

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

Desenvolvimento de um Medidor de Irradiância Solar Operado à Bateria Para Uso Didático

GIOVANA B. CALIXTO¹, MARCELO K. SHIBUYA²

¹ Graduanda em Bacharel de Engenharia de Controle e Automação, Bolsista de Extensão, IFSP, Campus Guarulhos, calixto.g@aluno.ifsp.edu.br.

² Professor Doutor, Orientador, IFSP, Campus Guarulhos, marcelo.shibuya@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.02.05-0 Sistemas Eletrônicos de Medida e Controle

RESUMO: Este artigo descreve o processo de desenvolvimento e os resultados do kit didático para um medidor de irradiância utilizando um microcontrolador ESP32, um módulo fotovoltaico de 0,6W como sensor, bateria de lítio e um módulo de carregamento para poder carregar a bateria. Ele será destinado para uso didático dos cursos de fotovoltaico oferecidos pelo Instituto Federal de São Paulo, Campus Guarulhos. O kit didático desenvolvido tem por princípio de funcionamento, a medição da corrente de curto-circuito (I_{sc}) do módulo fotovoltaico que é exposto à radiação solar e fazendo a conversão dessa corrente elétrica obtida, no respectivo valor de irradiância solar em (W/m^2). A conversão da corrente elétrica em valores de irradiância solar é realizada com auxílio do microcontrolador ESP32. Ao final do artigo são apresentados os valores de medições preliminares realizadas com o kit didático, mostrando que o desenvolvimento apresentou resultados satisfatórios.

PALAVRAS-CHAVE: Irradiância; fotovoltaico.

Development of a Battery Operated Solar Irradiance Meter for Educational Use

ABSTRACT: This article describes the development process and results of the didactic kit for an irradiance meter using an ESP32 microcontroller, a 0.6W photovoltaic module as a sensor, a lithium battery and a charging module to charge the battery. It will be used for teaching purposes in photovoltaic courses offered by the Instituto Federal de São Paulo, Guarulhos Campus. The developed didactic kit operates by measuring the short-circuit current (I_{sc}) of the photovoltaic module that is exposed to solar radiation and converting this electric current into the respective solar irradiance value (W/m^2). The conversion of the electric current into solar irradiance values is performed with the ESP32 microcontroller. At the end of the article, the values of preliminary measurements performed with the didactic kit are presented, showing that the development presented satisfactory results.

KEYWORDS: Irradiance; photovoltaic.

INTRODUÇÃO

Segundo Pinho e Galdino (2014), a radiação solar global e sua soma radiação direta e difusa, tem seu valor para a meteorologia e da elaboração de projetos envolvendo energia solar. Ele também fala sobre a captação das medidas de radiação, que pode permitir melhor aproveitamento de um sistema fotovoltaico sendo fator mais importante para o mesmo.

De acordo com Villalva (2015) e Pinho e Galdino (2014), para a medição de radiação global se utiliza o equipamento piranômetro e para medição de radiação direta utiliza o equipamento pireliômetro. Medidas de radiação solar também podem ser realizadas por meio de células de referência, que utilizam sensores baseados em células fotovoltaicas de silício. Esses sensores capturam uma faixa mais estreita do espectro solar e não conseguem distinguir a radiação direta da difusa, mas são suficientes para a maior parte das aplicações fotovoltaicas, segundo Villalva (2015).

Villalva (2015) define irradiância solar como medida de potência por metro quadrado W/m^2 , e irradiação solar como medida de energia de potencia hora por metro quadrado Wh/m^2 .

Após essa breve introdução bibliográfica, foi planejado o desenvolvimento de um protótipo para ser utilizado como um kit didático um medidor de irradiância de baixo custo, nos cursos de energia solar fotovoltaica no Instituto Federal de São Paulo, Campus Guarulhos, sendo que o mesmo é uma continuação dos projetos desenvolvidos anteriormente em atividades de pesquisa no referido *campus*.

MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do medidor de irradiância solar consistiu nas seguintes etapas descritas a seguir: a) obtenção de dados de corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico de 0,6W para diversas condições de irradiância solar; b) obtenção da equação da reta que correlaciona a corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico em função da irradiância solar; c) desenvolvimento do circuito e programação do microcontrolador ESP-32; d) testes e análise dos resultados obtidos.

A princípio foram coletados de forma simultânea, os pares de dados de medidas de irradiância solar com um medidor de irradiância da marca Icel Manaus SP-2000 e a corrente de curto circuito de um módulo fotovoltaico de 0,6W. A corrente de curto circuito foi medida com auxílio de um multímetro marca Instrutherm MD-720, o qual foi utilizado para a elaboração do projeto. Para a coleta de dados, as medidas foram registradas simultaneamente em diferentes horários durante o dia.

Foram coletados 39 pares de medidas de I_{sc} e irradiância solar e com elas foi feito no Excel um gráfico de dispersão: irradiância [W/m^2] por corrente [mA] para obtenção da equação de regressão linear. Esse recurso é utilizado para estabelecer uma relação da variável que desejo e outra variável que influencia diretamente a que busco. O gráfico apresentado na Figura 1 gerou uma reta, sendo ela uma equação de primeiro grau que está descrita na Equação 1.

$$G = 13,041 \cdot I_{sc} + 83,71 \quad (1)$$

em que,

G - Irradiância solar, em W/m^2 ;

I_{sc} - Corrente de curto-circuito, em mA.

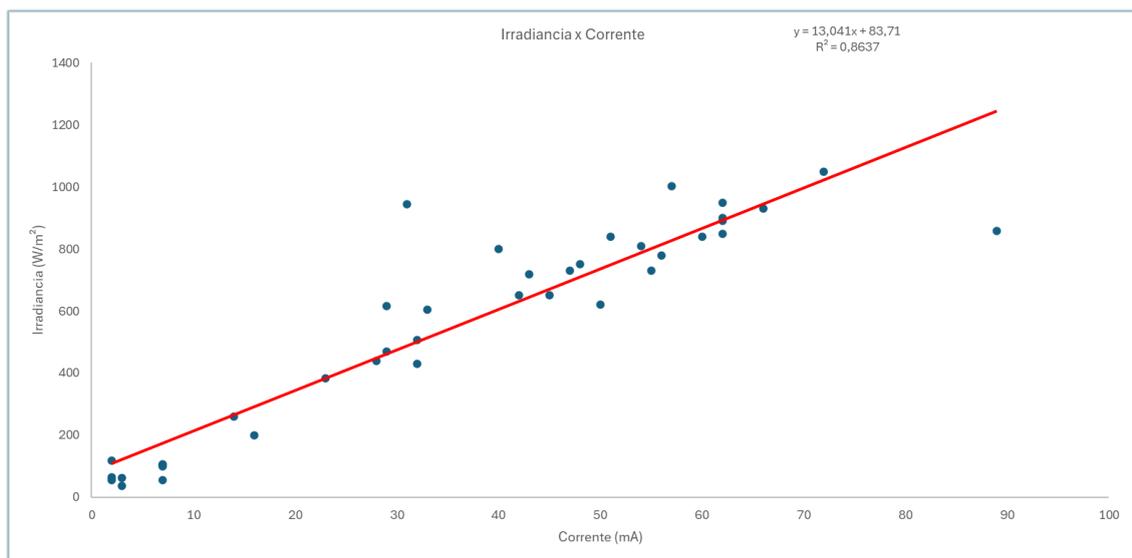


FIGURA 1: Gráfico de dispersão para análise dos dados coletados

A Equação 1 foi utilizada no código feito em linguagem C escrito na interface IDE arduino implementado a um microcontrolador ESP32, onde será conectado um sensor de corrente INA219, um display LCD 16x2 com módulo I2C, o circuito é alimentado com 5V e a bateria escolhida é uma

bateria de lítio recarregável de 3,7V. Para suprir a alimentação do circuito foi utilizado um mini conversor boost que aumenta a tensão da entrada para 5V na saída. Foi adicionado um módulo de carregamento para que o protótipo seja portátil e não necessite de fonte de alimentação externa para a sua utilização.

