

BANCADA DIDÁTICA FOTOVOLTAICA

DECARIS, André Matos

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. andrematosdecaris@hotmail.com

LOBO, Carlos Henrique Pereira

Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA. carlos.chpl.chpl@gmail.com

RODRIGUES, Kaio Felipy Silva

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. kaiofelipy3@gmail.com

DUJARDIN, Luys Bernardo Gonçalves

Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA. luys_contueg@hotmail.com

SANTOS, Adriano Machado

Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA. adriano.santos@docente.unievangelica.edu.br

RODRIGUES, Rosemberg Fortes Nunes

Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA. rosemberg.rodrigues@docente.unievangelica.edu.br

RESUMO

A energia fotovoltaica além de ser considerada limpa, por não emitir quantidades consideráveis de poluição durante a geração, é alimentada com uma fonte inesgotável, o sol, e se propõem a solucionar a falta da energia elétrica em regiões isoladas e sem viabilidade de outras fontes de energia. O planejamento, implementação e manutenção desse sistema de geração necessita de profissionais capacitados e qualificados, circunstância que, nas instituições de ensino deixam a desejar. Com a finalidade de aprimorar esse conhecimento, o presente trabalho desenvolveu uma Bancada Didática Fotovoltaica com o objetivo de integrar o desenvolvimento teórico, de sala de aula, com a prática, ao simular com todos componentes básicos um sistema dessa geração, incrementada com dispositivos de medição para análises com o micro controlador Arduino através de uma interface gráfica com Python. A metodologia empregada para essa resolução é: planejar ações que devem ser desenvolvidas, analisar, através de revisões na literatura, informações relevantes sobre o tema, construir uma bancada, elencando todos os materiais necessários e os métodos utilizados, acompanhar a utilização da bancada por alunos, verificar o nível de satisfação através de um questionário e feedback livre dos mesmos. Como resultado do trabalho, houve uma avaliação positiva por parte dos alunos e o protótipo cumpriu todos os requisitos propostos a serem desenvolvidos. Desse modo, conclui-se que a utilização de mecanismos que proporcionam um método de ensino teórico-prático acentua o conhecimento dos estudantes, desenvolve e aprimora o interesse e melhor os capacita para o mercado profissional.

Palavras-chave: bancada didática fotovoltaica; teórico-prático; construção; feedback;

1. INTRODUÇÃO

Com a problemática atual relacionada a utilização e acesso à energia elétrica entre a população, a utilização de energia alternativas e sustentáveis surge como aporte para solucionar este problema que ainda carece de maior apoio pelos seguimentos e organizações de liderança da sociedade, como o governo (Rus-Casas et al., 2014). Respaldo a isso, a solução que provém da energia solar fotovoltaica, está na utilização de células solares que convertem diretamente a energia do sol em eletricidade (IRENA (International Renewable Energy Agency), n.d.; Rus-Casas et al., 2014). Correlacionado a isso, vale salientar a abundância do recurso que provem essa geração é inesgotável e a forma de sua geração é limpa, ou seja, os impactos ambientais atrelados a conversão para energia elétrica são mínimos.

A invenção das células solares aconteceu em 1954, nos Estados Unidos, na famigerada, por suas invenções revolucionárias, Bell-Labs, chamada na época Bell Telephone Laboratories (Bell Labs, n.d.; IRENA (International Renewable Energy Agency), n.d.). Hoje, com o aperfeiçoamento e barateamento da geração fotovoltaica, sua instalação, tanto para consumo comercial ou individual, tornou-se vantajosa na relação entre custo e benefício, além de evitar saturação do sistema de distribuição, viabilizar o acesso a eletricidade em regiões isoladas (IRENA (International Renewable Energy Agency), n.d.).

Segundo os dados disponibilizados pelo site do IRENA (International Renewable Energy Agency), a tendência de capacidade instalada em 2019, para energia solar fotovoltaica, em todos os países que a agência possui registro, foi de 578553 MW, enquanto, sob as mesmas condições, em 2018 era de 480984 MW e em 2010 apenas 40279 MW. Do mesmo modo, a tendência de geração, ainda respaldando as informações disponibilizadas por essa agência, em 2018 e 2010, foi, respectivamente de 549,833 GWh e 32,148 GWh (IRENA (International Renewable Energy Agency), n.d.).

Esses dados revelam o crescimento substancial do uso dessa fonte alternativa de energia e, correlato a isso, há necessidade de mais profissionais aptos a atuarem nessa área. Contudo, as competências requeridas para efetivar a implementação de sistemas fotovoltaicos remetem características extrínsecas, como experiência em projetos elétricos, treinamentos de montagem, e outras capacidades adquiridas. Desse modo, sistemas didáticos, como bancadas fotovoltaicas em unidades de ensino, que embarcam principalmente cursos de engenharias e afins, estão se tornando uma necessidade (Nehme & Akiki, 2016).

Somado a isso, a dificuldade em conciliar o conhecimento teórico-prático é constante e cria obstáculos na plena capacidade profissional dos estudantes. Desse modo, o desenvolvimento de atividades laboratoriais fomenta o interesse e aprofunda o conhecimento do discente quanto a compreensão dos fenômenos físicos e a diferença entre os modelos teóricos e a prática (Assante & Tronconi, 2015).

Óbice a isso, as barreiras impostas a essa imersão de atividades está correlato a questões estruturais, financeiras, humanas e/ou organizacionais por parte das instituições de ensino (Assante & Tronconi, 2015). Assim, as problemáticas incluem: má gestão e manuseio dos equipamentos, manutenção deficiente, recursos operacionais escassos e, principalmente, o descaso por parte dessas instituições.

A imersão do estudante em uma bancada didática, ao aproxima-lo de uma realidade que pouco conhece, torna mais claro e objetivo a finalidade e os meios de operação que o sistema representado aborda. Através disso, é possível trazer a teoria para prática, coloca-la a prova, e considerar outros fatos que não são devidamente previstos. Essa colocação aprimora

a maturidade do aluno com o que pode ser enfrentado em sua carreira profissional ao permitir executar testes e experimentos em dada proporção com possibilidade de erro.

Com isso, o enfoque deste trabalho está voltado à implementação, principalmente por unidades de ensino, de bancadas de energia solar fotovoltaica tendo em vista sua importância no contexto global. Para tal, o presente trabalho buscou, através de uma revisão sistemática da literatura, como viabilizar a construção e implementação desse tipo de bancada. Assim, o objetivo desse estudo foi encontrar trabalhos que descrevam métodos para o projeto, elaboração e construção, compreendendo, também, as funcionalidades, detalhes técnicos construtivos, experimentos aplicáveis com a máxima dinamização possível que pode haver em uma bancada como essa a fim de que estudantes possam assimilar conhecimentos essenciais que norteiam uma usina solar fotovoltaica.

2. METODOLOGIA

A manipulação e utilização de uma bancada didática permite uma gama de análises, munido de experimentos específicos. Desse modo, aventurar-se na sua construção deve ser criteriosamente estudada. Munido de artifícios para isso, a seguir é apresentado o processo estruturado utilizado para implantação uma do segmento fotovoltaico, embarcando as etapas de Planejamento, Análise, Execução, Aplicação e Conclusão, conforme Figura 1. Valendo-se da ressalva final a aprendizagem de alunos, a bancada simula, com todos os componentes básicos, um sistema real, incrementado de dispositivos de medições para análises.

A Figura 1, ao esquematizar o procedimento metodológico, discrimina em cinco etapas a organização lógica de todo o processo empregado. Prioritariamente, nessa Figura, é observada a relação entre os estágios concomitantes, ou seja, o Planejamento precede todas as atividades de Análise, Execução e Aplicação ao mesmo que está inserido nelas. Dando continuidade nessa proposição, há segmentação das 3 etapas centrais, ou seja, anterior a Aplicação, vem a Execução, e anterior a Execução é a Análise ao mesmo que o resultado de cada uma delas impacta a próxima. Seguindo o apresentado, a Conclusão procede essas três etapas, visto que ela é a análise dos dados coletados em cada um desses estágios.

Figura 1 – Procedimento Metodológico.



Fonte – Próprios Autores, 2021.

