

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE LANTERNA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA DIFUSÃO DE APLICAÇÕES DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

Victor Parente de Oliveira Alves¹

Pedro Bentes Lobato²

João Durval Souza Marruaz da Silva³

Claudomiro Fábio de Oliveira Barbosa⁴

Marcos André Barros Galhardo⁵

RESUMO:

A utilização de fontes de energia com menor impacto ambiental tem crescido no mundo, visando à transição energética e ao desenvolvimento sustentável. Contudo, ainda existe a necessidade de ações de difusão de conhecimentos teóricos e experimentais envolvendo o funcionamento e a utilização de tecnologias associadas às fontes renováveis de energia. Com o objetivo de disseminar conhecimentos teóricos e práticos relacionados às aplicações das energias renováveis, este artigo apresenta a metodologia empregada e os resultados obtidos na execução de um projeto de ensino sobre a aplicação da energia solar fotovoltaica. A ação tem o intuito de repassar conhecimentos por meio do desenvolvimento de um protótipo de Lanterna Solar Fotovoltaica para discentes em diferentes níveis de escolaridade, do ensino médio, regular e técnico, ao superior, nos municípios de Belém-PA e Abaetetuba-PA. As apresentações são realizadas em formato de oficinas de aprendizagem divididas em parte teórica e prática. Com uma abordagem qualitativa e quantitativa, busca-se avaliar a eficácia do protótipo da lanterna solar no

¹ Universidade Federal do Pará (UFPA), Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE).
E-mail: victor.oliveira.alves@itec.ufpa.br  <https://orcid.org/0000-0002-5857-3923>

² Universidade Federal do Pará (UFPA), Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE).
E-mail: pedro.lobato@itec.ufpa.br  <https://orcid.org/0000-0001-5102-9178>

³ Universidade Federal do Pará (UFPA), Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE).
E-mail: joao.marruaz.silva@itec.ufpa.br  <https://orcid.org/0009-0001-1162-5343>

⁴ Universidade Federal do Pará (UFPA), Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE).
E-mail: cfob@ufpa.br  <https://orcid.org/0000-0001-6557-1048>

⁵ Universidade Federal do Pará (UFPA), Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE).
E-mail: galhardo@ufpa.br  <https://orcid.org/0000-0001-6248-5187>

cumprimento dos objetivos por meio de formulários estruturados contendo perguntas que abrangem o contato prévio com ações deste tipo, desempenho dos monitores, facilidade na montagem do protótipo e satisfação geral. Os participantes respondem de forma anônima e é realizada a categorização de respostas abertas para entender percepções e sugestões. Os dados coletados evidenciam que, apesar de alguns desafios enfrentados por parte do público-alvo na etapa de prototipagem eletrônica, os participantes reconheceram a atuação eficaz dos monitores para repassar o conhecimento e a relevância da atividade, refletida nos 72% dos estudantes que classificaram as oficinas de aprendizagem como totalmente relevante. A avaliação positiva majoritária reforça a importância de iniciativas educacionais voltadas à difusão de tecnologias baseadas em energia solar fotovoltaica.

PALAVRAS-CHAVE:

Energia Solar, Lanterna Solar, Oficina de Aprendizagem.

DEVELOPMENT OF A SOLAR PHOTOVOLTAIC LANTERN PROTOTYPE FOR THE DISSEMINATION OF RENEWABLE ENERGY APPLICATIONS

ABSTRACT:

The use of energy sources with lower environmental impact has been increasing worldwide, aiming at energy transition and sustainable development. However, initiatives still need to disseminate theoretical and experimental knowledge regarding the operation and application of technologies associated with renewable energy sources. With the aim of disseminating theoretical and practical knowledge related to the applications of renewable energies, this article presents the methodology employed and the results obtained from implementing an educational project focused on applying photovoltaic solar energy. The initiative aims to share knowledge by developing a Photovoltaic Solar Lantern prototype for students at various academic levels—from high school (both regular and technical) to higher education—in the municipalities of Belém-PA and Abaetetuba-PA. The sessions are conducted as learning workshops, divided into theoretical and practical components. Through both qualitative and quantitative approaches, the project seeks to evaluate the effectiveness of the solar lantern prototype in meeting its objectives. This is achieved using structured questionnaires containing questions related to prior exposure to similar activities, the performance of workshop facilitators, ease of assembling the prototype, and overall participant satisfaction. Participants respond anonymously, and open-ended responses are categorized to understand perceptions and suggestions better. The collected data highlight that,

6

although some participants in the target audience faced difficulties with electronic prototyping, they acknowledged the effective role of the facilitators in delivering knowledge and emphasizing the importance of the activity. This is reflected in the 72% of students who rated the learning workshops as highly relevant. The overall positive evaluation reinforces the significance of educational initiatives aimed at disseminating photovoltaic solar energy technologies.

KEYWORDS:

Solar Energy, Solar Lantern, Workshop.

1. INTRODUÇÃO

As constantes evoluções econômicas e tecnológicas no decorrer dos anos estão fortemente ligadas a ampliação da disponibilidade de recursos energéticos, destacando-se ultimamente, no contexto, a energia elétrica. De acordo com a International Energy Agency (IEA, 2025), há projeções de que a demanda por eletricidade cresça cerca de 4% ao ano, até 2027. Assim sendo, as crescentes preocupações ambientais, juntamente com o clamor pela diversificação da matriz energética, por meio da expansão do uso de fontes alternativas e renováveis, fazem do Brasil protagonista na transição energética, cuja matriz elétrica é composta por 84,25% de fontes renováveis, das quais a geração hídrica corresponde a 55% desse valor (ANEEL, 2024).

Mesmo com o cenário promissor em relação à geração de eletricidade, e da presença crescente das fontes renováveis para sua geração, a parcela da população mundial que segue sem acesso à eletricidade ainda é significativa, representando aproximadamente 8,9% da população mundial -em 2024, cerca de 737 milhões de pessoas, segundo dados apresentados em IEA (2024). Apesar da diminuição deste número nos últimos anos, o qual era da ordem de 1 bilhão de pessoas em 2018, segundo IEA (2018), fatores como a pandemia de *Coronavirus Disease* 2019 (COVID-19) e a guerra da Ucrânia/Rússia contribuíram para que projeções das Nações Unidas (2024) indiquem que, em 2030, a taxa de pessoas sem energia elétrica seja similar à de 2022.

A África, em especial a região subsaariana, é a parte do mundo em que há o menor índice de acesso à energia elétrica por meio da rede de distribuição convencional, o que leva ao

crescimento de projetos *off-grid*⁶ para fornecimento de energia elétrica às pessoas residentes nessas localidades. De acordo com publicação na especializada PV Magazine, Bellini (2019) indica um apoio ao Projeto de Eletrificação Off-Grid Regional (ROGEP) por meio do banco central com incentivo financeiro da ordem de 250 milhões de dólares para implementação de projetos off-grid visando atender 19 países do oeste Africano.

Assim como outros países, o Brasil também apresenta desabastecimento de energia elétrica em determinadas regiões. Conforme dados do censo, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), no ano em questão o número de residências brasileiras sem energia elétrica era igual a 728.512, sendo 251.207 destas na região Norte. Ressalta-se que, no censo de 2022, não foi investigada a existência de energia elétrica nos domicílios brasileiros e, portanto, não está sendo citado no referido trabalho. Todavia, dados do IBGE (2023) referentes à PNAD contínua, mostram que a Região Norte registrou o menor percentual de domicílios com energia elétrica proveniente da rede geral.

Em 2018, segundo dados do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA, 2020), no território correspondente à Amazônia Legal, quase um milhão de pessoas encontram-se sem acesso à eletricidade, sendo o Pará o Estado com a maior população nessas condições. Apesar dos avanços em programas governamentais relacionados ao acesso à energia elétrica (como o Luz para Todos e Mais Luz para Amazônia), ainda há uma parcela da população brasileira sem o suprimento de eletricidade, sendo mais de 327 mil famílias considerando apenas a Amazônia Legal (MME, 2024). Números como estes intensificam a importância de projetos que fazem uso de fontes alternativas de energia, como a solar fotovoltaica, para geração de energia elétrica para fins de atendimento a esses domicílios.