Com o sensor INA219, a cada corrente de curto circuito medida do módulo fotovoltaico de 0,6W é possível fazer a conversão no valor correspondente de irradiância, utilizando-se a Equação 1 apresentada anteriormente. Os valores de corrente de curto circuito e irradiância podem ser exibidos no *display* LCD, que é programado para atualização a cada 0,5s.

A Figura 2 ilustra esquematicamente o circuito desenvolvido para o funcionamento do medidor de irradiância.

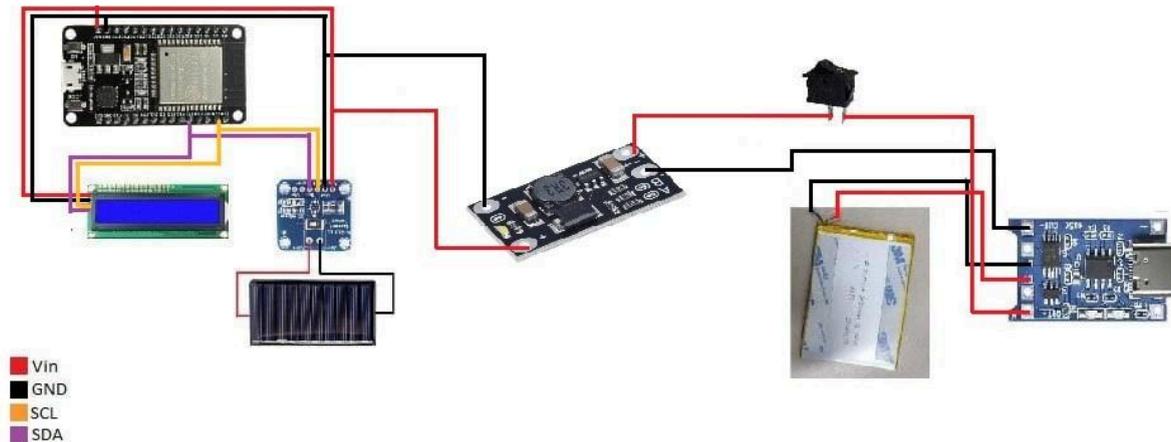


FIGURA 2: Representação do circuito do protótipo desenvolvido

Após finalizar o projeto do circuito, construímos a primeira etapa do protótipo para realizar os testes iniciais. Para isso, posicionamos o medidor de irradiância e o módulo fotovoltaico sobre a mesma superfície. Um microcontrolador, conectado ao sensor INA219 no módulo fotovoltaico, foi utilizado para coletar os dados, que foram exibidos em um display LCD. O circuito foi alimentado por um notebook conectado à ESP32. Na segunda etapa, realizamos testes utilizando a fonte de alimentação proposta para o sistema, uma bateria de 3,7V como mostrado na Figura 3.



FIGURA 3: Segunda etapa do protótipo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao realizar os testes para comparar os valores da irradiância pelo medidor de irradiância e a irradiância pelo protótipo, foi tirada uma série de medidas buscando comparar os valores de irradiância com os valores do protótipo desenvolvido. Esses valores estão registrados na Tabela 1 a seguir.