2.1. PLANEJAMENTO

O Planejamento é fundamental na articulação de uma estratégia eficaz. Através disso, é possível o sequenciamento de um plano de ações em um todo coeso (Mintzberg et al., 2006). Com isso, é possível estabelecer metas, as quais determinam o que deve ser feito e quando, para haver resultados, contudo, deve haver abrangência para tomada de decisão e executa-las (Chiavenato & Sapiro, 2020; Mintzberg et al., 2006). Diante do exposto, as etapas de Planejamento desse trabalho podem ser divididas em duas: Específico e Global. Ambas cumprem funções importantes, possibilitando delimitar, estrategicamente, aspectos indispensáveis de modo dinâmico e preciso. Assim, no Planejamento Global, com uma visão macro, reproduzida na Figura 1, delimitando o trabalho nos 5 estágios representados com suas interligações. Nele engloba os processos básicos que subsidiam a inserção de um plano mais incisivo em cada etapa, direcionando o foco para elementos que devem ser estudados e analisados com maior atenção. De modo geral, o Planejamento Global, divide o trabalho em outros 4 estágios bem delimitados, indispensáveis para desenvolver uma Bancada Didática Fotovoltaica: Análise — conhecer sobre o assunto criticamente; Execução — trabalhar para elaborar e construir algo tangível; Aplicação — mensurar a eficácia do feito; Conclusão — elencar discussões conclusivas sob dados indubitáveis.

Diferente do Planejamento apresentado, o Específico foi elaborado a fim de subdividir cada estágio, conforme está ilustrado na Figura 1. Desse modo, foram melhor discriminadas as ações que devem ser tomadas em cada um deles. Com isso, estabeleceu-se que deve ser feita, em Análise, uma Revisão Sistemática da Literatura, onde busca-se artigos que abordassem o assunto sobre bancadas no contexto de ensino-aprendizagem, explanando este assunto para definir explicitamente o tema, bem como as potencialidades, justificativa e a problemática. Após esse primeiro amadurecimento, há outra busca, agora com maior proficiência, definindo quais *String* e quais bancos de dados utilizar, quais critérios de inclusão e exclusão e o processo de sumarização do conteúdo dos artigos mais relevantes.

No estágio de Execução, deve ser listado, primeiramente os materiais necessários, bem como as quantidades e características técnicas, dado a prioritariedade em estabelecer as funcionalidades da bancada e o método para construção (ligações, parametrização, ajustes, calibração e programação).

Para a Aplicação é estudado como integrar, no contexto teoria-prática, o contato dos alunos com a bancada, a fim de maximizar o aprendizado, definindo-se a necessidade de, inicialmente, o professor apresentar conceitos básicos sobre o sistema de energia fotovoltaica para, posterior a isso, o aluno ter contato com o protótipo na realização de experimentos. Como guia, o aluno recebe um roteiro com alguns experimentos realizáveis. Além disso, dada o objetivo final do trabalho a aprendizagem, é necessário a aplicação do protótipo com estudantes que devem responder um questionário de satisfação sobre sua experiência e apresentarem um feedback expondo sua opinião.

2.2. ANÁLISE

A análise é o primeiro dos estágios centrais. Para sua realização, primeiramente, são realizadas buscas deliberadas na literatura acerca de bancadas didáticas até elencar a temática central: Bancada Didática Fotovoltaica. Para sua escolha, avaliou-se a criticidade para a integração teórico-prática. Dado o tema, foi realizada outra revisão da literatura, contudo, sistemática, onde definiu-se a utilização dos bancos de dois dados: Science Direct e Web of Science aplicando as Strings “energy photovoltaic AND didactic” (String 1) para ambas bases de dados e “didactic AND laboratory AND photovoltaic” apenas para a Web of

Science. Reunindo todos os artigos encontrados, foi aplicado critérios de inclusão e exclusão em dois níveis de leitura, conforme Quadro 1.

Quadro 1- Critérios de Inclusão e Exclusão.

LEITURA	INCLUSÃO	EXCLUSÃO
1º- Parcial	<ul style="list-style-type: none"> • Temática voltada ao assunto da pesquisa. 	
2º- Completa	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentarem protótipo (s), equipamento (s) ou máquina (s) referentes à bancadas fotovoltaicas; • Cálculos ou equações que fundamentem a pesquisa; • Descrever procedimentos, experimentos ou atividades que podem ser realizadas na bancada; • Testes estatísticos que possam ser replicados nesse estudo; • Métodos para implementação e/ou construção de uma bancada fotovoltaica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não atender aos requisitos de inclusão; • Não atender aos critérios relacionados com a pesquisa • Tangenciamento grave do assunto; • Não atender a critérios de qualidade ou embasamento; • Não ter acesso ao artigo completo.

Fonte – Próprios Autores, 2021.

A leitura parcial seleciona, de modo rápido, analisando apenas o título, resumo e palavras-chave, artigos que possuem similaridade com o assunto sobre bancadas fotovoltaicas. De maneira mais rigorosa, a segunda leitura refina os artigos com mais critérios e, por consequência, maior rigor. Nessa parte é realizado a leitura completa dos trabalhos. Qualquer artigo que se enquadre em apenas um critério de exclusão, é eliminado. Os artigos que se adequaram obrigatoriamente aos critérios de inclusão das duas leituras foram encaminhados para a sumarização, elencando os pontos mais relevantes, como a temática central, os resultados, detalhes técnicos, estatísticos e construtivos, conclusão e comentários dos autores.

2.3. EXECUÇÃO

Como a Execução é o momento onde, de fato, a bancada será engendrada, é a fase mais importante do trabalho, pois, qualquer empecilho pode ocasionar implicações futuras, como mau funcionamento e limitação de experimentos executáveis. Assim, sua plena conjectura é reflexo do Planejamento, Análise e da própria Execução bem executados que garantem a qualidade nos resultados da Conclusão. Por consequência desses fatores, a Execução é o estágio central, conforme a Figura 1.

A dinâmica empregada para a realização dessa etapa foi, inicialmente, elaborar um esboço 3D, um diagrama esquemático e a listagem de materiais da bancada, sob a ótica de que o protótipo atendessem alguns critérios, como a quantidade de experimento aplicáveis, adaptabilidade em ambientes contrastantes, como em laboratório e campo, e, também, pudesse sofrer futuras adaptações.

A partir disso, a definição de todos os materiais necessários para compor a bancada compreendeu todas as funções planejadas para serem desempenhadas pela mesma com os mesmos equipamentos utilizados para compor um sistema fotovoltaico real, como as placas fotovoltaicas, controlador de carga, inversor de corrente e bateria.

Assim, utilizou-se a Equação 1 para dimensionar a potência dos painéis fotovoltaicos utilizados no projeto, logo, como se trata de uma bancada para fins didáticos, a estimativa da energia elétrica produzida pelo sistema não precisa ser alta quando comparada a um sistema fotovoltaico industrial ou residencial por exemplo. A Equação 2 foi utilizada no dimensionamento dos equipamentos quanto as características comerciais disponíveis no mercado, sempre implantando atributos superiores ao que o sistema deve suportar, dado a situação de que futuramente o sistema venha a alimentar cargas maiores conforme seja aprimorado, compreendendo assim, aspectos técnicos, estruturais, logísticos e de custo com uma visão de médio a longo prazo. Além disso, é importante salientar que apesar do sistema

ser superdimensionado, buscou-se equipamentos com menor custo que atendessem efetivamente o proposto.

$$E = P \cdot t \cdot \eta \quad (1)$$

$$P = U \cdot I \quad (2)$$

Em que, para a Equação 1 e 2: E = Energia Elétrica (W.h); P = Potência Elétrica (W); t = Tempo de exposição (h); η = Rendimento; U = Tensão Elétrica (V) e I = Corrente Elétrica (A).

Em posse dos componentes, a montagem é feita mutuamente à escrita da programação e calibração do sistema. Essa tática possibilita a efetivação gradativa e minimiza as chances de erro nos testes finais quando a construção física está concluída, evitando retrabalho. A montagem seguiu um diagrama esquemático elaborado enquanto que o monitoramento sistêmico é feito através do protocolo de comunicação Firmata entre o microcontrolador Arduino Mega 2560 e a linguagem de programação Python. Essa integração possibilita a visualização e armazenamento da leitura dos dados em um Notebook. Para a calibração dos sensores de corrente e tensão foi utilizado um multímetro, para o de Iluminância um luxímetro, e o de angulação por meio de um transferidor e relações trigonométricas.

Durante a execução foram elencadas algumas problemáticas no desenvolvimento dessa etapa, como quais seriam as maiores dificuldades em contraste ao que realmente percebeu-se. Essa perspicácia é interessante pois se assemelha ao que muitos projetos enfrentam, como a demora na chegada de materiais e a impressão de que a maior dificuldade seja na execução da atividade.

2.4. APLICAÇÃO

Para a condição de aplicação direta no ensino-aprendizagem dos alunos ao integrar a teoria com a prática, foram realizados experimentos no protótipo desenvolvido com alunos, a fim de avaliar o impacto da bancada no aprendizado e o quanto eles julgavam que essa metodologia corroborou para isso.