As fontes renováveis de energia não são restritas à geração de eletricidade em grande escala, podendo ser utilizadas para realização de projetos de pequeno porte, apenas para suprimento de determinada demanda em regiões isoladas ou em áreas rurais que ainda não são abastecidas com eletricidade ou que utilizam fontes poluentes como geradores à diesel; ainda,

⁶ Fora da Rede pública de distribuição de energia elétrica

um dos principais usos de pequeno porte de sistemas envolvendo energia solar fotovoltaica é a iluminação. Nessa perspectiva, o Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) da Universidade Federal do Pará (UFPA) desenvolve projetos de eletrificação dessas comunidades desabastecidas. Em Pinho *et al.* (2008) são mostradas algumas das iniciativas realizadas pelo grupo, das quais destacam-se aplicações *off-grid* de utilização da energia solar fotovoltaica para bombeamento de água e para fornecimento de energia elétrica visando atender um conjunto de residências e atividades produtivas nessas comunidades.

O GEDAE já produziu diversos trabalhos envolvendo a disseminação do ensino de temas relacionados às energias renováveis, sempre empregando diferentes metodologias e tecnologias, a fim de contribuir para o processo ensino-aprendizagem da melhor forma possível. Alguns trabalhos desenvolvidos por membros do grupo são Fonseca *et al.* (2016), Fonseca *et al.* (2018), Sousa *et al.* (2018), Torres *et al.* (2019), Alves *et al.* (2019), Galhardo *et al.* (2019), Fonseca *et al.* (2020) e Lobato *et al.* (2022). Dentro desse contexto educacional, o presente artigo trata da apresentação de um protótipo de lanterna solar, desenvolvido como ferramenta didática e prática, com o objetivo de difundir conhecimentos a respeito de aplicações das energias renováveis. Além disso, busca-se explorar conceitos fundamentais em engenharia, aplicados a um modelo funcional para suprir, por meio de fonte alternativa de energia, uma necessidade básica da vida humana: a iluminação. Além disso, por meio do protótipo desenvolvido, muitos dos participantes têm a oportunidade de utilizar pela primeira vez equipamentos para medições de parâmetros elétricos, instigando a curiosidade e a busca por novos conhecimentos sobre o assunto.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As lanternas solares surgem como uma solução prática e viável para atender às demandas de iluminação artificial em regiões com acesso limitado ou inexistente à rede elétrica convencional. Estas fazem uso da energia solar fotovoltaica para carregamento do sistema de armazenamento de energia formado por baterias para uso posterior. Sua aplicação tem crescido significativamente em contextos educacionais, de pesquisa, rurais e de comunidades isoladas devido ao baixo custo operacional e reduzidos impactos ambientais. Essas tecnologias contribuem

para a disseminação do uso de fontes renováveis, alinhando-se a objetivos globais de desenvolvimento sustentável.

A pesquisa envolvendo lanterna solar é extensa e possui registros na literatura da década de 1990, como exemplificado pelo trabalho de Roy e Jana (1998). Os autores fazem a avaliação de programas envolvendo lanternas solares e seus impactos no bem-estar da população residente das comunidades rurais estudadas. Os resultados obtidos mostraram que as pessoas eram favoráveis em obter um serviço de iluminação eficiente por meio das lanternas solares. Velayudhan (2003) também explora a linha de pesquisa referente a programas governamentais para promoção das lanternas solares. Usando a estrutura de difusão de inovações, o autor fornece implicações para a formulação de programas de disseminação do uso de lanternas solares na Índia.

Destaca-se que a recarga da bateria presente no conjunto de uma lanterna solar é um fator imprescindível para o correto funcionamento do equipamento. Com isso, Chaurey e Kandpal (2009) investigam em seu trabalho a viabilidade de uma abordagem não tão comum, a recarga por meio de uma estação centralizada. Devido aos altos custos envolvidos, os autores concluíram que um sistema de carregamento centralizado não é viável em comparação a outras abordagens disponíveis no mercado. Neste sentido, sistemas de iluminação de pequeno porte formado por lanternas solares se mostram viáveis, havendo iniciativas de grande alcance envolvendo esses sistemas, como o apresentado em SolarAid (2025) em que 2,3 milhões de pequenas lanternas solares foram distribuídas a famílias residentes no território da África Subsaariana.

Pessoas em condições de pobreza energética estão em condição significativamente desfavorável quando comparadas àquelas que residem em centros atendidos pela rede elétrica. Comumente nas localidades menos beneficiadas, faz-se uso de lamparinas à querosene, alternativa que sabidamente não é eficiente e seguro. Lanternas solares, neste sentido, fornecem melhor iluminação, além de contribuir para a economia financeira relacionada à aquisição de combustível para as lamparinas (LEMAIRE, 2018). Salienta-se que uma iluminação de melhor qualidade e com maior disponibilidade impacta positivamente em uma atividade essencial para o desenvolvimento humano, a educação. Em Stonjanovski *et al.* (2021) e Kudo, Shonchoy e

Takahashi (2019) são investigados os efeitos na educação provenientes da atuação de lanternas solares, com resultados indicando que a maior disponibilidade de iluminação contribuiu para o aumento do tempo dedicado ao estudo por crianças nas comunidades estudadas.

Um outro assunto abordado na literatura acerca das lanternas solares é a segurança. Devido ao uso de produtos inflamáveis como combustível e não possuírem boa capacidade de iluminação, as lamparinas aumentam o risco de acidentes. Sperry *et al.* (2023) mostra que a iluminação proveniente de lanternas solares é um recurso para segurança noturna, uma vez que aumenta a visibilidade durante esse período, reduzindo o risco de escorregões, tropeços ou quedas, especialmente para idosos.

Cabe ressaltar que, apesar de diversos benefícios atrelados à utilização de lanternas solares, existem outros tipos de sistemas alternativos. Uma exemplificação são os *Solar Home Systems* (SHS). Um SHS, normalmente, compreende o suprimento de outros equipamentos além da iluminação, porém, também podem ser exclusivos para equipamentos de iluminação. Cada uma das alternativas possui suas particularidades e preferências por parte dos usuários. Bond, Aye e Fuller (2010) apresenta uma comparação entre lanternas solares e SHS de capacidades similares no Timor Leste. Os resultados apontam para uma preferência da população aos SHS de 82%, enquanto os 18% que preferem as lanternas solares indicam a portabilidade como principal fator de preferência.

Diante do exposto, observa-se que as lanternas solares vêm sendo amplamente exploradas em diferentes contextos, demonstrando sua versatilidade e relevância social, ambiental e educacional. Os estudos evidenciam o potencial dessa tecnologia como ferramenta de inclusão, aprendizado e desenvolvimento local. Esse panorama reforça a importância de iniciativas que estimulem sua aplicação e adaptação a realidades diversas, como a proposta abordada no presente trabalho.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

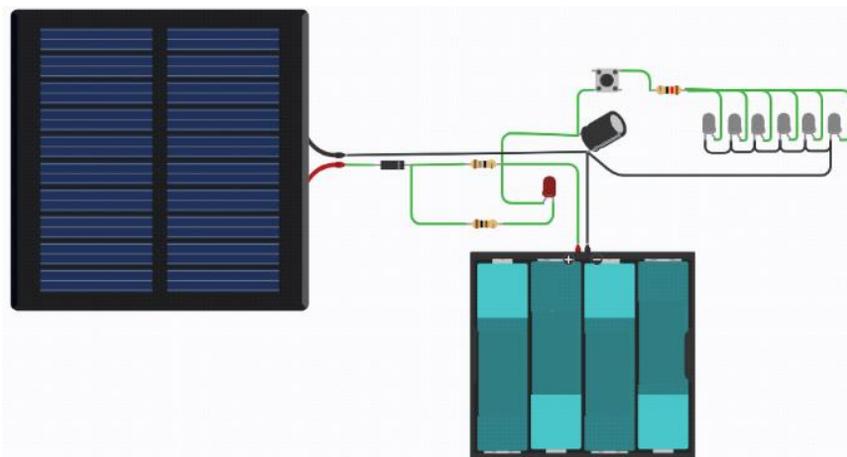
O protótipo é fruto de um projeto de ensino iniciado em 2018 que está atualmente em sua segunda versão, seguindo em aprimoramento para versões posteriores. Ambas são utilizadas nas

apresentações e, desde o primeiro modelo, sempre foi levado em consideração a necessidade de um circuito acessível e de fácil montagem, visto que, para muitos dos discentes, especialmente os de ensino médio, seria o primeiro contato prático com a prototipagem eletrônica.

