. Solar energy. Photo-voltaic cells. Teaching by Research.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo o Brasil 15

Figura 2: Esquema do silício dopado utilizado em células fotovoltaicas. 19

Figura 3: Representação de diagramas de bandas típicos para (a) condutores, (b) semicondutores e (c) isolantes. 20

Figura 4: Estrutura de uma célula fotovoltaica. 21

Figura 5: Teste do funcionamento dos Leds utilizando multímetro. 26

Figura 6: Célula de papelão 1 e esquema do sistema em paralelo. 26

Figura 7: Célula de papelão 2 e o sistema misto. 27

Figura 8: Calculadora funcionado a partir das duas células, a esquerda célula 2 e a direita célula 1. 32

Figura 9: Sistema utilizado para realizar o Foto-Eletro Fenton Solar. 32

Figura 10: Resultado da solução após 30 minutos de processo. 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados de Tensão e Corrente obtidos pelas células fotovoltaicas.	29
---	-----------

Tabela 2: Potências dos geradores.	30
------------------------------------	-----------

LISTA DE SÍMBOLOS

μ	Micro
A	Ampère
V	Volts
GW	Gigawatts
MW	Megawatt
μW	Microwatt

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	Considerações Iniciais	14
1.2.	Objetivo	17
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1.	O efeito fotovoltaico e as células fotovoltaicas	18
2.2.	Ensino por Investigação	21
3.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	25
3.1.	Montagem da Célula Fotovoltaica 1 associados em paralelo	25
3.2.	Montagem da Célula Fotovoltaica 2 com associação mista	27
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
	REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

A disponibilidade de energia é crucial para a sobrevivência humana e a escassez dela pode ter um impacto significativo na economia e na qualidade de vida das pessoas. Infelizmente, grande parte da eletricidade consumida globalmente é obtida a partir de fontes não renováveis, o que pode representar um grande desafio para a sustentabilidade ambiental. Portanto, é importante que sejam utilizadas alternativas viáveis e sustentáveis para substituir as fontes atuais (YANG; WANG; TIAN, 2015).

Nos últimos anos, tem se tornado clara a busca dos governos por alternativas energéticas mais sustentáveis. No Brasil, em 2002, foi criado o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que visa aumentar a produção de eletricidade limpa no país como um de seus principais objetivos, aumentando a participação da energia elétrica produzida por produtores independentes (BRASIL, 2002; MARTINEZ *et al.*, 2015), além disso, o PROINFA oferece incentivos financeiros para empresas que produzem a partir de fontes renováveis, como a solar, eólica e biomassa.

Além desse programa, o Brasil tem buscado outras medidas para estimular a utilização de fontes limpas, como por exemplo a criação de leis que exigem a utilização de um percentual mínimo de energia renovável na matriz elétrica do país. Entre estas, podemos destacar a Lei nº 13.203/2015, que determina que até 2030 pelo menos 50% da matriz energética brasileira seja de fontes renováveis (BRASIL, 2015).

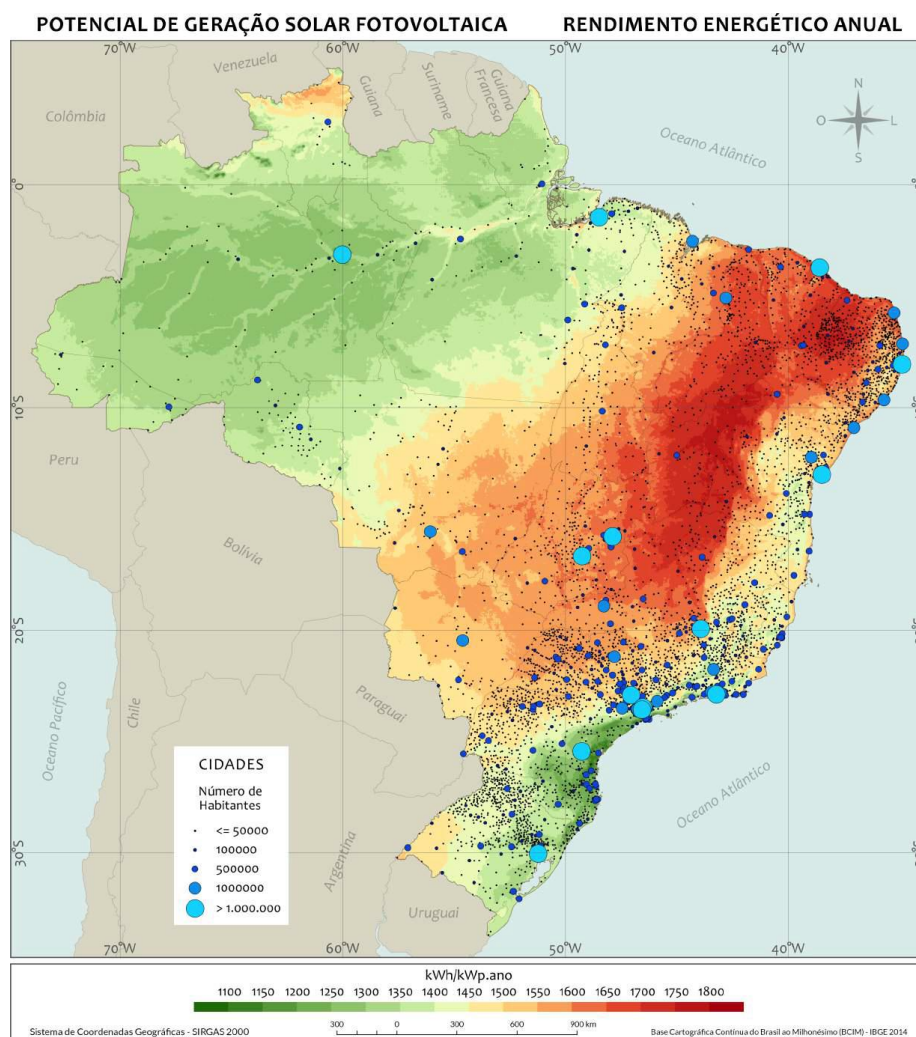
As fontes alternativas apresentam diversas vantagens, como o aumento da diversidade na oferta de energia, a geração de empregos, a preservação da biodiversidade, a redução da poluição e das emissões de gases de efeito estufa, a geração sustentável a longo prazo e a redução do risco de falta de eletricidade (BOENTE *et al.*, 2015). É notável, que estas vantagens são de suma importância para a preservação da qualidade de vida humana a longo prazo.

De acordo com Silveira, Tuna e Lamas (2013), entre todas as novas formas de geração de energia elétrica, a solar está ganhando destaque como uma das principais fontes alternativas. Isso se deve ao fato de que a energia solar é considerada uma fonte limpa, economicamente viável, de baixo custo de manutenção e pode ser instalada em áreas remotas onde não há sistemas convencionais. Em comparação com as fontes convencionais, a solar é mais barata para ser instalada nesses locais. Além disso, as células solares contidas nos painéis convertem

diretamente a energia solar em elétrica, de forma não poluente, renovável e exigem manutenção mínima, o que resulta em baixo custo operacional.