Para essa dinâmica, os autores apresentaram aos discentes fundamentos da energia solar fotovoltaica, apresentação da bancada, bem como seus componentes e software desenvolvido e foi entregue um roteiro de experimentos para cada aluno para que pudessem realizar alguns experimentos.

Nessa situação, os autores acompanharam as atividades dos alunos, auxiliando na execução dos experimentos. Por fim, foi entregue um questionário de satisfação com 13 questões sobre como essa metodologia impactou, sua aceitabilidade e pontos de melhoria no sistema e no método apresentado onde é assinalado Péssimo (1), Ruim (2), Bom (3), Muito Bom (4) e Ótimo (5), com a pontuação atribuída entre parênteses. Corroborado a isso, nessa avaliação dos alunos há também um campo livre de feedback, no qual o aluno poderia elencar quais dificuldades não foram sanadas, sugestões de melhorias e qualquer outra observação que julgasse necessária.

Apesar dessa aplicação do protótipo com alunos, foram levantados alguns aspectos que devem ser ponderados e melhor trabalhados dado a importância dessa aplicação no contexto estudantil, como a realização de testes estatísticos mais aprimorados, a utilização de uma amostragem expressiva, realização de questionários sobre sistemas de energia fotovoltaica e estabelecer critérios bem definidos na aplicação para que se tenha credibilidade no objetivo pretendido.

2.5. CONCLUSÃO

Por fim, a Conclusão faz o encerramento geral do trabalho e também das etapas de Análise, Execução e Aplicação conforme a Figura 1. Essa etapa pode ser resumida como o resultado das análises dos dados e informações desenvolvidas de modo conclusivo, ou seja, um parecer final. Essa etapa pode ser dividida em Geral, fechamento do trabalho, e específica, ao estar inserida nas etapas centrais. Essa divisão é semelhante a etapa de Planejamento, so que em um ordenamento diferente.

A estruturação da conclusão é feita, inicialmente através da Específica que, posteriormente irá compor a Geral, quanto ao conteúdo e na relação entre os estágios. Através disso, é possível estabelecer que a Conclusão Específica é um compilado de informações que remetem ao próprio estágio e admite reflexões sobre o fundamentado. Já a Conclusão Geral envolve retomada do conteúdo, embasamento técnico, estatístico, resultados, desempenho e considerações dos autores abrangendo o desenvolvido em torno do trabalho.

Seguindo essa estruturação, de Conclusão Específica e Geral, é possível promover um melhor ordenamento e compreensão quanto a finalização de cada etapa que abrange o trabalho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A qualidade no ensino é uma questão complexa que envolve uma série de prerrogativas, como o custo, metodologias, materiais, engajamento do docente e da própria capacidade e esforço de cada estudante, também intimamente ligada a questões sociais, como familiares e financeiras. A partir da ideia de desenvolver algum protótipo que auxilie o aprendizado, foi definido a construção e aplicação de uma bancada didática fotovoltaica a partir de buscas deliberadas na literatura sobre algum tema de relevância tecnológica, profissional, ambiental e que possuísse aplicabilidade no contexto teórico-prática à alunos em variadas faixas etárias com relação a eletricidade.

3.1. ANÁLISE

A partir dessa definição, objetivando maximizar a quantidade de artigos relacionados ao tema, foram utilizadas seleções de palavras-chave nos bancos de dados da *Web of Science* e *Science Direct*. Desse modo, as estruturas definidas das *strings* foram: “*energy photovoltaic AND didactic*” (*String 1*) para ambas bases de dados e “*didactic AND laboratory AND photovoltaic*” (*String 2*) apenas para a *Web of Science*. O único filtro aplicado foi na *Science Direct* com relação ao ano das publicações, dado ao alto número de artigos encontrados, o período de tempo escolhido foi a partir de 2017, conciliando trabalhos mais atuais com uma quantidade relevante para análise. As buscas foram feitas em 11 de setembro de 2020.

O total de artigos encontrados foram 76: 43 (57%) na *Science Direct* e 33(43%) na *Web of Science*. Diante disso, mesmo com o filtro aplicado e utilizando apenas a *String 1*, a quantidade de artigos encontrados na *Science Direct* é maior. Aplicando os critérios de inclusão e exclusão para a leitura parcial (Quadro 1), foram identificadas 8 duplicadas, 47 foram descartados e 21 artigos seguiram para leitura completa. De modo semelhante, aplicando os critérios de seleção para a segunda etapa de avaliação (Quadro 1), leitura completa, 3 trabalhos não foram localizados para leitura na íntegra, todos da *Web of Science*, portanto foram descartados, 13 foram reprovados e apenas 5 atenderam aos critérios estipulados.

Em contrapartida ao maior número de resultados da *Science Direct*, após o estágio de seleção, apenas 1 (2,4%) do total de trabalhos encontrados nesse banco de dados foi relevante enquanto que, para a *Web of Science*, para a *String 1*, do total de 22 artigos encontrados, 6 (27,3%) e, para a *String 2*, dentre os 11 trabalhos, 6 (54,54%) foram relevantes para o estágio da sumarização.

Em síntese ao apresentado: 5 (7%) dos artigos possuem relevância para o tema proposto enquanto 3 não puderam ser devidamente avaliados por não ter sido possível acessar seu conteúdo na íntegra, 8 são duplicados e 60 não se enquadravam nos critérios de inclusão. Dentre os 5 artigos que mais se enquadraram, com o foco da pesquisa, todos tratam sobre bancadas fotovoltaicas, dentre eles, 2 são remotos e um trata de um kit compacto.

Zimny *et al.* apresentam um estande laboratorial de medição e análise de módulos fotovoltaicos. Ela consiste em um módulo fotovoltaico com bateria recarregável (dispensa fonte de alimentação externa), controlador de carga, termômetro digital, sensor de radiação solar e sistema de medição em uma estrutura móvel com armazenamento em um cartão SD e conexão via USB. Desse modo, os parâmetros exibidos no display são a temperatura do módulo, temperatura do ambiente, a irradiação solar e a carga (tensão, corrente e potência). (Zimny *et al.*, 2018)

Neste trabalho também foi apresentado um experimento desenvolvido com estudantes no qual, em um primeiro momento, é passado a teoria sobre a conversão fotovoltaica, princípio de funcionamento da célula fotovoltaica, no segundo há o contato com o estande e a realização de experimentos. Na opinião dos alunos, o novo estande é leve, pequeno, facilmente posicionável e a aplicação do cartão SD para salvar os dados é positivo. Além disso, os estudantes apresentaram níveis satisfatórios de aprendizagem e, sob condições padrões, em um tempo de 1,5 horas pode ser introduzido a teoria sobre os módulos fotovoltaicos e, em um grupo de 15 alunos, cada aluno realizar medições individualmente. Por fim, os autores deste trabalho ressaltam a simplicidade e baixo custo para a construção do estande (cerca de €230) ao mesmo que oferece qualidade, estabilidade, boa precisão e mobilidade. (Zimny *et al.*, 2018)

Como complemento, também foi feito uma análise de outro estande laboratorial móvel no artigo, maior e mais pesado, para testes de diferentes condições atmosféricas e apresenta desvantagens comparado ao anterior: as medições básicas da corrente, tensão e potência são feitas manualmente, tornando necessário repetir o experimento várias vezes em condições atmosféricas estáveis, a fim de maximizar a assertividade e implicando em maior tempo na realização dos experimentos. (Zimny *et al.*, 2018)

No trabalho de Nehme e Akiki, 2016 é mostrado um sistema fotovoltaico remoto equipado com sensores de temperatura, corrente e tensão a fim de apresentar sobre os aspectos físicos dos painéis fotovoltaicos, como o efeito da irradiação, temperatura, ângulo de luz incidente, sombreamento parcial, curvas de tensão e corrente, utilidade de diodos de passagem e algoritmos MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Além disso, possui o sistema DAQ (*Data Acquisition* ou Sistema de Aquisição de Dados) que ajuda no monitoramento e controle do sistema. A estrutura física é equipada com painel fotovoltaico em uma mesa giratória de dois eixos, luzes artificiais e um localizador de cobertura DC/DC e possui capacidade de expansões futuras. (Nehme & Akiki, 2016)

O laboratório físico que pode ser acessado remotamente, em Assante e Tronconi, 2015, inclui LED's, duas células PW, um controlador de carga MPPT, bateria, uma carga falsa e o microcontrolador Raspberry Pi para o controle do sistema, transmitindo e recebendo sinais, além de conectar o laboratório à internet. Alguns dos experimentos que podem ser

realizados são: acender diferentes LED's para verificar o funcionamento das células fotovoltaicas em diferentes ângulos, conectar os dois PV em série ou em paralelo, modificar a configuração do sistema, conectando uma ou duas células PV diretamente à carga, conectar ou desconectar as células ao controlador de carga e às baterias. (Assante & Tronconi, 2015)