3.1. CIRCUITO DA LANTERNA SOLAR FOTOVOLTAICA

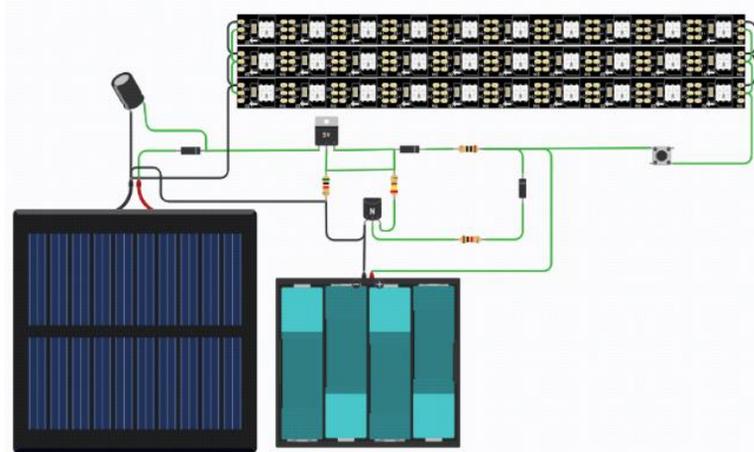
A lanterna solar fotovoltaica possui dois circuitos. O primeiro, é dimensionado para acionar seis diodos emissores de luz (*Light Emitting Diode* - LED) brancos de alto brilho utilizando componentes básicos como resistores e capacitores, com enfoque maior na transmissão de conceitos referentes a circuitos elétricos, eletrônica e energias renováveis, conforme mostrado em Alves *et al.* (2019). O segundo circuito, no entanto, é pensado para ser mais eficiente energeticamente e, além de explorar os temas anteriormente citados, mostrar a real aplicabilidade do protótipo desenvolvido, uma vez que ele utiliza uma matriz formada por trinta LEDs SMD brancos de alto brilho, capazes de realizar a iluminação de um ambiente interior de forma mais eficaz. Os dois circuitos desenvolvidos pelo GEDAE são apresentados nas Figuras 1 e 2.

Figura 1: Circuito do primeiro protótipo desenvolvido



Fonte: Elaborada pelos autores (2018)

Figura 2: Circuito do segundo protótipo desenvolvido



Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

A primeira versão do protótipo experimental (denominada de Protótipo Um) foi concebida para ser mais simplificada, a fim de melhor entendimento e assimilação dos conceitos envolvidos na abordagem inicial da etapa prática. Neste protótipo, a geração é realizada por meio de dois módulos fotovoltaicos de 1,2 Wp conectados em paralelo, tendo como parâmetros, aproximadamente, 10 V de tensão de circuito aberto e 300 mA de corrente de curto-circuito. Já o sistema de armazenamento de energia é constituído por quatro pilhas recarregáveis de 1,2 V/2.900 mAh conectadas em série, totalizando 4,8 V/2.900 mAh. Ressalta-se que o mesmo sistema de armazenamento de energia e geração fotovoltaica são utilizados em ambos os circuitos, buscando o reaproveitamento de componentes.

O Protótipo Dois passa a ser mais robusto com a adição de novos componentes que não se fazem presentes na primeira versão, como o regulador de tensão, responsável por abaixar e regular o nível de tensão de 10 V do módulo fotovoltaico para próximo dos 5 V, alimentando a bateria com uma tensão próxima a nominal. Outro dispositivo incluído é o Diodo Zener, responsável por proteger a bateria contra sobrecargas, ao fornecer um circuito alternativo à passagem de corrente elétrica quando atingir sua tensão de ruptura, impedindo, então, a injeção de corrente na bateria.

Em relação à carga e descarga da bateria, atribui-se que em níveis de tensão da ordem de 4,5 V (tensão para o diodo zener operar na região de ruptura) a bateria é considerada como

carregada e 2,5 V como descarregada, já que os LEDs não trabalharão com sua iluminância total. Isso impede que as pilhas sofram com uma descarga profunda ou sobrecarga e, conseqüentemente, com a diminuição da sua vida útil.

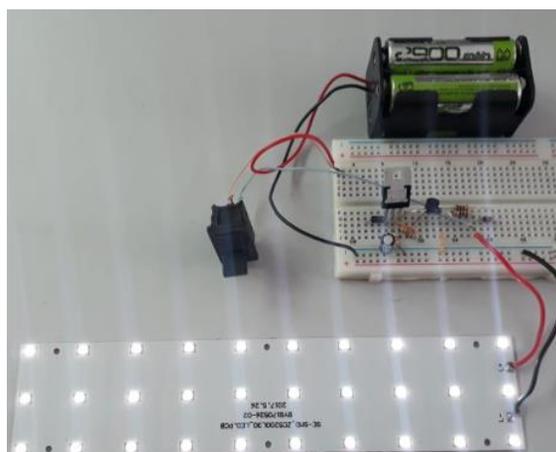
Ademais, o circuito torna-se mais eficiente ao diminuir consideravelmente as perdas envolvidas no conjunto, a exemplo das perdas por efeito Joule nos resistores, o que é comprovado por meio de testes realizados e abordados em tópicos posteriores. Nas Figuras 3 e 4 são apresentadas as duas versões da Lanterna Solar Fotovoltaica, montadas em matriz de contato para comparação entre os circuitos.

Figura 3: Circuito da primeira versão da Lanterna montado em matriz de contatos



Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Figura 4: Circuito da segunda versão da Lanterna montado em matriz de contatos



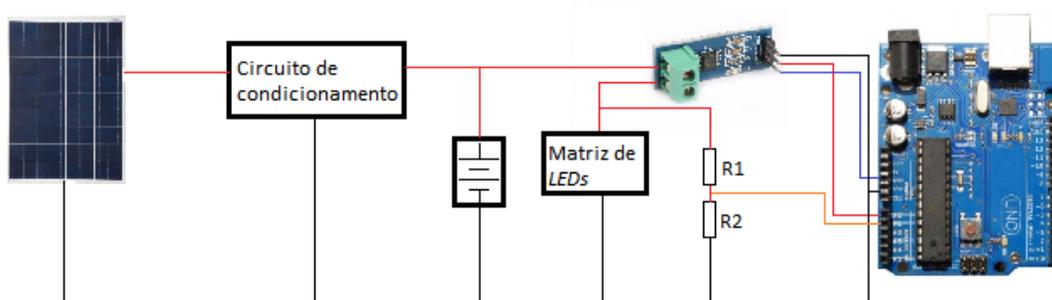
Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

3.2. TESTES REALIZADOS EM LABORATÓRIO

A Lanterna Solar Fotovoltaica é projetada para possuir autonomia de iluminação de aproximadamente quatro horas. Sendo assim, realiza-se o teste prático de descarga da bateria para comprovar se a especificação determinada em projeto é atendida. Para analisar o comportamento das grandezas elétricas fornecidas à carga de iluminação pela bateria, implementa-se um sistema de medição com a utilização da plataforma Arduino para a captação dos valores de tensão e corrente.