De acordo com Pereira (2017) o Brasil possui grande capacidade de geração de eletricidade através do sol, pois, a média anual de irradiação global apresenta boa uniformidade no Brasil, com índices altos em todo o território brasileiro. As usinas de grande porte, geralmente são instaladas em solo sobre estruturas metálicas fixas e inclinadas, já as placas solares que possuem seguimento da trajetória aparente do Sol em um eixo são principalmente instaladas nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Isso se deve ao fato de que essas regiões apresentam os maiores rendimentos médios anuais, conforme também ilustrado na figura 1.

Figura 1 - Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo o Brasil.



Fonte: PEREIRA (2017).

A figura mostra o rendimento energético anual máximo em kWh de energia elétrica gerada por ano para cada kWp de potência fotovoltaica instalada, em todo o Brasil, tanto para usinas de grande porte centralizadas e instaladas em solo, como para a geração fotovoltaica distribuída integrada em telhados e coberturas. Para simplificar a análise, foi adotada uma taxa média anual de desempenho de 80%, que representa o desempenho esperado de um gerador solar fotovoltaico bem projetado, instalado com equipamentos de qualidade e com etiqueta do INMETRO (PEREIRA, *et al.*, 2017)

A capacidade instalada de geração de eletricidade no Brasil teve uma expansão de 3,9% entre 2020 e 2021, com a contribuição majoritária da geração hidráulica. Todavia, a maior expansão proporcional foi a geração solar, que finalizou 2021 com um aumento na potência instalada de 40,9% em relação ao ano anterior, é relevante destacar que em 2020 houve um aumento de quase 33% em relação a 2019 (AEEE, 2022).

Tamanha a importância que a geração de energia elétrica tem ocupado nas agendas internacionais, em especial, a modalidade solar. É observado a necessidade da inserção de discussão sobre o tema nas salas de ciências da educação básica, como feito por Dias *et al.* (2020), ao realizar uma pesquisa na qual foram construídas células fotovoltaicas em sala de aula com materiais simples, utilizando o ensino por investigação para debater a geração de energia limpa via células fotovoltaicas.

Ainda de acordo com Dias *et al.* (2020), para comprovar o funcionamento da placa como gerador de energia, a mesma foi utilizada para ligar um pequeno relógio de cristal líquido. Apesar das dificuldades dos alunos em aprender conceitos de física no ensino de Ciência e Tecnologia (C&T), eles participaram das atividades de montagem e funcionamento, se mantendo com entusiasmo, dedicação e competências como requer o PCNs (Parâmetros curriculares nacionais) e a BNCC (Base Nacional Comum Curricular). Os autores concluem que os alunos conseguiram compreender os conceitos de energia estudados através das montagens, utilizando de uma metodologia de experimentação investigativa.

Já Siqueira (2020) discorre sobre a realização da atividade experimental investigativa envolvendo energia fotovoltaica:

“Como estratégia pedagógica, o professor dispõe da atividade experimental para fazer correlação entre o que o aluno aprende nos livros e o que observa na realidade do seu dia-a-dia, tornando o processo de ensino e aprendizagem mais motivador para ambos. Na intenção de inserir essa estratégia em seu plano de aula, quando o professor busca nos livros uma experiência investigativa de baixa complexidade que possa ser executada dentro do período de aula e que tenha pertinência com a teoria, não raro, se frustra. Outras vezes, encontra atividade que se mostram inadequadas para o nível de

ensino, que exigem equipamentos não disponíveis na escola ou ainda, o que é muito comum, que requerem materiais caros, de difícil aquisição, tanto pela escola como pelos alunos e professor, que se dispõe a providenciar os materiais para a realização da aula prática. Esta é a situação das experiências investigativas envolvendo energia fotovoltaica, pois as placas comercialmente disponíveis são caras, assim como os materiais e equipamentos necessários para a sua montagem” (SIQUEIRA, 2020, p. 10)

Diante do contexto da importância de geração de energia, e a partir das provocações trazidas nos diálogos de Siquera (2020) e Dias *et al.* (2020), é gerado uma pergunta: É possível construir células solares com materiais de baixo custo e fácil aquisição para trabalhar temáticas tão relevantes no ensino de ciências?

1.2.Objetivo

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é apresentar os resultados obtidos na montagem de sistemas de células fotovoltaicas utilizando materiais de baixo custo e facilmente acessíveis, visando à inclusão dessa temática no ensino de ciências por meio de atividades experimentais em sala de aula.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. O efeito fotovoltaico e as células fotovoltaicas

Em 1839, o cientista Alexandre-Edmond Becquerel ao colocar duas placas de latão em um líquido condutor, constatou que quando a luz entrou em contato com as placas de latão, foi gerado uma pequena corrente elétrica. Com base neste experimento, ele concluiu que a luz solar ao incidir em alguns materiais pode gerar uma corrente elétrica. Esse fenômeno ficou conhecido como efeito fotovoltaico (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Os estudos do efeito fotovoltaico, desde a sua descoberta por Becquerel, vieram avançando de maneira a revolucionar a geração de eletricidade, tornando a solar uma das mais importantes fontes renováveis da atualidade. As células fotovoltaicas, são dispositivos que convertem diretamente a luz solar em energia elétrica, as mesmas são compostas por uma classe especial de materiais, chamados de semicondutores, vale destacar que o mais utilizado é o silício devido a sua abundancia. A célula solar funciona a partir de três elementos essenciais: a capacidade de absorver a luz para gerar elétrons, a excitação dos elétrons para gerar um agente de carga e um "buraco" com carga oposta, e a extração dos elétrons através de um circuito externo. Esses processos são fundamentais para a geração de energia a partir da luz solar em células solares e são geralmente realizados por materiais semicondutores, que possuem uma banda proibida (SILVA, 2014).

Há décadas, os engenheiros têm se preocupado em criar edifícios que aproveitem ao máximo a iluminação natural. Cada vez mais, surgem construções que utilizam o sol para aquecer água por meio de painéis foto-térmicos, e em menor escala, para converter a luz solar em eletricidade através de placas fotovoltaicas (LIMA *et al.*, 2018). De acordo com esses autores, as células fotovoltaicas ainda têm um custo inicial elevado, mas há pesquisas em andamento para reduzir os custos de produção e torná-las mais eficientes na conversão de energia luminosa em eletricidade.

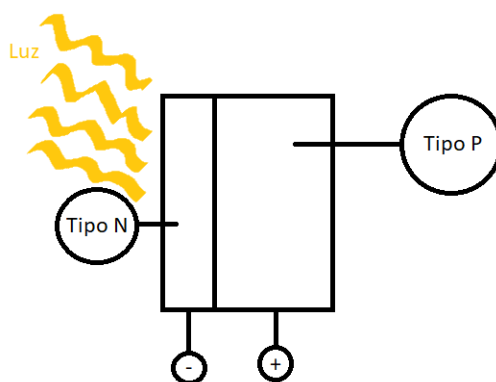
As células fotovoltaicas são produzidas com um material semicondutor. Cada célula solar é constituída de uma camada fina de silício tipo N e outra com maior espessura de silício tipo P. O tipo N é o silício dopado com fósforo, dessa maneira o material obtido tem elétrons livres ou são portadores de carga negativa. Já o P, tem a adição do boro, obtendo-se um material com características inversas do tipo N (NASCIMENTO, 2004).