Esse laboratório, segundo os autores, é para uso na pós-graduação do curso de engenharia elétrica. Para utilização dele, os alunos são solicitados a realizar duas experiências: variar o ângulo de incidência sobre as placas para verificar a energia fornecida ao sistema e os parâmetros de corrente e tensão no controlador MPPT (corrente e tensão fornecida pelos painéis e da bateria). Além disso, os alunos devem desenvolver relatórios sobre o experimento desenvolvido com suas próprias observações. (Assante & Tronconi, 2015)

Segundo os autores, são elencadas as seguintes vantagens desse sistema: flexibilidade, capacidade de aprimoramento, realização de experimentos a distância, monitoramento de variáveis e capacidade de vivenciar livremente o laboratório. (Assante & Tronconi, 2015)

No artigo de Herrera et al., 2015, trata-se de um laboratório remoto fotovoltaico que permite monitorar e manipular parâmetros, como a tensão, corrente, irradiação incidente nos painéis, e outros. Esse sistema conta com vários dispositivos, dentre eles: luminária variável, câmera, controlador Arduino e Raspberry Pi. A interface do usuário é integrada ao Moodle e a gestão do sistema foi desenvolvida pelos autores. O sistema permite obter diferentes curvas características, como: curvas com várias radiações e curvas correspondentes a um ou dois módulos conectados de formas diferentes (série e paralelo). Todos os elementos de hardware e software são de código aberto, tornando a configuração e manutenção de baixo custo. Para permitir o acesso remoto, via internet, foi utilizado uma placa de Arduino de modo a possibilitar a modificação dos pontos de configuração e de trabalho a partir de uma rede TCP/IP através da comunicação Modbus para o envio e recebimento de dados. (Herrera et al., 2015)

Para utilização desse sistema, os autores propõem o conhecimento prévio aos estudantes sobre os painéis fotovoltaicos e seu comportamento e, durante a utilização do sistema, o professor deve fornecer um guia de experimentos. Também é relatado a grande aceitação do laboratório remoto pelos alunos, que apresentaram alto interesse e participação. Com base nas análises feitas no trabalho, os estudantes consideraram o laboratório remoto uma inovação positiva e teve grande participação e interesse. Desse modo, é destacada a integralidade, autonomia e facilidade de uso desse laboratório nas atividades realizadas. Além disso, por ser remoto, os autores enfatizam que dispensa a supervisão do professor e fortalece os conceitos teóricos por serem acessíveis e práticos. (Herrera et al., 2015)

Costeira et al. desenvolveram um kit de energia solar utilizando Arduino, compacto e didático, com potencial para substituir kits semelhantes mais complexos e com elevado custo ao realizar experimentos práticos de maneira rápida, eficaz e simples. Junto a isso, é destacado pelos autores o conhecimento nas áreas de energia, eletrônica e programação com a utilização desse kit. São propostos dois experimentos: associar as placas de fotovoltaicos em série e a curva característica Corrente-Tensão (IV) de uma célula fotovoltaica. Como principais pontos sobre o desenvolvido é destacado o tempo para realização dos experimentos, versatilidade e quantidade de experimentos. Mutuo a isso, é recomendado que disponibilizado os componentes, o aluno deva fazer toda montagem e programação para o máximo aprendizado. (Costeira et al., 2019)

A partir dos artigos fica evidente algumas características pontuadas positivamente pelos autores, tais como: mobilidade, tamanho, utilização de dispositivos *Open Source*,

possibilidade de melhoria do sistema, custo, armazenamento de dados, quantidade de experimentos e o tempo para executá-los. Além disso, os trabalhos aplicados mostraram *feedbacks* positivos por parte dos estudantes. Portanto, sistemas de ensino, com o uso de bancadas didáticas, são ferramentas que corroboram para o ensino dos alunos ao mesmo tempo que possui grande aceitação entre os mesmos (Costeira et al., 2019; Herrera et al., 2015; Nehme & Akiki, 2016; Torres et al., 2019; Zimny et al., 2018). Além disso, é possível avaliar parâmetros importantes de condições reais de operação (Torres et al., 2019). Contudo, para cumprir o objetivo como ferramenta de ensino, Herrera et al., 2015, descarta três aspectos que facilitam a utilização do laboratório: integralidade, autonomia e facilidade de uso. Junto a isso, a utilização de controladores de código aberto permitem a instalação e manutenção com baixo custo (Herrera et al., 2015). Também é importante, unificando essa condição, a capacidade de expansão do sistema e, por consequência, agregar novas competências aos futuros profissionais (Assante & Tronconi, 2015).

3.2. EXECUÇÃO

Assim, abordando o foco central do trabalho, em construir e implementar uma bancada didática fotovoltaica, determinou-se que o sistema deve ser capaz de medir, no mínimo, as variáveis básicas de um sistema fotovoltaico real, como medições de corrente e tensão, temperatura ambiente, angulação das placas fotovoltaicas e incidência luminosa. Para essa realização a maior problemática prevista foi a escrita da programação do sistema de monitoramento, o dimensionamento dos componentes e a realização de experimentos com alunos.

Diante dos pontos levantados, é elaborado, no

Quadro 2, a lista de experimentos que o protótipo final é capaz de realizar. Nela consta testes que, para um sistema real, impactam diretamente na eficiência de geração, como a temperatura e o ângulo de incidência. Também é válido elencar que nesse quadro são apresentados apenas alguns dos diversos experimentos que podem ser aplicados. Com isso, a criatividade e dinâmica dos docentes e acadêmicos quanto as formas de extrair e analisar dados é o que possibilita maior adaptabilidade quanto as necessidades, tanto no protótipo desenvolvido, quanto nas melhorias que se darão no mesmo com o passar do tempo.

Quadro 2- Lista Proposta de Experimentos.

Propostas de experimentos
<ul style="list-style-type: none">• Monitorar o desempenho do painel solar em condições variadas de radiação e ângulo;• Avaliar a aplicação do controlador de carga, inversor de corrente e bateria estacionária no sistema de energia solar fotovoltaica;• Verificar a geração de corrente e tensão elétrica no sistema para variações no ângulo de incidência luminosa;• Análise dos circuitos: corrente contínua e alternada em variados trechos, bem como as quedas de tensão associadas e a influencias das cargas no circuito;• Realizar análise dos componentes do sistema fotovoltaico quanto suas especificações técnicas, tais como: potência, tensão e corrente elétrica.

Fonte – Próprios Autores, 2021.

Para que esses experimentos possam ser realizados, a listagem de materiais (Tabela) contempla os equipamentos necessários. Como há o interesse de fazer a representação de um sistema real, são utilizados materiais que o compõem, como: placa solar, controlador de carga, inversor de corrente, bateria e carga. Esses dispositivos são importantes, pois permite aos estudantes observarem as características em pleno funcionamento do equipamento, sanar

dúvidas e, também, aprimorar as informações passadas pelo professor, dado que nem sempre as aulas teóricas contemplam todo conteúdo necessário. Além disso, o sistema é acrescido de sensores, como de corrente e tensão, para aprimorar a gama de experimentos realizáveis.

Tabela 1 - Listagem de materiais.

Conjunto	Componente	Descrição	Qnt
Monitoramento	Micro controlador	Arduino Mega 2560. ¹	1
	Sensor de corrente CC e CA	ACS712 ² , 30A AC/DC. ²	5
	Sensor de tensão CC	MH-Eletronic, Vcc<25V. ³	4
	Sensor de tensão CA	AC LM358_V3, 100 a 300 V _A . ⁴	1
	Sensor de Iluminância	MH-Sensor-Series LDR. ⁵	1
	Sensor de temperatura	LM35, -55°C à 150°C, +-0.5°C. ⁶	1
	Sensor de angulação	CJMCU-103, Angle = 0° - 333.3°, +-2%. ⁷	1
	Fonte	Fonte Chaveada Estabilizada, IT BLUE Modelo SC1251, AC/DC, 30 A, 5V, 150W. ⁸	1
Sistema Fotovoltaico	Placa fotovoltaica	Neosolar RESUN Model RSM100P, Pmax = 100W, Voc = 21.58V, Vmp = 17.40V, Isc = 6.04A, Imp = 5.78A, Vmv = 1000V, Imr = 15A, Weight = 7.0 KG, Module Application = ClassA, Dimension=1020X670X35mm, Tc=25°C, EF = 15.8%. ⁹	2
	Controlador de carga	Sun-Yoba, MPPT T40, 40A, 12/24V. ¹	1
	Bateria	Zetta, chumbo e ácido sulfúrico diluído, 12V, 60Ah. ¹⁰	1
	Inversor de Corrente	LEBOSS LB-521, 1000W 12V 110/127V, <u>Input Voltage</u> = 10.8 – 12V, <u>Output Voltage</u> = 102 – 112V. ¹¹	1
	Carga de Corrente Contínua	Lâmpada, OUROLUX, Halógena Bipino 12V 20W, Luminous Flux = 320lm. ¹²	1
	Disjuntor	Curva C, 10A, 500V, Ics = 6kA. ¹³	1
	Disjuntor	Curva C, 50A,1000V,Ics = 6kA. ¹⁴	1
Iluminação	Refletor 200 W	20000 lumens, 200 W. ¹⁵	2
	Refletor 50 W	3750 lumens, 50 W. ¹⁶	4

Fonte – Próprios Autores, 2021.