O sistema de medição consiste na utilização de um sensor de corrente de efeito Hall (modelo ACS712) conectado nos terminais de saída do circuito da Lanterna Solar Fotovoltaica, seccionando o ponto onde está a matriz de LEDs e, então, efetuando a leitura da corrente fornecida. Além disso, como os LEDs são acionados com tensão variando entre, aproximadamente, 3,5 V a 2,5 V. Destaca-se que estes valores são suportados pela porta analógica do Arduino e não foi necessário utilizar um sensor específico para medição de tensão. Contudo, para o mapeamento do sinal na faixa desejada e não da faixa total suportada pela porta analógica do Arduino (0 V a 5 V), a leitura foi realizada por intermédio de um divisor de tensão. A disposição dos sensores pode ser observada conforme diagrama da Figura 5.

Figura 5: Esquemático de conexão do sistema de medição



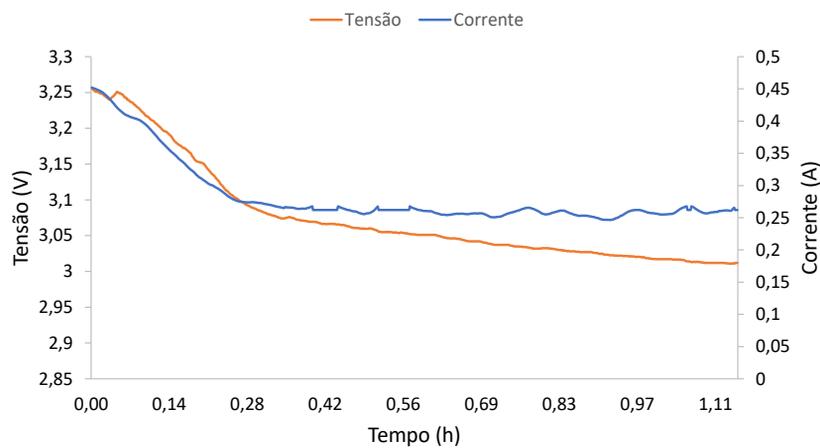
Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

O teste de tensão e corrente fornecidos à matriz de LEDs é realizado para verificar se o tempo estimado durante o projeto para o funcionamento da lanterna solar está coerente com a prática. Para este fim, mantém-se a matriz operando durante aproximadamente uma hora e vinte

minutos, sendo os valores de tensão e corrente coletados a cada cinco segundos para esboço da curva de decaimento das grandezas em função do tempo.

A iluminação proveniente dos LEDs é adequada até níveis de tensão da ordem de 2,5 V e corrente próximas de 150 mA. Com base nisso, é possível verificar na Figura 6 que, durante o teste, as grandezas elétricas se mantêm dentro dessa faixa.

Figura 6: Valores medidos de tensão e corrente na matriz de LEDs em função do tempo



Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Fazendo-se uma projeção de decaimento de 0,2 V por hora, para quatro horas de funcionamento, a tensão sobre a matriz de LEDs será de algo em torno de 2,45 V, valor bem próximo do limite definido anteriormente. Para a corrente elétrica, seu decaimento ao longo do teste foi de aproximadamente 0,23A, tendo como menor valor obtido 0,29 A.

4. METODOLOGIA E APRESENTAÇÕES

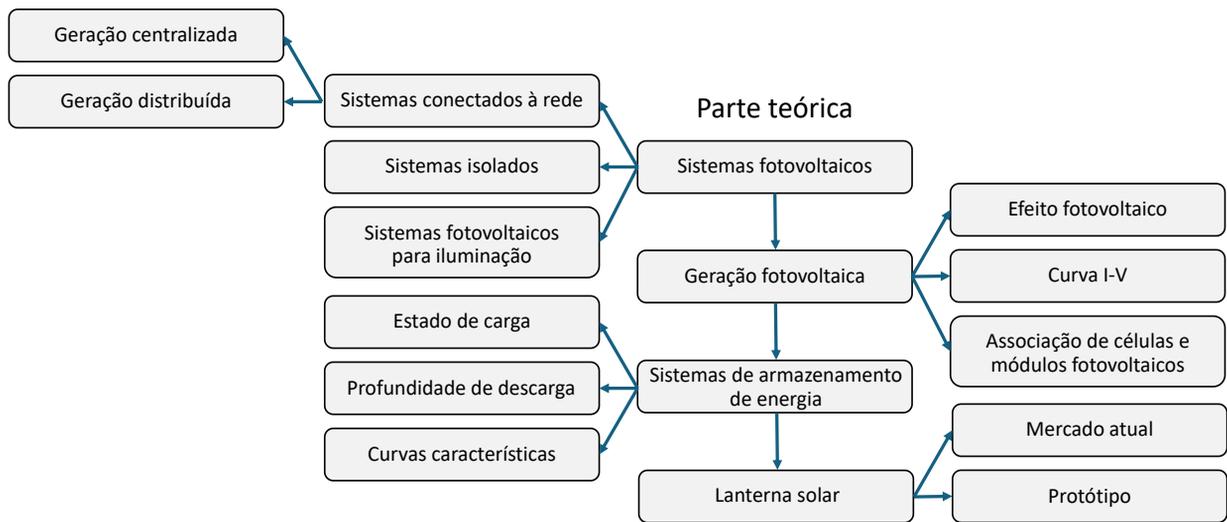
O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, uma vez que conhecimentos teóricos e práticos sobre energias renováveis são empregados na construção de um protótipo funcional de lanterna solar fotovoltaica, voltado à solução de uma demanda real: o acesso à iluminação por meio de uma fonte de energia renovável. Além disso, adota-se o método de investigação participativa, ao envolver ativamente os participantes (discentes em diferentes níveis de escolaridade) no processo de montagem e avaliação do funcionamento do protótipo, promovendo uma aprendizagem colaborativa e contextualizada.

Neste contexto, as apresentações são realizadas em formato de oficina, a fim de tornar o processo de ensino e de aprendizagem atrelado à prática. Ela foi pensada para ocorrer no período diurno e possuir duração de duas horas, distribuídas em quarenta minutos para a parte teórica e uma hora e vinte minutos para a parte prática. Salienta-se que o tempo destinado à parte prática das oficinas pode variar conforme o público-alvo. Isso acontece pois em algumas ocasiões há certa dificuldade por parte dos discentes participantes, em especial com os alunos do ensino médio, que ainda não tiveram contato com os conceitos abordados, tampouco com prototipagem eletrônica.

A primeira etapa das apresentações é constituída pela parte teórica. Com isso, buscando uma melhor dinâmica de aprendizagem e assimilação por parte dos alunos, foram produzidos dois materiais para apoio didático. Primeiramente, slides para apresentação de tópicos fundamentais como: sistemas fotovoltaicos, geração fotovoltaica, sistemas de armazenamento de energia e lanternas solares. Complementarmente, há um roteiro (também utilizado na parte prática) para auxílio dos discentes participantes. O material foi produzido utilizando linguagem acessível sobre os temas técnicos mencionados anteriormente, acrescido do detalhamento dos componentes utilizados no protótipo, tanto no que diz respeito ao respectivo funcionamento no circuito quanto a formulação matemática envolvida na caracterização destes.

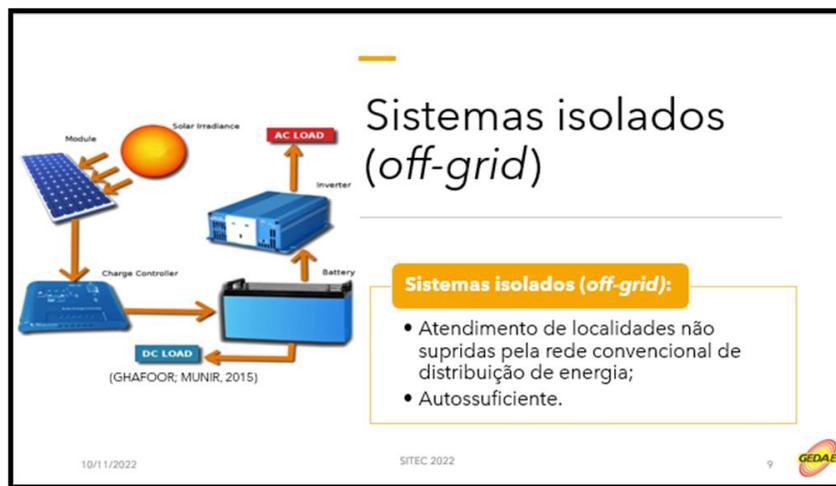
Salienta-se que o roteiro é disponibilizado tanto em formato digital, quanto impresso. Com isso, há maior interação dos participantes uma vez que eles podem realizar anotações e, caso desejem, consultar o material produzido posteriormente. Na Figura 7 verifica-se o fluxo de apresentação com detalhamento do conteúdo ministrado nas oficinas, enquanto nas Figuras 8 e 9 mostra-se, respectivamente, uma amostra do slide e do roteiro produzidos pela equipe do GEDAE.