É importante ressaltar que, nas células fotovoltaicas é utilizado a junção PN. Conforme Moysés (2002), ao conectar semicondutores tipo N e tipo P, ocorre a difusão de elétrons e lacunas da região com maior concentração para a região com menor concentração, até que se estabeleça um equilíbrio. Esse transporte de cargas leva a um fluxo de cargas positivas do lado P para o lado N. Na junção, é gerada uma dupla camada de cargas, semelhante a um capacitor de placas paralelas. A diferença de potencial V na junção impede a continuidade da difusão. Em equilíbrio, o lado N, com excesso de carga positiva, possui um potencial maior do que o lado P, que tem um excesso de carga negativa.

As células fotovoltaicas convertem diretamente a energia da luz solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. Esses dispositivos são compostos por um material semicondutor, geralmente o silício, que é dopado para criar uma camada fina do tipo N e uma camada mais espessa do tipo P. Quando a luz solar incide na célula fotovoltaica, ela é absorvida pela camada do tipo N, causando a excitação dos elétrons e criando uma diferença de potencial elétrico entre as duas camadas (NASCIMENTO, 2004).

Essa diferença de potencial elétrico é o que gera a corrente elétrica e, portanto, a energia elétrica produzida pela célula (NASCIMENTO, 2004). A figura 2, ilustrada abaixo, mostra uma célula solar típica, com camadas de silício tipo N e tipo P, onde a luz solar é absorvida pela camada tipo N, desencadeando o fenômeno do efeito fotovoltaico.

Figura 2 – Esquema do silício dopado utilizado em células fotovoltaicas.

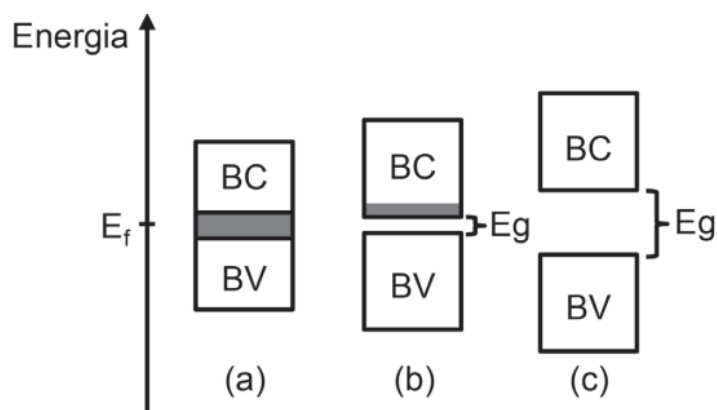


Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Um semicondutor é um material com condutividade elétrica entre o isolante e o condutor, sua condutividade elétrica aumenta com a temperatura. Os materiais podem ser classificados em condutores, isolantes e semicondutores, com base em seu Band Gap, que é a energia necessária para mover um elétron da banda de valência para a banda de condução, e é referido como "banda proibida" porque os estados eletrônicos dentro desse intervalo são

proibidos (BACCARO; GUTZ, 2018). A figura 3 mostra uma representação do Band Gap para materiais isolantes (c), condutores (a) e semicondutores (b). Na figura BC é a Banda de Condução, BV é a Banda de Valência, E_g é o Band Gap e E_f é o Nível de Fermi a uma temperatura de 298,15 K.

Figura 3 - Representação de diagramas de bandas típicos para (a) condutores, (b) semicondutores e (c) isolantes.

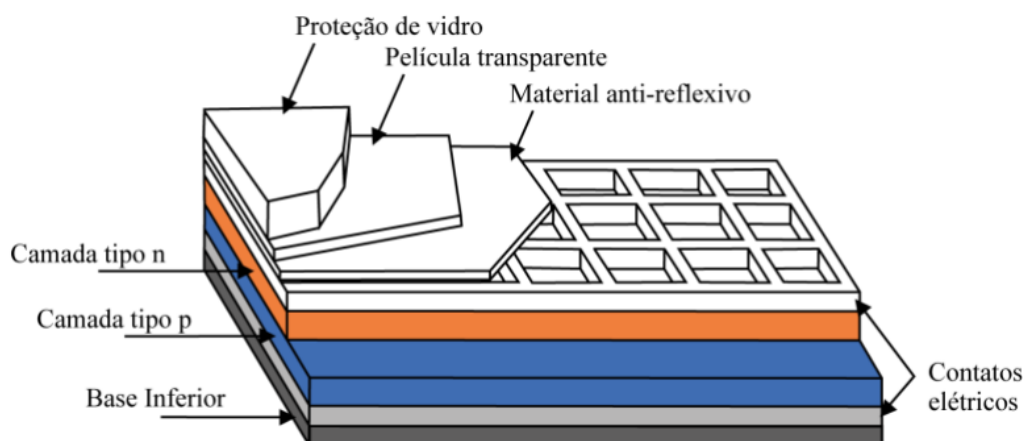


Fonte: (BACCARO; GUTZ, 2018).

Na figura, o ponto (a) representa um material condutor, já que não há banda proibida (E_g), permitindo uma boa condução elétrica. Um exemplo de material condutor é o cobre, utilizado em fiações elétricas. No local (b), há uma pequena distância entre a Banda de Valência (BV) e a Banda de Condução (BC), o que o torna um semicondutor. O silício é um exemplo de semicondutor utilizado em placas eletrônicas, computadores e em células fotovoltaicas. Já no ponto (c), a distância entre BV e BC é muito grande em comparação com os outros pontos, o que significa que é um material isolante, dificultando a condução elétrica. A borracha é um exemplo de material isolante.

De acordo com Nascimento (2004), diferente dos outros semicondutores, os dispositivos fotovoltaicos não utilizam a estrutura normal do silício, como acontece nos diodos, nestes dispositivos fotovoltaicos faz uso de uma fina camada de óxido transparente, e que possuem alta condutividade elétrica. Aplica-se também camadas antirreflexo para cobrir a célula fotovoltaica. Na Figura 4, é possível observar a estrutura de uma célula fotovoltaica típica.

Figura 4 - Estrutura de uma célula fotovoltaica.



Fonte: <https://eletronica depotencia.com/celula-fotovoltaica/>

O funcionamento de uma célula fotovoltaica se dá por meio da geração de um fluxo de elétrons (corrente elétrica) que é estabelecido por um condutor externo, ligando a camada negativa à positiva. Esse fluxo é mantido enquanto a luz incidir na célula, variando sua intensidade na mesma proporção que a intensidade da luz incidente. No entanto, é importante ressaltar que uma célula fotovoltaica não tem capacidade de armazenar energia elétrica, apenas mantém o fluxo de elétrons estabelecido em um circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela (NASCIMENTO, 2004).

2.2. Ensino por investigação

Diversos filósofos já reconheciam desde o século XVIII a importância da experimentação no ensino de ciências. Entretanto, foi somente nas últimas décadas do século XIX que as atividades experimentais foram incorporadas no currículo de ciências da Inglaterra e dos Estados Unidos. Foi apenas na segunda metade do século XX que a experimentação se consolidou no ensino de ciências (SILVA; MACHADO; TUNES, 2010).

Desde os tempos de Aristóteles, reconhece-se a importância da experimentação e sua natureza factual para se alcançar o conhecimento universal. Aristóteles afirmava que aqueles que possuíam noção sem experiência e conheciam o universal ignorando o particular, com frequência cometiam equívocos. Tal pensamento Aristotélico marcou presença durante toda a Idade Média. No entanto, mesmo passados séculos desde Aristóteles, muitas propostas de ensino de ciências ainda ignoram as contribuições empiristas para a construção do conhecimento, deixando de lado a experimentação (GIORDAN, 1999).