• Pmax = Potência Máxima Nominal, Voc = Voltagem de circuito aberto, Vmp = Tensão de potência máxima, Isc = Corrente de curto-circuito, Imp = Corrente de potência máxima, Vmv = Tensão máxima do sistema, Imr = Classificação máxima do fusível da série, EF = Eficiência energética.

¹ Fabricante: ATMEL, Marca: Arduino, Modelo: ATmega2560

² Fabricante: The Allegro™, Modelo: ACS712

³ Fabricante: , Modelo: DC 0-25V

⁴ Fabricante: , Modelo: AC LM358_V3

⁵ Fabricante: ,Modelo: MH-Sensor-Series LDR

⁶ Fabricante: , Modelo: LM35

⁷ Fabricante: , Modelo: CJMCU-103

⁸ Fabricante: Marca: IT BLUE , Modelo: SC1251

⁹ Fabricante: Neosolar ,Marca: RESUN Modelo: RSM100P

¹⁰ Fabricante: , Marca: Sun-Yoba, Modelo: T40

¹¹ Fabricante: , Marca: Zetta, Modelo:

¹² Fabricante: ; Marca: LEBOSS, Modelo: LB-521

¹³ Fabricante: , Marca: OUROLUX, Modelo:

Halógena Bipino

¹⁴ Fabricante: ,Marca: , Modelo:

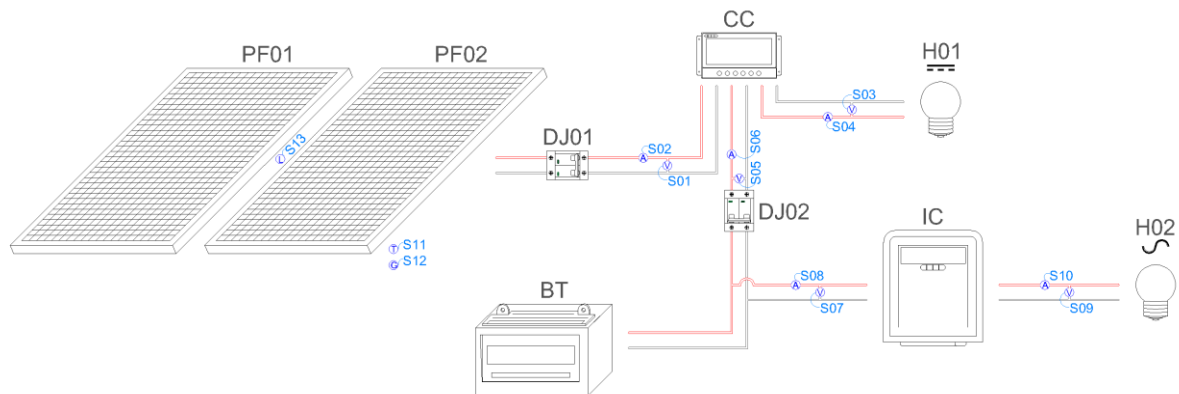
¹⁵ Fabricante: ,Marca: , Modelo:

¹⁶ Fabricante: ,Marca: , Modelo:

¹⁷ Fabricante: ,Marca: , Modelo:

Por se tratar de um protótipo móvel que possa ser utilizado em laboratório e campo, optou-se pela utilização de um sistema *Off Grid*, onde não há ligação com a rede elétrica, a fim de atender uma demanda específica, no caso, as cargas de corrente contínua e alternada possibilitando comodidade, autonomia e maior segurança ao dispensar conexão com a rede elétrica. Para esse propósito, as placas foram dimensionadas de com associação em paralelo, o controlador MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) ajusta o valor de tensão e corrente proporcionalmente do que é entregue à bateria, preservando a integridade, e, com o inversor de corrente ligado, permite alimentar cargas maiores em corrente alternada. Além disso, o MPPT também permite a conexão de cargas em corrente contínua. Assim, as cargas a serem utilizadas são uma lâmpada de corrente contínua 12V na saída do controlador de carga e uma fonte chaveada na saída do inversor de corrente que alimenta os sensores com tensão de 5V.

Figura 2- Diagrama Esquemático da Bancada Didática Fotovoltaica.

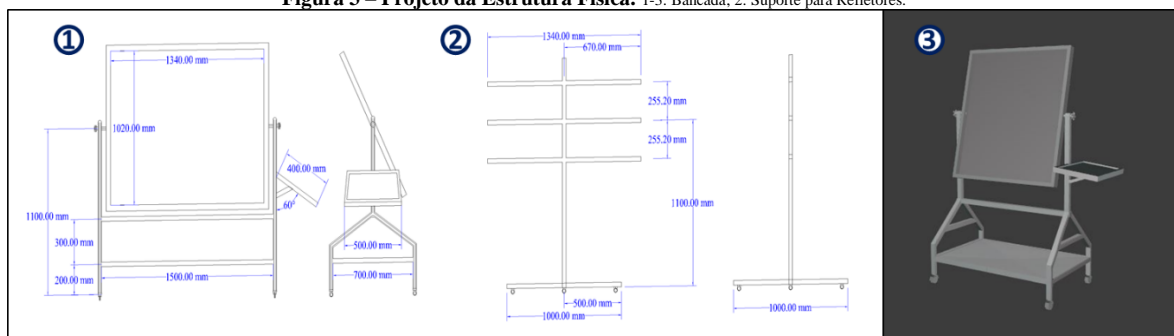


Fonte – Próprios Autores, 2021.

Dispositivos Principais: PF - Placas Fotovoltaicas; CC – Controlador de Carga; BT – Bateria; IC – Inversor de Corrente; H – Carga (01 - Corrente Contínua; 02 - Corrente Alternada).
 Dispositivos de proteção: DJ – Disjuntor (01 - Corrente Contínua; 02 Corrente Alternada). Sensores: A – Corrente; V – Tensão; G – Giroscópio; T – Temperatura; L – Iluminância;

A disposição dos elementos que constituem a bancada está representada através do diagrama da Figura 2. Nessa Figura constam os principais elementos do Sistema Fotovoltaico, como as placas solares, o controlador de carga, a bateria e o inversor de corrente. Nesse sistema, a bateria e o inversor estão paralelos, visto que a bateria possui apenas 2 terminais (1 entrada e 1 saída tanto para carrega-la quanto para utiliza-la). Apenas na saída do inversor possui corrente alternada que alimenta a respectiva carga. Cada elemento constituinte da Figura 2 recebeu uma rotulação, por exemplo, as placas Fotovoltaicas receberam a terminologia PF01 e PF02, as letras representam o componente e o número o sequencial. Essa identificação dos componentes é um artifício muito utilizado na indústria, quando se tratar de maquinas e equipamentos, com o objetivo de identificação, rastreamento e alocação de dados sobre esses ativos.

Figura 3 – Projeto da Estrutura Física. 1-3: Bancada; 2: Suporte para Refletores.



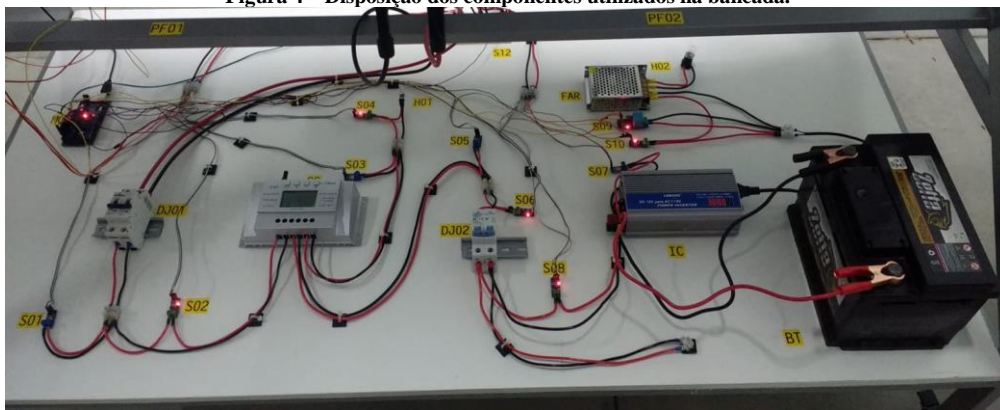
Fonte – Próprios Autores, 2021.