Figura 7: Conteúdo ministrado na parte teórica das oficinas



Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Figura 8: Amostra do slide utilizado na apresentação da parte teórica



Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Posteriormente, durante a parte prática das oficinas, para maior organização, os discentes são divididos em quatro grupos de até cinco pessoas, garantindo que todos façam parte do processo, especialmente o de montagem do circuito na matriz de contatos. Nesse momento, o corpo técnico (monitores e ministrantes) da oficina fica auxiliando na montagem e sanando eventuais dúvidas. Após concluída a montagem, os integrantes de cada grupo seguem à área externa para experimento em sol real, para também com o apoio dos monitores, realizar as

medições das grandezas elétricas, comprovando o correto funcionamento do protótipo apresentado. Para o caso de a oficina ocorrer em um período chuvoso, sem a possibilidade de realizar as medições em sol real, utilizou-se iluminação artificial nos experimentos por meio de refletores halógenos. A Figura 10 explicita as etapas realizadas na parte prática das oficinas.

Figura 9: Amostra do roteiro produzido

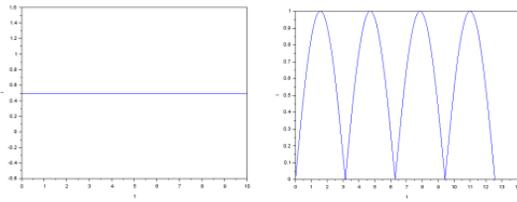
Página 4 de 16

Matematicamente, a relação entre corrente e carga é dada pelas expressões 1 e 2, respectivamente (Alexander e Sadiku, 2013).

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$
$$q = \int_{t_0}^t i dt \quad (2)$$

Existem dois tipos de corrente elétrica, contínua e alternada. A corrente contínua é caracterizada quando não há variação no sentido do fluxo ordenado de cargas. Dentro do grupo de corrente contínua, há a divisão entre corrente contínua constante, que acontece quando a curva no gráfico $i \times t$ é um segmento de reta não variável (figura 1) e a contínua pulsante quando há variações nos valores de corrente, pois existe tanto a componente c.c quanto c.a, porém não há alteração de seu sentido (figura 2). Essa última é comumente encontrada em circuitos retificadores de corrente alternada.

Figura 1: Corrente contínua constante. Figura 2: Corrente contínua pulsante.

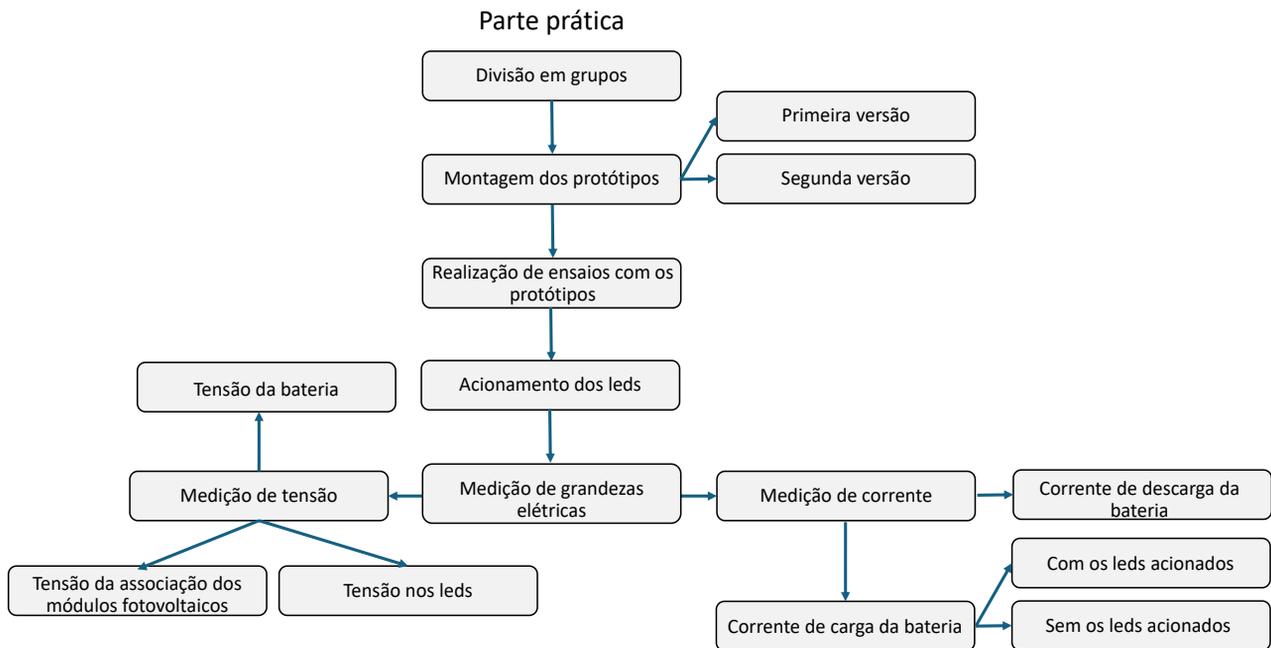


Ademais, a corrente alternada (figura 3) é aquela que varia ao passar do tempo, alternando seus valores entre positivos e negativos, portanto, variando seu sentido.

OFICINA PRÁTICA – LANTERNA SOLAR 

Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Figura 10: Fluxo de realização da parte prática.



Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

A maioria das apresentações aconteceram na cidade de Belém/PA, porém, houve também uma edição em uma comunidade ribeirinha não atendida pela rede elétrica convencional, localizada às margens do rio Urubuêua, no município de Abaetetuba/PA. As Figuras de 11 a 16 mostram algumas apresentações realizadas pelo GEDAE ao longo dos anos, com os registros fotográficos abrangendo diferentes níveis educacionais.

Figura 11: (A) Demonstração dos conceitos de circuitos elétricos e eletrônica aplicados à lanterna solar e (B) Grupos realizando a montagem do circuito do protótipo da lanterna solar. Discentes de Engenharia Elétrica da UFPA - 2019



(A)



(B)

Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Figura 12: (A) Demonstração dos conceitos gerais de energia solar fotovoltaica, circuitos elétricos e eletrônica e (B) Estudante realizando medições de grandezas elétricas no protótipo da lanterna solar já montado. Discentes do ensino médio da Escola de Aplicação da UFPA – 2019



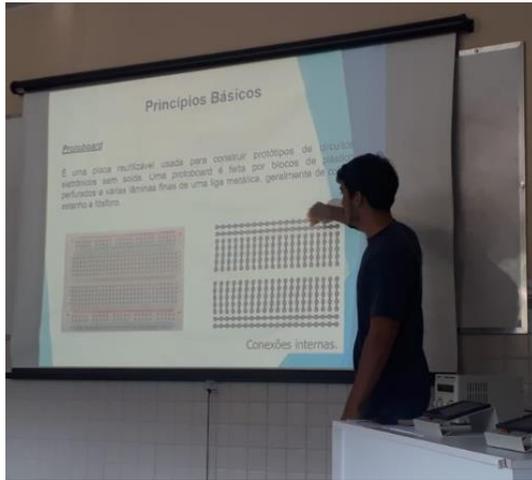
(A)



(B)

Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Figura 13: (A) Demonstração dos princípios básicos de prototipagem eletrônica e (B) Grupo realizando a montagem do circuito do protótipo da lanterna solar. Discentes do ensino técnico da Escola Celso Malcher – 2019



(A)



(B)

Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Figura 14: (A) Discussão sobre o funcionamento dos componentes que compõem o protótipo e (B) Grupo sendo instruído para a montagem do protótipo da lanterna solar. Discentes do ensino médio da Escola Nossa Senhora da Luz, comunidade do rio Urubuêua – 2019



(A)



(B)

Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Figura 15: (A) Discussão sobre geração solar fotovoltaica e (B) Grupo em campo realizando medições de grandezas elétricas no protótipo já montado. Discentes de Engenharia Elétrica da UFPA – 2022



(A)



(B)

Fonte: Elaborada pelos autores (2022)

Figura 16: (A) Demonstração do uso de lanternas solares (B) Grupo realizando a montagem do circuito do protótipo da lanterna solar. Discentes de Engenharia Elétrica da UFPA – 2023



(A)



(B)

Fonte: Elaborada pelos autores (2023)

As oficinas aconteceram tanto no prédio do GEDAE, na UFPA, com oferta em eventos acadêmicos como a “Semana do Calouro” ou conforme a demanda, quanto em visitas em escolas. Ressalta-se que o projeto ficou sem edições durante os anos de 2020 e 2021 devido à pandemia

de COVID-19. Até o momento, o projeto de ensino por meio da iniciativa das oficinas envolveu cerca de 130 discentes do ensino médio, técnico e superior no papel de participantes, e mais de 10 pessoas como monitores e ministrantes. Após cada edição da oficina, como forma de incentivo no aprofundamento sobre os assuntos abordados, cada discente recebe um certificado de participação podendo este ser utilizado, por exemplo, para computar carga horária complementar obrigatória do Curso de Graduação.

Ainda, buscando a melhoria contínua, ao final das oficinas de aprendizagem é aplicado um formulário estruturado avaliativo, servindo como instrumento para coleta de dados sobre as apresentações. Com isso, a equipe pode realizar uma análise quantitativa e qualitativa acerca de tópicos primordiais como o conhecimento prévio sobre energias renováveis e contato com ações que as envolvam, facilidade na montagem do circuito, a capacidade dos monitores e ministrantes em repassar os conceitos relacionados à eletrônica, circuitos elétricos e energias renováveis. Vale ressaltar que as oficinas de aprendizagem estão vinculadas a um projeto de ensino desenvolvido no âmbito do programa LABINFRA, da Universidade Federal do Pará, e os formulários aplicados estão em conformidade com as regras necessárias à sua aplicabilidade. Ademais, o preenchimento acontece de forma anônima, assim, os participantes se sentem mais à vontade para fornecer respostas verdadeiras e sugestões.

Os dados obtidos são categorizados para análise quantitativa e qualitativa. Em termos quantitativos, por meio de estatística descritiva, como cálculo de médias e percentuais, a fim de estabelecer relações entre variáveis, como por exemplo, o nível de interação dos participantes com o *kit* de componentes e a facilidade percebida na montagem do protótipo. Uma etapa primordial no tratamento desses dados é a visualização gráfica para representação e interpretação dos resultados de forma mais intuitiva e assertiva. Na conjuntura qualitativa, busca-se uma análise de sentimento dos participantes com a avaliação do tom das respostas (positivo, neutro ou negativo), especialmente referente à percepção da relevância da oficina de aprendizagem. Outrossim, os dados levantados possibilitam comparar as experiências dos estudantes com iniciativas envolvendo energias renováveis, considerando os diferentes níveis de escolaridade. Por fim, extraem-se das respostas críticas e sugestões do público para melhorias na forma de apresentação dos conteúdos e na ação de montagem dos circuitos da lanterna.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

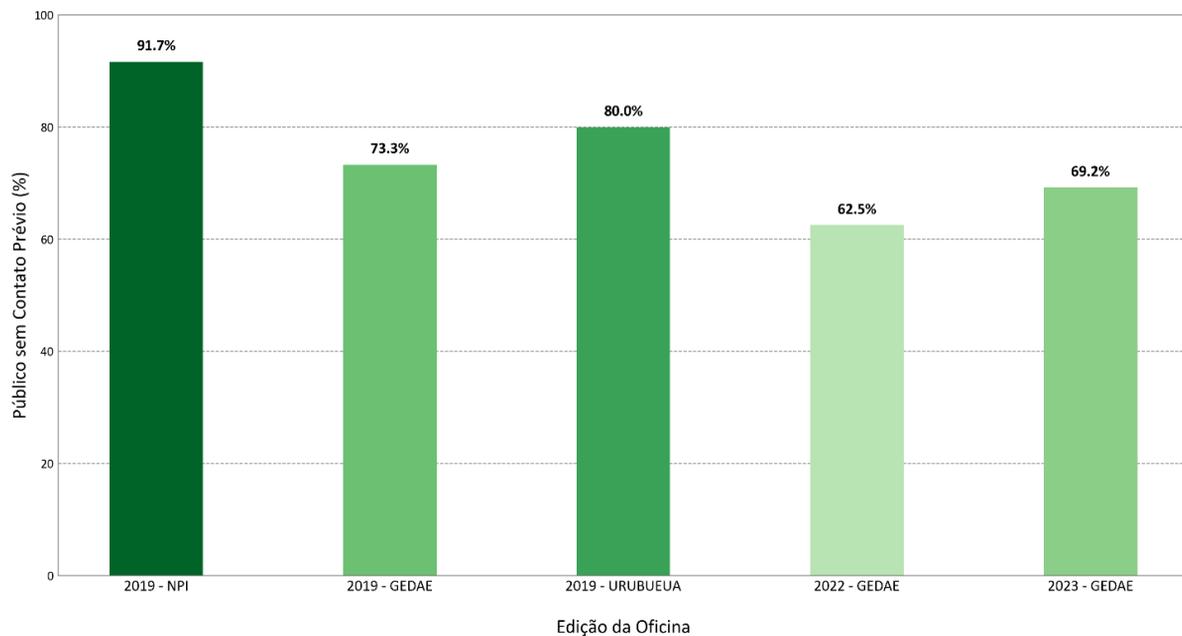
Apesar de o principal público-alvo da oficina ser de discentes do ensino médio, regular e técnico, e recém ingressados no ensino superior, a iniciativa segue em desenvolvimento para futuras versões do protótipo com novas abordagens para atender o ensino superior em estágio mais adiantado do curso de graduação. Com isso, é possível explorar tópicos mais avançados como a fundamentação matemática relacionada à energia solar fotovoltaica e inserção de novas tecnologias de armazenamento de energia como baterias de íons de lítio. Há também o interesse no desenvolvimento de um circuito mais básico, a fim de contemplar discentes do ensino fundamental II, democratizando o acesso ao conhecimento e às utilizações de energias renováveis, desde os estágios mais básicos da educação.

Como forma de avaliar as contribuições pedagógicas da iniciativa, ao final de cada oficina é aplicado aos participantes um questionário avaliativo, mencionado anteriormente, com o intuito de fornecer à equipe dados para o aprimoramento das ações da oficina. Neste contexto, os tópicos abordados no formulário avaliativo são apresentados subsecutivamente.

5.1. FAMILIARIDADE PRÉVIA COM TECNOLOGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Inicialmente, buscou-se identificar a intimidade dos participantes com tecnologias do tipo solar fotovoltaica, o que foi feito com a realização da seguinte pergunta: “Você já havia visualizado uma aplicação de um sistema fotovoltaico de perto anteriormente?”. A análise das respostas mostra que a vasta maioria dos participantes nunca havia possuído contato próximo com sistemas fotovoltaicos de quaisquer tipos. Conforme os dados exibidos na Figura 17, em todas as oficinas realizadas, mais de 60% dos participantes de cada edição não haviam tido contato prévio com a tecnologia, o que corrobora a afirmação de que, apesar do crescimento acelerado da tecnologia solar fotovoltaica nos últimos anos (Absolar, 2025), ainda há carência de difusão de contatos práticos do público geral com este tipo de sistema.