Segundo Silva, Machado e Tunes (2010), o conhecimento científico consiste em um conjunto de ideias elaboradas com o intuito de explicar fenômenos diversos, mediante a formulação de conceitos científicos. Embora essas construções teóricas sejam imateriais, elas não se confundem com a própria realidade, e, portanto, o significado de um conceito científico pode modificar-se ao longo do tempo.

O ensino experimental engloba a integração dos fenômenos com as teorias correspondentes, promovendo uma abordagem de aprendizado científico que enfatiza a interação entre a prática e a teoria. As teorias científicas são desenvolvidas para explicar eventos e fenômenos do mundo real, sendo importante destacar que sua capacidade de generalização depende da habilidade em explicar uma variedade de eventos semelhantes (SILVA; MACHADO; TUNES, 2010). Portanto, quanto maior for a capacidade de uma teoria explicar diferentes acontecimentos semelhantes, maior será seu nível de generalização.

De acordo com Giordan (1999), sobre a elaboração do conhecimento científico:

“A elaboração do conhecimento científico apresenta-se dependente de uma abordagem experimental, não tanto pelos temas do seu objeto de estudo, os fenômenos naturais, mas fundamentalmente porque a organização desse conhecimento ocorre preferencialmente nos entremeios da investigação. Tomar a experimentação como parte de um processo pleno de investigação é uma necessidade, reconhecida entre aqueles que pensam e fazem o Ensino de Ciências, pois a formação do pensamento e das atitudes do sujeito deve-se dar preferencialmente nos entremeios de atividades investigativas” (GIORDAN, 1999, p. 2).

Durante a realização de atividades experimentais, os alunos observam fenômenos e são frequentemente solicitados a explicá-los. A relação entre a teoria e o experimento é chamada de relação teoria-experimento, envolvendo tanto o fazer quanto o pensar. A utilização de uma teoria para explicar fenômenos não implica em provar sua veracidade, mas sim na avaliação de sua capacidade de generalização. É a capacidade de previsão e generalização que confere à experimentação um caráter investigativo. Muitos professores consideram a atividade experimental como uma estratégia de ensino que ajuda a consolidar as concepções teóricas da ciência, facilitando a aprendizagem dos alunos. Dessa forma, é vista e amplamente empregada pelos professores para melhorar o processo de ensino (SILVA; MACHADO; TUNES, 2010).

Por exemplo, quando os discentes são submetidos a uma atividade experimental na qual terão que realizar experimentos utilizando os conceitos físicos da calorimetria com materiais de fácil aquisição, eles estarão testando a capacidade de generalização dos conceitos de calorimetria. Ao explicarem o que ocorreu no experimento, estabelecem uma relação entre o fazer e pensar.

De acordo com Dias *et al.* (2020), ao relatarem a aplicação de uma estratégia de atividade experimental em física, conclui-se que, apesar das dificuldades enfrentadas, os participantes demonstraram entusiasmo e dedicação, desenvolvendo habilidades e competências de forma notável. Os autores afirmam que, para o sucesso de tal proposta, é fundamental levar em consideração a curiosidade e o diálogo entre os alunos e os executores da intervenção didática, possibilitando assim a organização e o desenvolvimento de conceitos científicos durante os encontros realizados.

Ainda conforme relato de Dias *et al.* (2020), ao realizar a atividade em sala de aula, utilizando de uma metodologia de pesquisa qualitativa, na qual envolvia a experimentação investigativa na construção de um rádio FM (Transmissor e Receptor) e células solares feita com um transistor, associadas em série e em paralelo a partir de materiais simples para trabalhar os conteúdos de Física nas aulas de ciências do 9º Ano do Ensino Fundamental, traz bons resultados quanto a satisfação dos alunos e entendimento dos conteúdos trabalhados, além disso, os autores confirmam: “todos os alunos que participaram das atividades relacionadas ao rádio transmissor FM e célula/placa/painel solar demonstraram entusiasmo, dedicação, desenvolvendo muito bem suas habilidades e competências como requer os PCNs e a BNCC” (DIAS *et al.*, 2020, p. 299).

Uma tendência crescente na realização de atividades experimentais é a utilização de materiais de baixo custo e fácil aquisição, o que se tornou uma importante estratégia para popularizar a ciência por meio da exploração de experimentos simples, como destacado por SILVA *et al.* (2013), em uma experiência com alunos do ensino fundamental. Além disso, tais atividades têm como objetivo superar dois problemas comuns enfrentados pela maioria das escolas brasileiras: a falta de espaço físico adequado para um laboratório de ciências e a escassez de materiais e recursos necessários para a realização dos experimentos.

No que diz respeito aos experimentos de baixo custo e fácil aquisição, Duarte e Veras (2020) afirmam que, durante e após a realização dessas atividades, os discentes interagiram bastante, estabelecendo relações entre a prática e os conceitos teóricos estudados. Segundo os autores, a falta de um laboratório específico para a realização dos experimentos não foi um obstáculo, uma vez que os materiais utilizados foram alternativos e adquiridos pelos próprios alunos. A busca por materiais que os discentes utilizam em seu cotidiano e que possuem relação com os conceitos estudados pode conferir uma aprendizagem significativa e duradoura.

Por fim, é importante ressaltar que o uso de sistemas didáticos físicos, nos quais os alunos possam interagir de forma teórico-experimental, aproximam os conceitos ensinados da

realidade que os cercam, possibilitando uma melhor compreensão conceitual das teorias científicas (ANGOTTI; BASTOS; MION, 2001).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Em relação as questões metodológicas foi decidido adotar uma abordagem de natureza experimental. Isso envolve a submissão dos objetos de estudo à influência de várias variáveis específicas em condições laboratoriais conhecidas e controladas, com o objetivo de observar os resultados que as variáveis produzem nos objetos (LEITE, 2008).

O quadro 1, apresenta os materiais de baixo custo e fácil aquisição, que foram utilizados para montagem da célula 1 e 2, materiais este que podem ser encontrados em qualquer loja de eletrônica.

Quadro 1 – Materiais utilizados para montagem da célula 1 e 2.

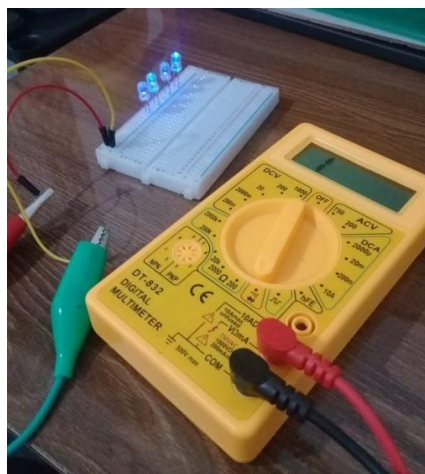
Célula 1 - Montada com Leds de alto brilho associados em paralelo.	5 leds de alto brilho azul, máquina de solda, papelão, fios, protoboard.
Célula 2 - Montada com Leds de alto brilho com associação mista.	6 leds de alto brilho azul, máquina de solda, plástico rígido, fios, protoboard.

Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

3.1.Montagem da Célula Fotovoltaica 1 com Leds associados em paralelo.