A Figura 3 mostra o projeto da estrutura física da bancada e do suporte para os refletores. Essa imagem está dividida em 3 partes enumeradas: 1 e 2 representam a bancada e o suporte para os refletores, respectivamente, em 2D, é válido salientar que as medidas estão em milímetros e a representação 2 é complementar, uma vez que será utilizado para experimentos em laboratório, com iluminação artificial. Além disso, o dimensionamento da bancada foi baseado no tamanho das placas fotovoltaicas e conta com espaço para alocar os demais componentes da Tabela e um notebook. O enumerado 3 permite visualizar essa caracterização por esboçar em 3D a constituição física da bancada, facilitando a interpretação. Na listagem de materiais não consta o orçamento dos materiais, como metalon e MDF, que compõem a construção física, pois o valor oscila muito entre regiões, pode ser facilmente encontrado, comprado em frações e, para o trabalho proposto, não convém descrever detalhadamente esse processo.

Visualizando o enumerado 3, da Figura 3, a parte de fixação das placas rotacionam, possibilitando o ajuste do ângulo de incidência. Além disso, há 4 rodízios para movimentação da bancada, o local de fixação dos componentes é sobre a placa inferior, que fica paralela ao solo e o local do notebook possui uma angulação. O suporte para os refletores também é móvel e foi dimensionado para que a concentração da luz emitida seja distribuída pela superfície das placas, contudo foi projetada para não haver variação de angulação nos refletores, visto que, para os testes em laboratório, a variação do ângulo se dará através da rotação das placas, a fim aproveitar a estruturação predeterminada de rotação da bancada para realização de experimentos ao ar livre e para facilitar a análise pelos alunos quanto aos testes em laboratório.

A construção de toda parte física da Figura 3 ocorreu em menos de 4 dias e não apresentou nenhuma complicação estrutural, comportando todas as funcionalidades previstas. A partir disso, foi possível inserir os elementos que compõem o sistema fotovoltaico e de monitoramento.

Figura 4 – Disposição dos componentes utilizados na bancada.



Fonte – Próprios Autores, 2021.

Na bancada física, o arranjo mostrado na Figura 2, pode ser observado na Figura 4. A diferença entre essas Figuras é que fisicamente existe a fonte de alimentação regulável, na saída do inversor. Desse modo, a Figura 4 é a disposição dos componentes utilizados, tanto no sistema fotovoltaico quanto a parte de monitoramento. Através dessa imagem é possível observar que o disjuntor DJ01 recebe a conexão das placas fotovoltaicas conectadas em paralelo, a saída vai para o controlador de carga e, a partir dele, a corrente é distribuída para a carga contínua, bateria e inversor de corrente. É válido destacar que os sensores de monitoramento estão entre trechos, por exemplo, entre o disjuntor DJ01 e o MPPT. A realização das conexões e testes dos componentes foi a etapa mais trabalhosa.

Para a realização dessa etapa houve atraso na entrega dos materiais, alguns equipamentos novos com defeito e outros fora das especificações, como no caso do inversor de corrente que estava com os capacitores inchados, o MPPT não era o mesmo solicitado, a fonte chaveada possuía baixa impedância entre os terminais, o microcontrolador foi um dos últimos componentes a chegar, etc. Essas intercorrências resultaram em troca de materiais e aquisição de novos. Além disso, o processo de soldagem e conexão dos pinos nos cabos flat, utilizados na conexão da alimentação e sinal dos sensores, foi uma atividade demorada. O modelo de bateria, citado na Tabela, não é ideal para um sistema fotovoltaico, mas, dado suas especificações e, principalmente, disponibilidade, esta foi utilizada até a aquisição da bateria estacionária, própria para um sistema fotovoltaico.

Figura 5 – Protótipo Finalizado.



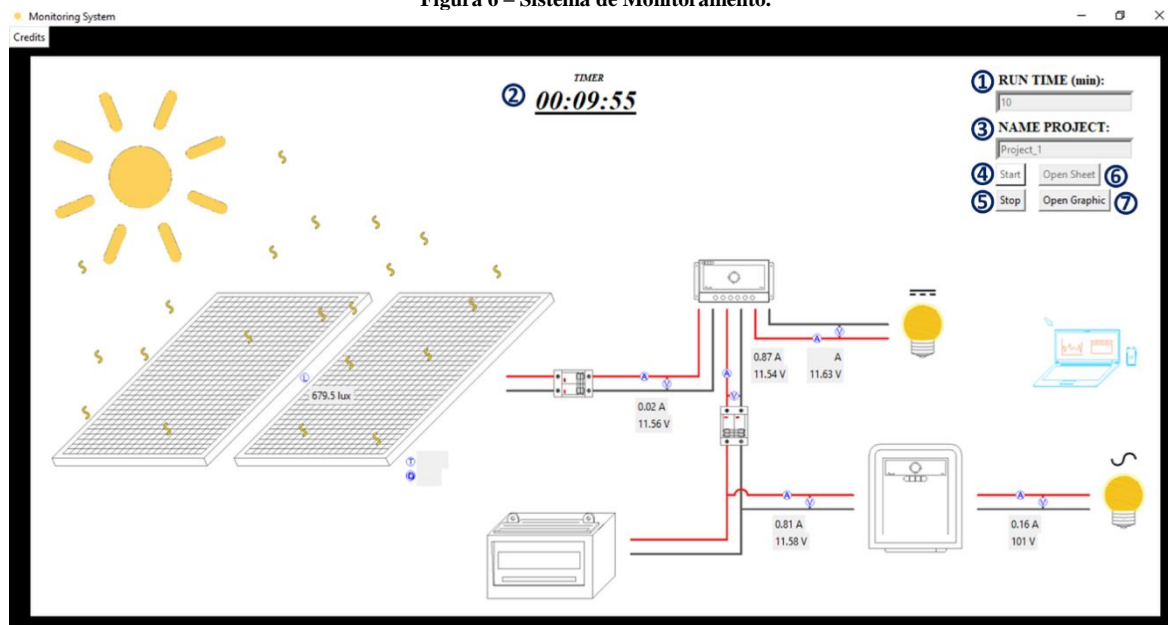
Fonte – Próprios Autores, 2021.

O protótipo finalizado, Figura 6, mostra a estrutura que comporta os refletores e a bancada finalizada. Na composição do sistema de iluminação, há um interruptor triplo que aciona os refletores em pares e na estrutura há furos para posicionar os refletores ao centro ou afastados. Como, pode ser visto, as duas placas fotovoltaicas estão lado a lado e no centro, entre elas, está o sensor de Iluminância. A angulação pode ser facilmente ajustada e, em caso de não manter na posição desejada, basta torcer a porca *Wing* (asa).

Para o sistema de monitoramento da bancada, através do microcontrolador lógico Arduino Mega 2560 com a utilização do protocolo Firmata, foi elaborada toda programação na linguagem Python para leitura dos sensores de corrente, tensão, temperatura, angulação e iluminância com uma interface GUI (*Graphic User Interface*), Figura 6, para melhor compreensão dos alunos sobre os trechos de leitura correspondente de cada sensor. O programa também possui campos de entrada para o tempo estimado de execução dos experimentos, armazenamento de todos os dados em uma planilha em Excel, no formato .XLSX, e um gráfico (Iluminância X Tempo) em tempo real (Figura 7).

A principal dificuldade na programação foi aprendizagem da linguagem Python que, embora seja fácil, existem bibliotecas prontas para utilização no próprio IDE do Arduino, situação que não repete ao fazer aplicação Arduino-Python, dificultando a configuração e calibração dos sensores para o método aplicado nesse trabalho.

Figura 6 – Sistema de Monitoramento.