Figura 17: Familiaridade prévia dos participantes com a tecnologia por edição da oficina



Fonte: Elaborada pelos autores (2024)

A ideia de trazer para o ambiente escolar conceitos básicos para iniciar a difusão do conhecimento de sistemas fotovoltaicos mostra-se uma ação positiva dentre as escolas. Semelhante às oficinas realizadas, o projeto de extensão da Escolas Solares (Costa, 2022), coordenado pelo departamento de Engenharia Elétrica da UFPI entre os anos de 2019 e 2021, também aplicou conhecimentos de eletrônica e energia solar para disseminar conhecimentos sobre os usos da energia solar fotovoltaica com kits de bombeamentos solar, ação também já praticada pelo GEDAE em escolas da região metropolitana de Belém (Fonseca *et al.*, 2018).

Além disso, destaca-se que as edições dos anos de 2022 e 2023 possuem um maior percentual de participantes com contato prévio em virtude de estas edições terem sido realizadas unicamente com alunos do ensino superior do curso de engenharia elétrica. Em concordância com o concluído em experiências anteriores do GEDAE, os dados da Figura 17 reafirmam a importância deste tipo de ação para a popularização do conhecimento relativo à tecnologia solar fotovoltaica.

5.2. RECEPÇÃO DA METODOLOGIA APLICADA

Outro objeto de interesse do formulário aplicado é compreender a opinião dos participantes quanto à didática e à pedagogia implementadas durante a oficina ministrada. Nesse sentido, buscou-se avaliar, por meio da classificação em “Ótimo”, “Bom” ou “Regular”, três parâmetros do ponto de vista dos participantes: a explicação teórica do conteúdo, a visualização do circuito em funcionamento, o nível de interação e facilidade da montagem do kit.

Vale ressaltar que, neste questionamento, há a inclusão da escola Celso Malcher, pois devido ao fato de tratar-se da oficina com o maior número de participantes, o tempo para a aplicação dos questionários foi limitado, de tal forma que se solicitou aos participantes apenas as avaliações sobre este tópico do formulário por ser esta a informação que avalia metodologia de ensino aplicada. A Figura 18 apresenta um resumo das respostas obtidas.

Figura 18: Percepção da metodologia aplicada durante as oficinas ministradas



Fonte: Elaborada pelos autores (2024)

A análise da Figura 18 permite concluir que os participantes apresentaram ótima assimilação dos conceitos teóricos apresentados durante a oficina, onde se destaca a predominância do critério “Ótimo” em todas as edições realizadas. Além disso, observa-se boa aceitação da etapa de interação com o *kit* e facilidade de montagem, que, apesar da alta oscilação de percepção neste critério avaliado, ainda predominam as avaliações do tipo “Bom” e “Ótimo”, com destaque para a edição de 2022 – GEDAE, em que 100% das avaliações foram “Ótimo”.

Apesar da maior variabilidade do critério que avalia a facilidade de montagem e visualização do circuito em funcionamento, observa-se que, de maneira geral, isso não interferiu na experiência de visualização do *kit* em funcionamento, dado que a avaliação média para este critério é do nível “Ótimo”, o que é reforçado pelas duas últimas edições da oficina, as quais obtiveram 100% de avaliação de nível “Ótimo”.

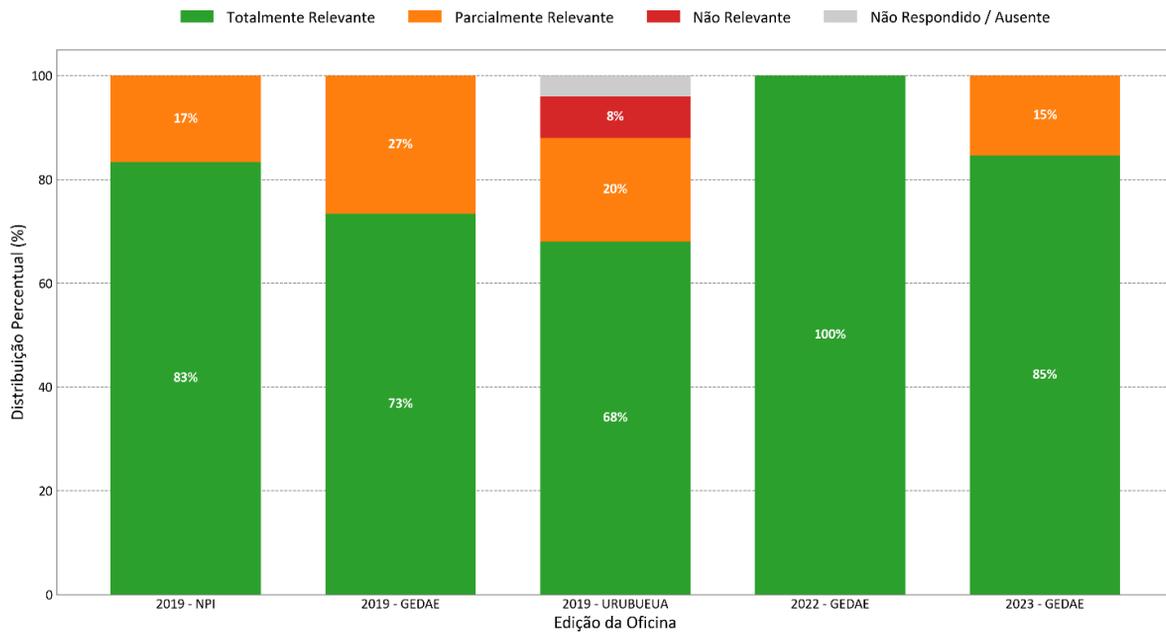
Isto comprova que a metodologia aplicada na apresentação da oficina, a qual previa a mescla do teórico com o prático, foi muito bem recebida pelos participantes. Tal metodologia é muito comum em apresentações de oficinas nas áreas das engenharias, tal como o apresentado por Vallim (2009), com o projeto “Ninho de Pardais”, o qual oferece cursos de robótica para alunos do ensino médio com a mesmas propostas de aulas práticas e teóricas, de forma a colaborar com o despertar do interesse do aluno pelas áreas de engenharia e tecnologia.

5.3. PERCEPÇÃO DE RELEVÂNCIA E PROPENSÃO À RECOMENDAÇÃO

Os últimos questionamentos buscaram avaliar se a oficina agregou de forma relevante para o conhecimento de circuitos elétricos e sistemas fotovoltaicos na percepção dos alunos participantes, através do seguinte questionamento: “A apresentação da oficina foi relevante para melhorar seu entendimento de conceitos básicos de circuitos elétricos, eletrônica e sistemas fotovoltaicos?”. Os critérios avaliativos para esta pergunta foram: “não relevante”, “parcialmente relevante” e “totalmente relevante”. O resultado está contido na Figura 19.

A análise dos dados contidos na Figura 19 demonstram uma percepção constantemente positiva da relevância das informações apresentadas durante a oficina, apesar da alta variabilidade de satisfação reportadas ao longo das diferentes edições em relação à interação com o *kit* didático, visualização do funcionamento e facilidade da montagem. Tal afirmação é reforçada ao analisar que 100% dos participantes das oficinas afirmaram, por meio do formulário, que recomendariam a outras pessoas a participação na iniciativa.

Figura 19: Avaliação das relevâncias dos conteúdos ministrados



Fonte: Elaborada pelos autores (2024)

Os dados coletados se mostram promissores, indicando que a oficina teórico/prática aplicada ao protótipo de Lanterna Solar Fotovoltaica é uma ferramenta capaz de apresentar aplicações práticas das energias renováveis com bom nível de assimilação dos conceitos e das montagens dos protótipos. Além disso, a aplicação do formulário é um método de avaliação importante pois permite que o grupo identifique as principais lacunas e pontos de aprimoramento.