Antes de iniciar a montagem da célula fotovoltaica, é preciso fazer um teste nos Leds de alto brilho utilizando um multímetro. Para isso, é selecionado a função de teste de diodos no multímetro e então é conectado os cabos nas pontas dos Leds, sendo o polo negativo no negativo e o positivo no positivo. Como os Leds são diodos e a corrente elétrica nos mesmos só fluem em um sentido, é importante conectar os cabos corretamente. A Figura 5 ilustra esse procedimento. Se os Leds estiverem funcionando corretamente, eles acenderão durante o teste.

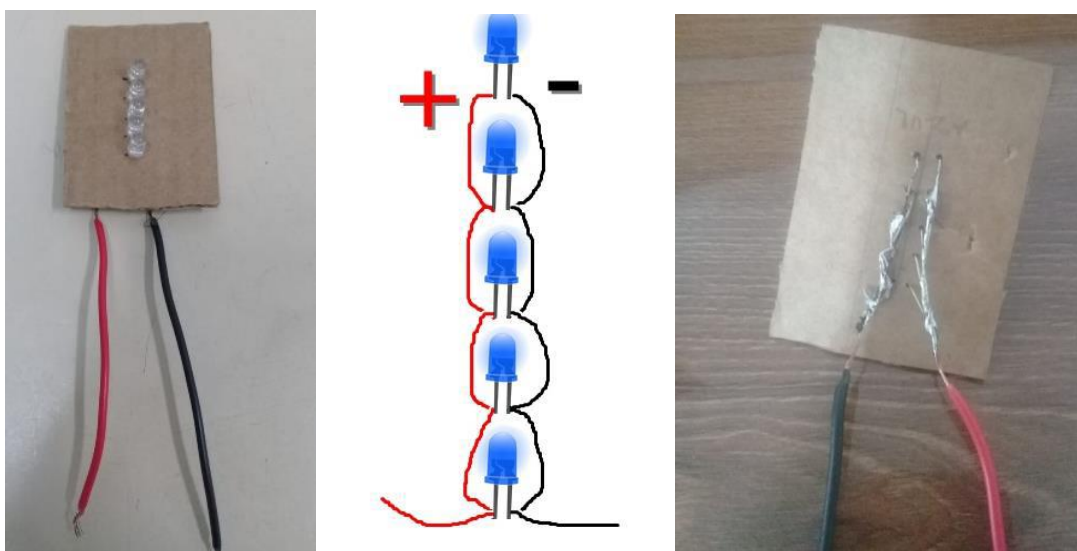
Figura 5 – Teste de funcionamento dos Leds utilizando multímetro.



Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Depois de realizado o teste com os Leds, um pedaço de papelão em formato retangular foi cortado e pequenos furos foram feitos através dele em pontos pré-selecionados. Em seguida, cinco Leds foram encaixados seguindo o padrão indicado na Figura 6. Para aumentar a corrente elétrica, os Leds foram associados em paralelo. Existem duas maneiras de determinar qual é o polo positivo (cátodo) e negativo (ânodo) dos Leds. A primeira opção é observar as pontas dos Leds, onde a ponta maior é o positivo e a menor é o negativo. A segunda opção é verificar duas partes metálicas localizadas dentro do invólucro do Led, onde a com área metálica maior é o negativo e a menor é o positivo. A Figura 6 mostra a conclusão da montagem da célula fotovoltaica 1.

Figura 6 – Célula de papelão 1 e esquema do sistema em paralelo.



Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

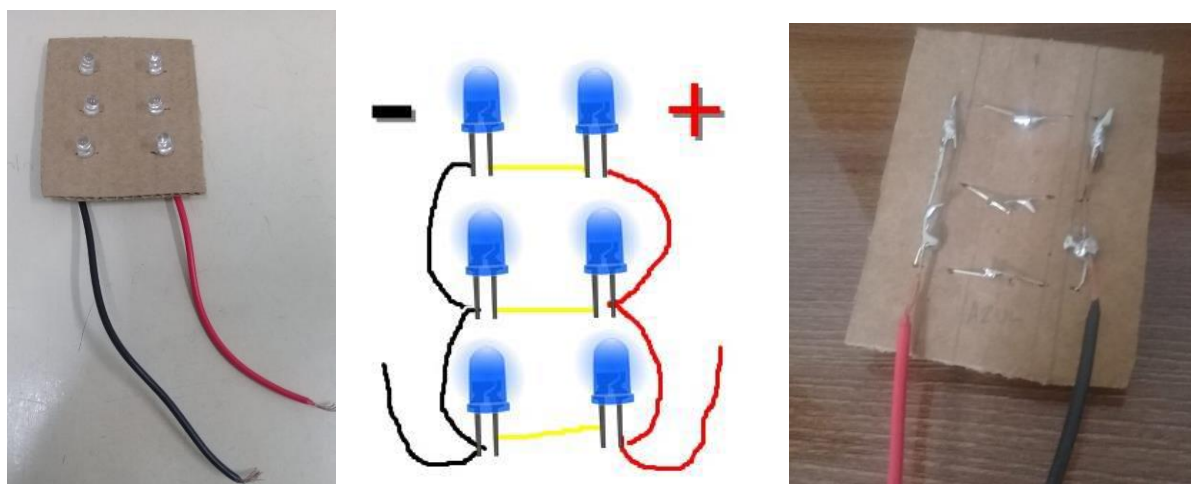
Ao conectar as pontas dos Leds, é necessário ter cuidado ao soldá-las, pois há o risco de queimar a base de papelão. É importante soldar um fio em cada ponta do Led para facilitar a conexão com um dispositivo, como uma pequena calculadora, vale destacar que este fio não seja muito longo, pois pode diminuir a eficiência da célula.

3.2. Montagem da Célula Fotovoltaica 2 com associação mista.

Para montar a célula, também foi utilizada papelão, embora também seja possível utilizar outros materiais, como plástico ou madeira. A placa precisou ter pequenos furos feitos para acomodar os 6 Leds, 3 de cada lado, conforme mostrado na figura 7. Essa configuração representa uma associação mista, o que aumenta tanto a tensão quanto a corrente para cada Led do sistema.

Antes de soldar, é importante prestar atenção nos polos dos Leds e verificar qual é o polo positivo e o negativo. Após a verificação, a soldagem pode ser realizada com cuidado para evitar danos ao material. Assim como na célula anterior, é importante deixar os fios conectados com cores diferentes para indicar o polo positivo e negativo da corrente gerada pela célula.

Figura 7 – Célula de papelão 2 e o sistema misto.



Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os diodos emissores de luz (Leds) são capazes de gerar uma tensão ao serem expostos à luz solar, isso ocorre devido ao efeito fotovoltaico. Esse fenômeno acontece porque os Leds são construídos com semicondutores (NASCIMENTO, 2004). Neste trabalho, foram utilizados Leds de alto brilho nos quais cada um funciona como um gerador independente e assim, monta-se a célula fotovoltaica.

De acordo com Gaspar (2015), assim como os resistores, os geradores podem ser associados tanto em paralelo quanto em série. No entanto, ao contrário dos resistores, não são necessárias expressões específicas para determinar o gerador equivalente. Isso se deve ao fato de que qualquer associação de geradores pode ser considerada como parte de um circuito, permitindo uma simplificação na análise do circuito como um todo.

Além disso, é importante ressaltar que a conexão dos geradores em um circuito pode influenciar diretamente na eficiência energética do sistema. Uma composição em série pode aumentar a tensão total do circuito, enquanto em paralelo pode aumentar a corrente elétrica disponível. Assim, entender como esses arranjos funcionam é fundamental para a criação de circuitos mais eficientes e econômicos, evitando perdas de energia e otimizando o funcionamento dos componentes envolvidos.