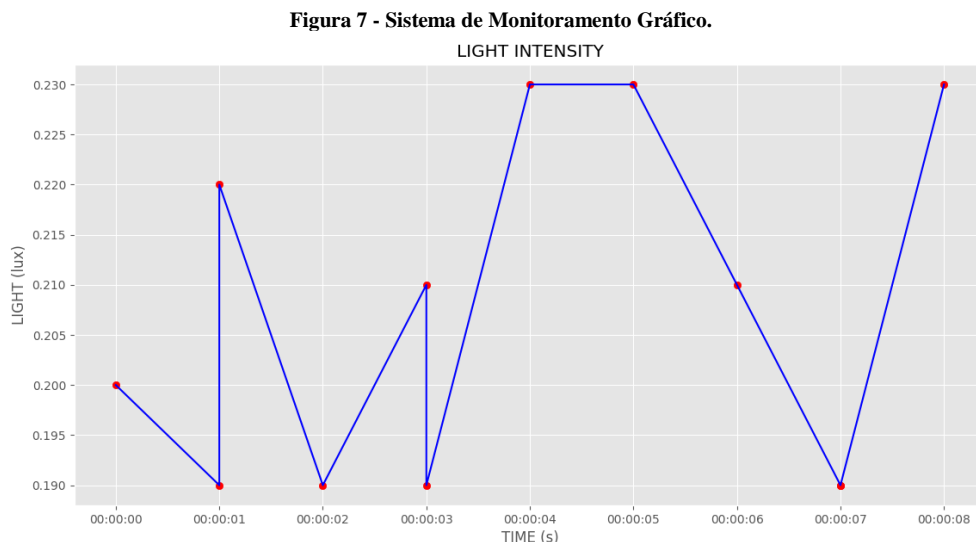


Fonte – Próprios Autores, 2021.

Dado a necessidades de os estudantes compreenderem o funcionamento do programa, foi elaborada uma interface simples, de rápido entendimento e fácil utilização, o diagrama utilizado na Figura 2 é o mesmo inserido no software. Quando o programa inicia, ocorre uma pequena animação, Figura 6, onde são mostradas setas quanto ao fluxo da corrente no sistema e a leitura nos trechos do sistema. As funções do programa são listadas a seguir:

- 1- RUN TIME (min): Tempo, em minutos, estimado para realização dos experimentos, é recomendável inserir um valor superior. Caso seja informado qualquer caractere diferente de números, o programa retornara um erro solicitando que seja preenchido a informação adequada ao campo.
- 2- TIMER: temporizador sob o tempo RUN TIME determinado. Quando o usuário pressiona Start, o período de tempo começa e, ao chegar em zero (0), o armazenamento de dados é concluído e a leitura na interface se encerra.
- 3- NAME PROJECT: nome da planilha que será criada, é importante dar um nome característico ao projeto e que seja aceito na nomeação de arquivos. Caso o usuário não deseje armazenar os dados dos experimentos basta não preencher o campo.
- 4- Start: inicia o programa. Durante a execução do programa os campos Starts e Opens Sheet ficam inativos, pois o primeiro está em execução e o segundo é onde estão sendo armazenadas as informações de leitura.
- 5- Stop: pausa/encerra a execução do Start do programa, caso queira continuar basta pressionar novamente o Start. Quando o Stop é acionado, a planilha já pode ser acessada através do diretório padrão de armazenamento ou clicando em Open Sheet.
- 6- Open Sheet: abre a planilha baseado no nome informado no campo NAME PROJECT. Esse botão pode ser acessado anterior a execução de um código ou quando é acionado Stop, contudo, é necessário que o campo NAME PROJECT esteja preenchido e algum usuário tenha utilizado o mesmo nome em um experimento, caso contrário não existirá nenhuma planilha referida.

Open Graphic: Abre um gráfico em tempo real no qual plota Tempo x Iluminância, Figura 7.



Fonte – Próprios Autores, 2021.

O principal objetivo do gráfico em tempo real é proporcionar uma análise rápida aos alunos quanto a eficácia de geração da intensidade e angulação da iluminância sobre as placas e comparar com o valor de leitura nos demais sensores. Além disso, o armazenamento de todas as leituras dos sensores em uma planilha permite que os alunos se dediquem ao máximo na compreensão do sistema, acompanhando o que está sendo feito, em vez de dedicarem parte do tempo fazendo anotações. Junto a isso, com esse armazenamento, os estudantes podem realizar análises mais engajadas, bem como a criação de relatórios mais elaborados, com cálculos e gráficos complexos com a utilização de recursos disponibilizados pelo próprio Excel ou de outros *softwares*.

Apesar da construção da programação ter sido trabalhosa, a maior problemática foi na oscilação de leitura nos sensores de corrente que, por ser baixa nos testes em laboratório, há variação considerável decorrente as características do próprio componente. Na Figura 7 foi variado o ângulo das placas em um período de 8 segundos havendo maior incidência luminosa quando o ângulo está em 90° sobre o sensor.

Como pode ser observado, a construção física está intimamente ligada ao sistema de monitoramento. Assim, para análise do sistema é importante a integralidade entre ambos. Apesar da problemática relacionada aos componentes que compõem toda parte física, como os atrasos na chegada dos materiais, é importante destacar que as conexões e os testes para calibrar os sensores foi a parte mais trabalhosa por ser minucioso e lento. Além disso, a escrita da programação foi relativamente simples, contudo pode ser expressivamente melhorada, como a utilização de uma aplicação Web. Por fim, pode-se destacar que os resultados dessa etapa foram satisfatórios, atendendo todos os critérios desejados para o trabalho: elaboração e construção da bancada física e software com capacidade de melhoria e expansão, armazenamento dos dados em uma planilha em Excel, utilização de componentes comumente presentes em um sistema fotovoltaico real, etc.

3.3. APLICAÇÃO

Para avaliar o método teórico-prático como metodologia ativa de ensino, valeu-se da aplicação da bancada desenvolvida com alunos do 6º período dos cursos de engenharia Elétrica e Mecânica no período noturno, ou seja, a experiência foi desenvolvida em

laboratório com iluminação artificial devido aos cursos serem noturnos e uma quantidade expressiva de alunos não poderem comparecer durante o dia por motivo de disponibilidade, como trabalho, então buscou-se maximizar a quantidade de acadêmicos totalizando 20 presenças. O contato dos alunos com a bancada ocorreu da seguinte forma: os alunos inicialmente tiveram uma introdução prévia sobre sistemas fotovoltaicos, em seguida houve a apresentação da bancada e a explicação dos componentes da mesma. Em seguida os alunos foram divididos em 4 grupos, com 5 integrantes cada. Todos os grupos receberam um roteiro de experimentos e, com aporte do docente, desenvolveram os experimentos. Em seguida resolveram um questionário de pesquisa com 13 questões sobre o julgamento pessoal sobre o protótipo desenvolvido e o resultado é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Pesquisa de Satisfação. 1 – Péssimo; 2 – Ruim; 3 – Bom; 4 – Muito Bom; 5 – Ótimo.

Nº	QUESTÃO	1	2	3	4	5	PONTUAÇÃO
01	Você acredita que o método teórico-prático como metodologia de ensino contribua efetivamente para o aprendizado?	0	0	0	7	13	93
02	A Bancada Didática Fotovoltaica aprimorou seus conhecimentos quanto aos sistemas de energia solar?	0	0	2	10	8	86
03	Qual o nível de conhecimento com relação ao tema você acreditava possuir antes de ter contato com essa bancada?	0	1	10	7	2	70
04	E depois?	0	0	1	10	9	88
05	Como você avalia a bancada?	0	0	0	5	15	95
06	Como você avalia a mobilidade da bancada?	0	0	0	6	14	94
07	Se seu interesse fosse trabalhar com sistemas de geração fotovoltaica, após o apresentado através da bancada, você se sentiria mais confiante de ingressar no mercado profissionalmente de energia solar?	0	1	6	6	7	79
08	Você conseguiu compreender o funcionamento e a necessidade de utilização de cada um dos equipamentos?	0	0	3	7	10	87
09	Os dispositivos, como os sensores empregados, auxiliam na análise dos dados de maneira efetiva?	0	2	1	3	14	89
10	Como você avalia a utilização do microcontrolador Arduino para aquisição dos dados?	0	1	2	4	13	89
11	A utilização do programa para monitoramento das variáveis em tempo real, elementos visuais como o diagrama esquemático e o gráfico, o armazenamento dos dados em uma planilha em Excel contribuem para desenvolver análises mais profundas acerca da temática e corroboram para o aprendizado desse sistema?	0	0	0	3	17	97
12	Na sua opinião a bancada conseguiu representar um sistema real em proporção reduzida?	0	0	0	4	16	96
13	A bancada fomentou seu interesse em aprofundar seus conhecimentos nesse seguimento?	0	0	6	3	11	85

Fonte – Próprios Autores, 2021.

Para melhorar a análise dos dados apresentados na Tabela 1 foi atribuído pesos ao nível assinalado, por exemplo, a avaliação Péssimo e Ótimo possuem peso 1 e 5 respectivamente, a mesma lógica se aplica aos demais níveis, contudo essa pontuação é expressa apenas na coluna PONTUAÇÃO, nas demais são apresentadas apenas a quantidade de assinaladas em cada alternativa. Caso todos os alunos pontuem a mesma questão como ótimo, o valor final será 100. A partir disso, pode-se elencar que os discentes melhor

avaliaram a questão 11, que trata da utilização do programa para monitoramento das variáveis, elementos visuais e o armazenamento dos dados em uma planilha em Excel contribuem para desenvolver análises mais profundas acerca da temática e corroboram para o aprendizado desse sistema. A pontuação total dessa questão foi 97 e mostra que a facilidade em visualizar e interpretar a leitura através do *Software*, bem como visualizar um gráfico em tempo real de Iluminância X Tempo facilita na execução dos experimentos e concentra a atenção do aluno na realização dos testes ao dispensar a anotação dos dados que podem ser facilmente acessados posteriormente.