Ademais, identifica-se a necessidade de ações práticas sobre o uso das energias renováveis nas escolas e em estágios iniciais do percurso acadêmico. Apesar do interesse por parte dos discentes e importância no desenvolvimento da temática, ações deste tipo ainda não são amplamente difundidas para o público fora da academia.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As oficinas de aprendizagem realizadas vêm cumprindo o seu objetivo geral de disseminar conhecimentos teóricos e práticos relacionados às aplicações das energias renováveis para discentes dentro e fora da academia. Cabe ainda ressaltar o alto grau de recomendação da oficina

de aprendizagem reforçando o interesse dos participantes sobre o assunto e de práticas educacionais que abordem temas contemporâneos como o uso das energias renováveis.

Em relação aos discentes do ensino médio, a oficina tecnológica serve também para apresentar um pouco das atividades acadêmicas desenvolvidas pelo GEDAE e pela UFPA, auxiliando a escolha daqueles que ainda não se decidiram acerca da carreira acadêmica, bem como para introduzi-los à temática da prototipagem eletrônica. Além disso, a oficina contribui para a inclusão de discentes de uma comunidade tradicional, mostrando uma aplicação prática da energia solar fotovoltaica que pode, inclusive, ser aprimorada e utilizada na região.

Ressalta-se, também, que o projeto de ensino, cuja ação prática é a oferta da oficina, ainda está em andamento, com o corpo técnico trabalhando para a inclusão de novas metodologias e tecnologias a fim de aumentar a abrangência do projeto, atingindo discentes desde o ensino fundamental II até aqueles em períodos mais avançados da Graduação. Assim, pretende-se ainda realizar edições da oficina em outras comunidades tradicionais, que ainda não são atendidas pela rede elétrica convencional, deixando em cada uma delas um exemplar da Lanterna Solar Fotovoltaica em sua versão final para uso, democratizando o acesso à informação sobre aplicações da energia solar fotovoltaica e partilhando com os moradores conhecimento e cidadania.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

ALVES, Victor Parente de Oliveira *et al.* Oficina tecnológica para exploração de conceitos de circuitos elétricos, eletrônica e energias renováveis aplicados a uma lanterna solar fotovoltaica. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 47., 2019, Fortaleza. **Anais...**Fortaleza: ABENGE, 2019.

BELLINI, Emiliano. **Off-grid solar in Africa gets \$224 million World Bank lift. 2019**. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2019/04/24/off-grid-solar-in-africa-gets-224-million-world-bank-lift/>. Acesso em: 12 fev. 2025.

BOND, M.; AYE, Lu; FULLER, R. J. Solar lanterns or solar home lighting systems – Community preferences in East Timor. 2010. **Renewable Energy**, v. 35, n. 5, p. 1076-1082, 2010.

CHAUREY, A.; KANDPAL, T. C. Solar lanterns for domestic lighting in India: Viability of central charging station model. 2009. **Energy Policy**, v. 37, n. 11, p. 4910-4918, 2009.

COSTA, Gabriel Caminha de Araújo; MORAES, Albemerc Moura de; SALES, Helder Brasil Carvalho; JUNIOR, Paulo César da Silva; NUNES, Matheus Oeirense Ferreira; LIRA, Marcos Antônio Tavares. Desenvolvimento de materiais didáticos para ensino e aplicação da energia solar fotovoltaica no contexto escolar: projeto escolas solares no Piauí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 9., 2022, Florianópolis. **Anais...Florianópolis**, 2022. p. 1-10.

FONSECA, Arthur Corrêa da *et al.* Bancada didática demonstrativa da operação de sistemas fotovoltaicos isolados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 8., 2020, **Anais...Fortaleza**. Fortaleza: ABENS, 2020.

FONSECA, Arthur Corrêa da *et al.* Desenvolvimento e divulgação de kits didáticos na área de energia fotovoltaica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 44., 2016, Natal. **Anais...Natal**: ABENGE, 2016.

FONSECA, Arthur Corrêa da *et al.* Utilização de kit didático de sistema fotovoltaico para bombeamento na divulgação do uso da energia solar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...Gramado**: ABENS, 2018.

GALHARDO, Marcos André Barros *et al.* Produção de protótipo e roteiro experimental para ações de ensino envolvendo conceitos básicos de circuitos elétricos e eletrônica aplicados em uma luminária solar fotovoltaica. In: SEMINÁRIO DE PROJETOS EDUCACIONAIS DA UFPA, 2019, Belém. **Anais...Belém**: UFPA, 2019.

IBGE. **Características gerais dos domicílios e dos moradores 2022 PNAD contínua. 2023.** 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/17270-pnad-continua.html>. Acesso em: 2 mar. 2025.

IBGE. **Sinopse do Censo Demográfico 2010.** 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=P13&uf=00>. Acesso em: 7 fev. 2025.

IEMA. **Exclusão elétrica na Amazônia Legal: quem ainda está sem acesso à energia elétrica?** Relatório técnico, 2020.

IEA (International Energy Agency). **Commentary: population without access to electricity falls below 1 billion.** 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/newsroom/news/2018/october/population-without-access-to-electricityfalls-below-1-billion.html>. Acesso em: 12 fev. 2025.

IEA (International Energy Agency). **Electricity 2025**. 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/electricity-2025>. Acesso em: 24 mar. 2025.

KUDO, Yuya; SHONCHOY, Abu S.; TAKAHASHI, Kazushi. Can solar lanterns improve youth academic performance? Experimental evidence from Bangladesh. 2019. **The World Bank Economic Review**, v. 33, n. 2, p. 436–460, 2019.

LEMAIRE, Xavier. Solar home systems and solar lanterns in rural areas of the Global South: What impact? **WIREs Energy and Environment**, v. 7, n. 5, p. 1-22, 2018.

LOBATO, Pedro Bentes *et al.* Desenvolvimento de um kit didático de fogão solar com concentrador para divulgação do uso da energia solar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 9., 2022, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABENS, 2022.

MME. Ministério de Minas e Energias. **Luz para Todos atinge 17,5 milhões de pessoas nos 21 anos do programa. 2024**. 2024. Disponível em: <https://shre.ink/MXsd>. Acesso em: 13 mar. 2025.

PINHO, João Tavares *et al.* **Sistemas híbridos: soluções energéticas para a Amazônia**. Brasília: [s.n.], 2008.

ROY, Joyashree; JANA, Sebak. Solar lanterns for rural households. 1998. **Energy**, v. 23, n. 1, p. 67-68, 1998.

SolarAid. **Annual Report 2023/2024**. 2025.

SOUSA, Silmara Castro *et al.* Divulgação das energias renováveis nas escolas de Ensino Médio e Fundamental. In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA, VII, 28-30 nov. 2018, Belém-PA. **Anais...** Belém, 2018.

SPERRY, Breena *et al.* Combating energy poverty via small-scale solar for initial electrification and post-disaster recovery in Guatemala and Puerto Rico communities. 2023. **Energy for Sustainable Development**, v. 76, 101291, 2023.

STPJANOVSKI, Ognen *et al.* Assessing opportunities for solar lanterns to improve educational outcomes in off-grid rural areas: results from a randomized controlled trial. 2021. **The World Bank Economic Review**, v. 35, n. 4, p. 999-1018, 2021.

TORRES, Pedro Ferreira *et al.* A mobile educational tool designed for teaching and dissemination of grid connected photovoltaic systems. 2019. **Computers & Electrical Engineering**, v. 76, p. 168-182, 2019.

UNITED NATIONS. **The Sustainable Development Goals Report**. 2024.

VALLIM, Marcos Banheti Rabello; HERDEN, Adriana; GALLO, Rubens; CARDOSO, Luzia Rodrigues; BITENCOURT, Ligia Cristina. Incentivando carreiras na área tecnológica através da robótica educacional. In: COBENGE 2009, Recife, Pernambuco. **Anais...Recife**, PE: Factos Eventos, 2009. p. 1-10.

VELAYUDHAN, S. K. Dissemination of solar photovoltaics: a study on the government programme to promote solar lantern in India. 2003. **Energy Policy**, v. 31, n. 14, p. 1509-1518, 2003.