Conforme mencionado anteriormente, é possível conectar geradores de diferentes maneiras em um circuito. A conexão em série é comumente utilizada em aparelhos eletrônicos modernos, pois permite que a tensão nos terminais seja aumentada. Por outro lado, o sistema em paralelo é menos frequente, pois resulta em uma diminuição da resistência e um aumento na corrente. Por fim, a ligação mista de geradores, que combina elementos das associações em série e em paralelo, é capaz de aumentar tanto a corrente quanto a tensão nos terminais. É importante escolher a montagem mais adequada para o circuito específico, a fim de obter o desempenho desejado.

Para montagem das células fotovoltaicas utilizadas neste estudo, foram escolhidos Leds azuis de alto brilho de 5mm. É relevante frisar que, ao utilizar diodos emissores de luz na montagem de sistemas fotovoltaicos, é fundamental que os Leds sejam idênticos. Isso porque a utilização de componentes diferentes pode resultar em perda de eficiência ou mesmo na falta de geração de energia elétrica. Uma vez que esses sistemas geram pouca corrente e tensão, é recomendável utilizar os fios com moderação, pois, o excesso dos mesmos podem atuar como resistores, diminuindo a eficiência do sistema.

A célula 1 foi montada com uma associação em paralelo de 5 Leds azuis idênticos, cada um atuando como um gerador. É essencial destacar novamente que a semelhança entre os componentes é crucial nesse tipo de sistema, já que a diferença entre os Leds pode levar a uma perda de eficiência. No entanto, tal perda não afetou os resultados da pesquisa. Já a célula 2 foi construída utilizando Leds azuis em um circuito misto de geradores, o que permitiu o aumento tanto da tensão quanto da corrente.

A Tabela 1 mostra a tensão e corrente elétrica das células fotovoltaicas montadas, com os testes realizados em dias de céu ensolarado, por volta das 12:00 horas da manhã, momento em que as células tiveram a maior exposição possível ao sol, garantindo assim os melhores resultados. Para minimizar possíveis erros de medição, as medidas foram repetidas em diferentes pontos, utilizando sempre o mesmo multímetro. Um ponto a destacar, é que mesmo em dias pouco ensolarados, as células ainda conseguem gerar, entretanto, em menor escala.

Tabela 1 - Dados de Tensão e Corrente obtidos pelas células fotovoltaicas.

Células	Tensão (V)	Corrente (μA)
Célula 1	2,33v	0,5 μA
Célula 2	3,36v	0,233 μA

Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Conforme os dados da tabela 1, a célula 1, que foi montada com uma associação em paralelo, gerou uma tensão de aproximadamente 2,33V e uma corrente de 0,5 μA . Embora a tensão gerada tenha sido satisfatória, considerando que as pilhas AAA geralmente têm uma tensão de 1,5V, a corrente gerada foi muito baixa, mesmo com a associação em paralelo, o que torna impraticável o uso da célula para a maioria dos dispositivos que operam em baixa tensão.

A célula 2, por sua vez, gerou uma tensão maior, atingindo cerca de 3,36V, e uma corrente menor de 0,233 μA . Assim como a anterior, não é possível ligar alguns dispositivos, já que a corrente gerada é muito baixa. A mesma foi montada utilizando uma ligação mista de 6 LEDs, o que fez com que a tensão gerada fosse ligeiramente maior e a corrente menor em comparação com a célula 1 montada em circuito paralelo.

As potências para cada célula foram calculadas a partir dos resultados da tabela 1, utilizando a equação 1 proposta por Gaspar (2015), na qual P representa a potência do gerador, V representa a tensão e I representa a corrente. Os valores resultantes estão apresentados na tabela 2 para as duas células.

$$P = V \times I \text{ (Equação 1)}$$

Tabela 2 – Potências dos geradores.

Células	Potências (W)
Célula 1	$11,65 \times 10^{-7} \text{ W}$
Célula 2	$7,838 \times 10^{-7} \text{ W}$

Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Ao analisar a tabela 2, é possível notar que a Célula 2, que foi montada com associação mista, obteve potência menor do que a Célula 1, porém, essa diferença é mínima, não afetando os resultados esperados nas experimentações. No entanto, a potência gerada por ambas as células ainda foi extremamente baixa. Para ilustrar isso, podemos comparar a potência da célula 2 com a potência de uma lâmpada de LED de 4,5W. Nesse sentido, seria necessário cerca de 5.749.152 células fotovoltaicas semelhantes a essa para fornecer energia suficiente para fazer a lâmpada funcionar.

De acordo com Pereira (2017), ao realizar medidas de corrente e tensão em células montadas com Leds de alto brilho nas cores vermelha e azul, em associações em paralelo e em série, cada uma com dois Leds, foi observado que o sistema em paralelo de Leds azuis apresentou melhores resultados em comparação com a montada em série, mostrando um ligeiro aumento na tensão gerada e uma corrente duas vezes maior do que a medida na composição em série. Vale ressaltar, que de acordo com os dados do autor, os Leds vermelhos apresentaram melhores resultados em comparação com os Leds azuis, entretanto os Leds utilizados neste trabalho foram apenas os azuis.

Conforme Pereira (2017), os resultados dos Leds de alto brilho vermelhos serem superiores aos Leds de alto brilho Azuis, pode estar ligado à composição química de cada Led, ou então, ao fato das medidas serem realizadas em horários diferentes, gerando assim uma alteração nas condições de exposição solar.

Os resultados obtidos por Pereira (2017) possui uma semelhança fundamental com este trabalho, que é a importância de se realizar testes para determinar a associação ideal de componentes para cada aplicação específica, levando em conta as características elétricas dos dispositivos a serem alimentados. No caso do presente trabalho, foi levado em consideração a tensão e corrente necessária para se ligar uma calculadora e também para realizar o processo Foto-Eletro-Fenton Solar.

Os resultados obtidos nos experimentos investigativos aplicados por Dias *et al.* (2020), acrescentam uma informação importante, que é o ângulo de inclinação, com as mesmas sendo testadas a 90° e 30°, vale lembrar, que os sistemas fotovoltaicos montadas por eles, foram feitas

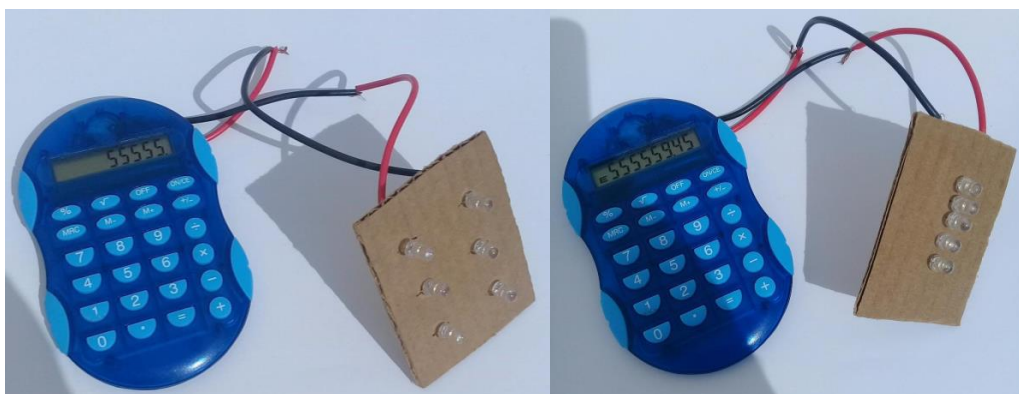
utilizando transistores, logo, os resultados de tensão e corrente apresentam certas diferenças na sua intensidade se comparado aos deste trabalho. O painel com 90° apresentou uma tensão de 8,2V, corrente de $0,4 \mu\text{A}$ e uma potência de $3,28 \mu\text{W}$. Já a célula com 30° apresentou tensão de 7,4V, corrente de $0,3 \mu\text{A}$ e potência de $2,22 \mu\text{W}$. A célula utilizada foi conectada a um circuito ligando exitosamente um pequeno relógio de cristal líquido.