Associado a isso, a questão 12 foi a segunda mais bem avaliada, 96 pontos, desse modo, o protótipo conseguiu caracterizar um sistema fotovoltaico real na opinião dos alunos. A avaliação geral da bancada, questão 5, está pontuada em 95, 3º colocação, e possui correlação a questão de número 1, 5º colocada na avaliação com 93 pontos, ao atribuir que o método teórico-prático, como metodologia de ensino, contribua efetivamente para o aprendizado e que o protótipo desenvolvido caracteriza essa efetivação ao tribular que a bancada foi bem avaliada pelos estudantes.

Outra questão pontuada acima de 90 é a número 6, 94 pontos, que trata da mobilidade da bancada. Assim, é assimilado que a proposta de movimentação da bancada é cômoda, tornando exequível experimentos em campo e laboratório sem muito esforço, contudo, para uma melhor movimentação da bancada em corredores estreitos é aconselhável que duas pessoas o façam.

A questão com menor pontuação foi a de número 3, com 70 pontos, ao questionar o nível de conhecimento antes de ter contato com o protótipo. Em contrapartida, houve um aumento de 18 pontos na questão 4 que trata da avaliação pessoal após esse contato. Quanto as demais questões, a maioria foi assinalada como Muito Bom ou Ótimo, apresentando um resultado satisfatório.

A maioria dos *feedbacks* foram comentários positivos e destaques quanto a opinião pessoal do que mais gostaram e as principais dificuldades. As dificuldades apresentadas não remeteram ao projeto em si, mas quanto à programação, demonstrando o grande interesse dos alunos por essa área, e como o software é de código aberto, é livre para que os alunos interajam, compreendam e aprimorem-no. Houveram ponderações quanto ao ambiente de demonstração, onde desejava-se por parte de alguns acadêmicos, a aplicação do experimento em um local maior e na luz do dia.

Para avaliar melhor a eficácia da utilização dessa bancada como método no ensino aprendizagem, o ideal é a utilização de uma quantidade amostra expressiva, bem como a aplicar um questionário anterior e outro com o mesmo nível de dificuldade após a utilização do protótipo para, em seguida, utilizar um teste estatístico sob os dados coletados e assim conseguir mensurar estatisticamente o grau de aprendizagem dos alunos. E, junto a isso, aplicar no termino do questionário, o questionário de satisfação apresentado nesse trabalho a fim de saber a frequência e o grau de aceitabilidade sobre uma maior quantidade de discentes.

Através desses dados é possível concluir que, segundo os alunos, o protótipo conseguiu assimilar um sistema fotovoltaico real em proporção reduzida, foi possível aprimorar o conhecimento através da bancada fotovoltaica, a utilização de um Software integrado a estrutura física é positiva e a utilização de metodologias ativas de ensino contribuiu para o aprendizado. Junto a isso, a utilização do microcontrolador Arduino para coleta de dados é uma ótima ideia e torna o aprendizado mais didático. Na pesquisa a maioria dos respondentes julgaram que a bancada aprimorou os conhecimentos na área de energia fotovoltaica sendo que, em uma perspectiva inicial, anterior ao contato com a bancada,

avaliaram como bom ou ruim o conhecimento pessoal no segmento fotovoltaico, porém após utilização do protótipo a avaliação foi bom ou ótimo. Assim, os alunos conseguiram compreender o funcionamento do sistema, em nenhuma questão houve avaliação Péssima e, portanto, há grande aceitação dessa metodologia.

4. CONCLUSÃO

A utilização de fontes energéticas renováveis é uma tendência e tem se massificado através dos anos. A partir disso, a utilização da energia solar fotovoltaica ganha destaque pelo seu baixo índice de poluição e abundância, contudo, a qualificação de profissionais para atuarem nessa área ainda é escassa e nem sempre os cursos abndam essa temática de forma eficiente. Com isso, nesse trabalho foi estudado e desenvolvido um protótipo de uma bancada didática fotovoltaica que objetivou integralizar uma metodologia ativa de ensino ao contexto teórico-prático a fim de consolidar a aprendizagem por discentes. Partindo dessa premissa, ficou evidenciado que o protótipo desenvolvido possui grande aceitação, fomenta o interesse e aprimora o conhecimento entre estudantes. Além disso, o desenvolvido recebeu *feedbacks* positivos e instigou os acadêmicos a questionarem como ocorreu a construção física e do Software, revelando grande interesse tecnológico dos lecionandos. Apesar de terem sido apresentados alguns experimentos, no teste prático, realizáveis na bancada, é possível adaptar o sistema para o desenvolvimento de outros, dado a necessidade das disciplinas que os docentes ministrem e o foco que desejem abordar, como programação, instrumentação, automação, eficiência energética, entre outros. Uma das grandes vantagens do projeto é a característica de aprimoramento, utilização de dispositivos e linguagens de programação *Open Source*, armazenamento de variáveis lidas em uma planilha do Excel, painel de visualização de variáveis em tempo real, inclusive no formato gráfico, a mobilidade e também os dispositivos que representam um sistema fotovoltaico real. De modo geral, a bancada fotovoltaica cumpriu o objetivo ao receber críticas construtivas e boas pontuações no questionário de satisfação. Ademais, o que o projeto se comprometeu a realizar foi efetivado com qualidade satisfatória, auxiliando positivamente na aprendizagem dos alunos e, como propostas de melhorias, pode-se elencar o aprimoramento do software, utilização de *Shield* de internet para monitoramento, aplicação de cálculos de geração e eficiência na interface gráfica e desenvolver um sistema de atuação para posicionamento automático dos painéis fotovoltaicos.

5. REFERÊNCIA

- Assante, D., & Tronconi, M. (2015). A remotely accessible photovoltaic system as didactic laboratory for electrical engineering courses. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON, 2015-April*, 479–485.
<https://doi.org/10.1109/EDUCON.2015.7096013>
- Bell Labs. (n.d.). *Bell Labs' greatest innovations*. Retrieved October 19, 2020, from <https://www.bell-labs.com/about/history/>
- Chiavenato, I., & Sapiro, A. (2020). *Planejamento Estratégico* (4 (ed.)). 2020.
- Costeira, J., Vieira, M., Hayati, A., Gomes, J., & Cabral, D. (2019). *Development of a Compact and Didactic Solar Energy Kit Using Arduino*. 1–5.
<https://doi.org/10.18086/eurosun2018.07.04>

- Herrera, R. S., Márquez, M. A., Mejías, A., Tirado, R., & Andújar, J. M. (2015). Exploring the usability of a remote laboratory for photovoltaic systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(29), 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.11.205>
- IRENA (International Renewable Energy Agency). (n.d.). *IRENA*. Retrieved October 19, 2020, from www.irena.org
- Mintzberg, H., Lampel, J., Quinn, J. B., & London, S. G. (2006). *O Processo da Estratégia* (4th ed.).
- Nehme, B., & Akiki, T. (2016). Implementing a didactic photovoltaic energy laboratory for developing countries. *2016 3rd International Conference on Renewable Energies for Developing Countries, REDEC 2016*. <https://doi.org/10.1109/REDEC.2016.7577551>
- Rus-Casas, C., Hontoria, L., Jiménez-Torres, M., Muñoz-Rodríguez, F. J., & Almonacid, F. (2014). Virtual laboratory for the training and learning of the subject solar resource: OrientSol 2.0. *Proceedings of XI Tecnologías Aplicadas a La Enseñanza de La Electronica (Technologies Applied to Electronics Teaching), TAAE 2014*. <https://doi.org/10.1109/TAAE.2014.6900129>
- Torres, P. F., Costa, A. F. P., Chaar Junior, V. L., Monteiro, W. L., Galhardo, M. A. B., Pinho, J. T., & Macêdo, W. N. (2019). A mobile educational tool designed for teaching and dissemination of grid connected photovoltaic systems. *Computers and Electrical Engineering*, 76, 168–182. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.03.017>
- Zimny, J., Bielik, S., Michalak, P., & Bojko, M. (2018). The laboratory stand for measurements and analysis of photovoltaic modules. *International Journal of Electrical Engineering and Education*, 55(2), 142–154. <https://doi.org/10.1177/0020720917750954>