As células montadas neste trabalho foram submetidas a um teste para alimentar uma pequena calculadora que funciona com pilhas de 1,5V. Para isso, foi necessário soldar pequenos fios em seus terminais. Os fios positivo e negativo dos sistemas foram então conectados aos fios da calculadora, permitindo que a corrente elétrica fluísse para a mesma e, assim, tentar ligá-la.

As calculadoras mais simples disponíveis no mercado geralmente funcionam com baixa tensão e corrente, o que significa que é possível ligá-las com uma pequena quantidade de energia gerada pelas células solares. No caso da célula 1, ela conseguiu ligar a calculadora e mantê-la funcionando sem problemas aparentes para realizar operações matemáticas. Algumas vezes, quando a intensidade da luz solar diminuía, a calculadora desligava por alguns segundos, mas, quando a intensidade aumentava novamente, a calculadora religava sem que os dados já inseridos fossem perdidos.

Já a célula 2 obteve o melhor resultado, a calculadora ligou imediatamente e pôde ser utilizada para realizar operações. Vale ressaltar que mesmo quando a intensidade solar diminuía um pouco, a calculadora não desligava. A figura 8 mostra a calculadora em funcionamento com ambas as células, destacando que elas foram inclinadas para que os Leds ficassem apontados diretamente para o sol, já que nos experimentos foi observado que os resultados são melhores quando as células são posicionadas dessa maneira.

Figura 8 – Calculadora funcionando a partir das duas células, a esquerda célula 2 e a direita célula 1.



Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

As células também foram utilizadas em POAs (Processos oxidativos avançados), no processo conhecido como Foto-Eletro-Fenton Solar para degradação do corante Azul de Metileno. Os POAs são processos que permitem a degradação de corantes, os mesmos são responsáveis pela formação do radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$). Esses processos têm ganhado crescente importância devido ao elevado potencial de oxidação dos radicais hidroxilas, permitindo que reajam com praticamente todas as classes de compostos orgânicos (GÜERE, 2014). Vale salientar que todos os reagentes foram adaptados, como por exemplo o corante alimentício, água oxigenada e também o comprimido de sulfato ferroso. A figura 9 abaixo mostra o sistema utilizado no processo.

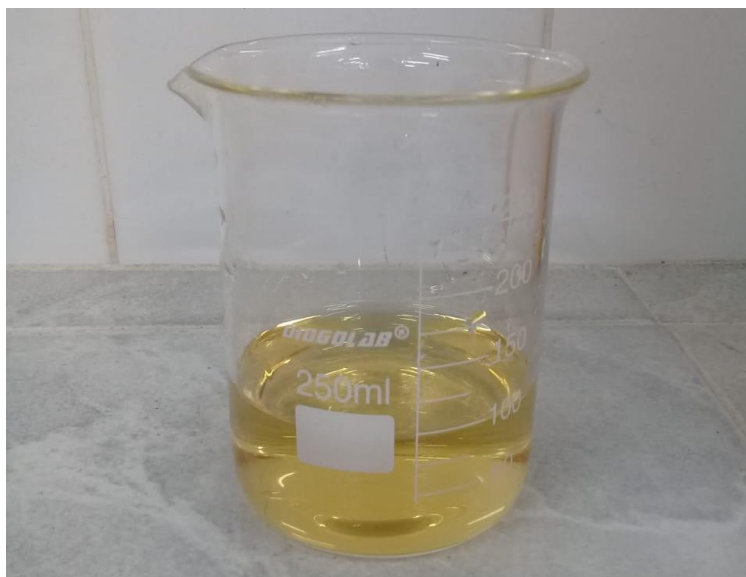
Figura 9 – Sistema utilizado para realizar o Foto-Eletro-Fenton Solar.



Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Como pode ser visto na figura acima, no início do processo a solução tem um tom azul, ao decorrer do processo a mesma vai descolorindo. Para realizar o POA, foi utilizado grafite retirados de pilhas AA para fazer com que a corrente elétrica conseguisse atravessar o líquido com maior facilidade. Na figura 10, é mostrado o resultado após o final do processo de 30 minutos.

Figura 10 – Resultado da solução após 30 minutos de processo.



Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Conforme observado, a solução descoloriu, tornando-a mais translúcida se comparada ao que pode ser visto na figura 9. Com as células fotovoltaicas construídas neste trabalho, é possível baratear estes processos e utilizá-los em sala de aula, conscientizando os alunos à preservação do meio ambiente, tanto com os debates sobre água limpa, quanto a geração de energia solar.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia solar é a maior fonte de energia disponível e é considerada limpa e renovável. Os painéis fotovoltaicos são cada vez mais comuns na sociedade atual e permitem que muitas famílias economizem em suas contas de luz. Apesar do aumento do uso desses painéis, poucas pessoas entendem como funciona o processo de conversão da energia solar em energia elétrica.

Para gerar energia elétrica, as células fotovoltaicas utilizam materiais semicondutores que produzem eletricidade quando expostos à luz. Células feitas com Leds de alto brilho são opções de baixo custo, custando cerca de R\$ 10,00 com materiais de fácil aquisição, e podem ser usadas em atividades escolares para ensinar aos alunos sobre circuitos elétricos, semicondutores, o efeito fotovoltaico, tipos de energia, associação de geradores e gerar debates sobre a importância da geração de energia limpa e renovável.

É importante ressaltar que as células fotovoltaicas montadas neste trabalho cumpriram seu objetivo com sucesso. A célula 1 gerando por volta de 2,33 volts e uma corrente de $0,5\mu\text{A}$ e a célula 2 com 3,36 volts e uma corrente de $0,233\mu\text{A}$, sendo ambas utilizadas para ligar uma calculadora e realizar operações matemáticas, mesmo sem a utilização de um capacitor para manter a corrente constante a calculadora funcionou, até mesmo quando o sol incidente na célula diminuía por decorrência de nuvens.

Em atividades experimentais investigativas em sala de aula, utilizando materiais de baixo custo e facilmente acessíveis, os alunos podem construir seus próprios conhecimentos durante a montagem de suas células, tornando todo o processo parte de sua aprendizagem e, assim, gerando conhecimentos mais significativos para eles. Essas atividades abrangem quatro dimensões: econômica, social, tecnológica e científica. A dimensão econômica é abordada por meio do diálogo sobre materiais de baixo custo e economia de energia. A social é explorada por meio de discussões sobre os impactos ambientais e a cooperação dos indivíduos na sociedade para melhorar a qualidade de vida mútua. A tecnológica é trabalhada ao explorar as células fotovoltaicas e o funcionamento da geração de energia. A dimensão científica é explorada por meio de debates sobre conceitos científicos na geração de energia elétrica, além de outros conceitos diversos que podem ser trabalhados durante os experimentos.

É importante destacar que a montagem de cada célula fotovoltaica pode levar em média 30 minutos. Dado que as aulas possuem duração de aproximadamente 50 minutos, em duas aulas é possível montar e testar ambos os sistemas ao sol, além de discutir os conceitos

relacionados à geração de energia por meio de células fotovoltaicas. Essa abordagem é apresentada como uma ferramenta de ensino altamente eficaz, pois aprimora a aprendizagem, estimula o pensamento crítico e promove a compreensão dos conceitos científicos por meio de experiências práticas e significativas.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Lei nº 13.203, de 8 de dezembro de 2015. **Dispõe sobre a repactuação do risco hidrológico de geração de energia elétrica**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 dez. 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/13203.htm. Acesso em: 06 de maio, 2023.
- BRASIL. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. **Institui o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e dá outras providências**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26 abr. 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/110438.htm. Acesso em: 17 de maio, 2023.
- ANGOTTI, J. A. P.; BASTOS, F. P.; MION, R.A. Educação em Física: Discutindo CTS. **Ciência & Educação**. v. 7, n. 2, p. 183-197, 2001.
- BACCARO, A. P. L. B.; GUTZ, I. G. R. Fotoeletrocatalise em semicondutores: Dos princípios básicos até sua conformação à nanoescala. **Química Nova**. v. 41, n. 3, p. 326-339, 2018.
- BALFOUR, J.; SHAW, M.; NASH, N. B. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos**. Tradução Luiz Claudio de Queiroz Faria; Revisão técnica Marco Aurélio dos Santos. 1.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- BOENTE, A. N. P.; SOUZA, C. M. A.; NUNES, E. C. N.; PINHO, L. C.; FERREIRA, L. E. S. Produção de Energia Limpa para Redução dos Impactos Ambientais: Estudo de Caso do Parque Eólico de Gargaú no Estado do Rio de Janeiro. In: XII SEGeT, 2015, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos** [...] Rio de Janeiro: SEGeT, 2015. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/17822318.pdf>. Acesso em: 5 de agosto, 2022.
- DIAS, V. J. P.; GAMA, E. P.; NERO, J. D.; JUNIOR, C. A. B. S. Proposta de Ensino de Ciência e Tecnologia para Alunos do 9º ano do Ensino Fundamental: Rádio e Painel Solar Caseiro. **Experiências em Ensino de Ciências**. v.15, n. 3. 2020.
- DUARTE, M. B. R.; VERAS, M. M. **Utilização de materiais de baixo custo como ferramenta de ensino aprendizagem no ensino de química: uma experiência com os alunos da Escola Estadual Joaquim Nabuco - Oiapoque/AP (1º ano do ensino médio)**. 2020. 12p. Trabalho de conclusão de curso (Pós-Graduação em Ensino de Química) – Instituto Federal do Amapá (IFAP), Macapá, Amapá, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ifap.edu.br/jspui/bitstream/prefix/415/1/DUARTE%20%282021%29-%20Utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20Materiais%20de%20Baixo.pdf>. Acesso em: 15 de dezembro, 2022.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **AEEE 2022**. Rio de Janeiro: EPE, 2022.
- GASPAR, A. **Compreendendo a Física 3: Eletromagnetismo e Física Moderna**. 2 ed. São Paulo: Ática, 2015.
- GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 10, p. 43-49, 1999.
- GÜERE, C. D. G. **Estudo da degradação do Metil parabeno utilizando processos Fenton, foto-Fenton e eletro-Fenton**. 2014. 99p. Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo, programa de pós graduação em química. São Carlos, 2014.
- LEITE, F. T. **Metodologia Científica: Métodos e Técnicas de Pesquisa**. 3ª ed. Aparecida-SP: Ideias & Letras, 2008.

LIMA, G. P. S.; FINOCCHIO, M. A. F.; FERREIRA, J. G.; GODOY, W. F. Placa fotovoltaica de diodos emissores de luz. *In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Maceió-AL, 2018. Anais eletrônicos: [...]* Maceió- AL, CONTECC, 2018. Disponível em: https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/eletrica/18_pfddedl.pdf Acesso em: 10 de abril, 2022.

MARTÍNEZ, S. H.; KOBERLE, A.; ROCHEDO, P.; SCHAEFFER, R.; LUCENA, A.; SZKLO, A.; ASHINA, S.; VUUREN, D. P. Possible energy futures for Brazil and Latin America in conservative and stringent mitigation pathways up to 2050. **Technological Forecasting & Social Change**. v. 98, p. 186-210, 2015.

MOYSÉS, H. N. **Curso de Física Básica: Ótica, Relatividade, Física Quântica**. 2 ed, São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

NASCIMENTO, C. A. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. Minas Gerais, 2004. 21p. Monografia (Pós-Graduação Lato-Sensu) – Universidade Federal de Lavras (UFLA), 2004.

OLIVEIRA, V.H.P.; SILVA, I.P. O cenário atual no mundo e a importância da utilização de fontes de Energia Eólica e Solar. *In: Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, São Cristóvão- SE, 2015. Anais eletrônicos: [...]* São Cristóvão- SE, p.124-136. 2015. Acesso em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/7752/2/ImportanciaEnergiaEolicaSolar.pdf>. Disponível em: 5 de agosto, 2022.

PEREIRA, M. P. B. **Usando o Led na produção de energia limpa e renovável: Construção de mini placas solares fotovoltaicas**. Patos - PB, 2017. 53 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Licenciatura plena em Física) – Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), 2017.

SILVA, E. F. A.; SANTOS, S. M.; SILVA, A.F.P.; OLIVEIRA, P. C. C.; BENIGNO, A. P. A. A utilização de materiais de baixo custo e de fácil aquisição para realização de experimento de química para alunos das séries iniciais (6º-9º ANO): Uma ferramenta como descoberta da química- Oficina. **Revista de Extensão do Instituto Federal de Alagoas - EXTIFAL**. v. 1, n. 1, p. 1-6, 2013.

SILVA, R. R.; MACHADO, P. F. L.; TUNES, E. Experimentar sem medo de errar. SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Orgs). **Ensino de Química em Foco**. 1. ed. Ijuí: Unijuí, p. 231-261, 2010.

SILVA, J. E. S. R. **Células Fotovoltaicas Estado da Arte e Perspectivas Futuras**. 2014. 94p. Dissertação (Mestrado) – Universidade da Beira Interior, 2014, Corvilhã.

SILVEIRA, J. L; TUNA, C. E; LAMAS, W. Q. The need of subsidy for the implementation of photovoltaic solar energy as supporting of decentralized electrical power generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 20, p. 133-141, 2013.

SIQUEIRA, V. L. **Desenvolvendo uma experiência investigativa com célula fotovoltaica para o ensino de ciências**. 2020. 46p. Monografia (Especialista na pós graduação em Ensino de Ciências) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2020. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/28790/3/desenvolvimentocelulafotovoltaica..pdf> Acesso em: 10 de abril de 2023.

YANG, H.; WANG, L.; TIAN, L. Evolution of competition in energy alternative pathway and the influence of energy policy on economic growth. **Energy**, v. 88, p. 223-233, 2015.