TABELA 1. Comparativo dos valores de irradiância medidos com o medidor de irradiância e protótipo

Item	Medidas do Medidor de irradiância (W/m²)	Medidas do protótipo (W/m²)	Diferença Medidor de irradiância - protótipo
1	133	145	-12
2	161	159	2
3	236	234	2
4	292	293	-1
5	320	304	16
6	337	331	6
7	453	451	2
8	479	468	11
9	521	524	-3
10	541	544	-3
11	656	632	24
12	576	606	-30
13	634	623	11
14	645	628	17
15	680	660	20



FIGURA 4: Medidor de irradiância x Protótipo

No gráfico da Figura 4 é possível de se observar por meio da reta de tendência que os desvios ocorridos entre os valores medidos pelo medidor de irradiância e o protótipo ficaram bastante próximos. A diferença máxima foi no item 12 da Tabela, onde a diferença comparativa entre o medidor de irradiância e o protótipo chegou a 30 W/m².

A principal causa que pode justificar é a influência da temperatura sob os equipamentos eletrônicos, reduzindo seu desempenho em relação ao medidor de irradiância. Isso só foi possível ser notado que quando o circuito fica sob irradiação solar, ocorreu a alteração das medições. Outro fator, é o cuidado ao manusear o equipamento, o circuito está implementado num *protoboard* e *jumpers* para as conexões, as ligações podem ser facilmente desfeitas, afetando a medição.

No desenvolvimento do presente protótipo, algumas melhorias foram realizadas: utilizando um microcontrolador ESP32, um módulo de 0,6W com dimensão de 35mm de largura e 80mm de comprimento, antes sendo um módulo de 1W com dimensão de 50mm de largura e 100mm de comprimento como sensor para medir a corrente de curto-circuito e converter em irradiância e bateria de lítio recarregável.

Os resultados obtidos com essas modificações foram satisfatórios, atendendo aos objetivos iniciais de obter medições de irradiância próximas às de um medidor comercial, mas a um custo mais baixo. O protótipo foi desenvolvido por cerca de 180 reais, enquanto um medidor de irradiância comercial custa aproximadamente 900 reais.

CONCLUSÕES

O principal objetivo do projeto foi a criação de um medidor de irradiância de baixo custo que pudesse ser utilizado como alternativa aos medidores disponíveis no mercado. Além disso, procurou-se no desenvolvimento do protótipo, ter um equipamento possível de ser utilizado em aulas práticas das aulas de Instalação de Sistemas Fotovoltaicos do *campus*, possibilitando aos alunos, o contato com um equipamento de medição de baixo custo e de fácil desenvolvimento. Os resultados obtidos nos testes após o desenvolvimento do protótipo mostraram que é possível utilizá-lo, tomando os devidos cuidados para a operação do equipamento, pois as medidas realizadas pelos dois medidores são próximas.

No atual estágio de desenvolvimento do protótipo, pode-se considerar que o mesmo cumpre o seu objetivo principal que é a medição da irradiância solar, necessitando de alguns pontos de

desenvolvimento que é a colocação do circuito eletrônico, display digital e bateria em um invólucro para possibilitar a sua utilização em campo.

Para os próximos passos do projeto, além da colocação do protótipo desenvolvido em um invólucro, pretende-se desenvolver o circuito de tal forma que seja possível coletar e armazenar os dados de um período de medição. Dessa forma, seria possível fazer análises do comportamento da variação da irradiação solar no período e além disso, seria possível obter o valor da irradiância solar do período, fazer o sistema de armazenamento de dados para registro de um histórico, sendo possível comparar com a geração FV.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Giovana Barbosa Calixto contribuiu para a elaboração do texto, desenvolvimento e testes do kit didático.

Marcelo Kenji Shibuya contribuiu para a orientação técnica do kit didático e formatação do texto.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Programa de Bolsa Discente na Modalidade Extensão e ao Instituto Federal de São Paulo - Campus Guarulhos.

REFERÊNCIAS

LOPES, N; SHIBUYA, M. K. **Desenvolvimento de Sistema de Monitoramento de Produção de Energia Fotovoltaica de Baixo Custo**. CONICT - Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia, Brasil, nov. 2023. Disponível em: <<https://ocs.ifsp.edu.br/conict/xivconict/paper/view/9413>>. Data de acesso: 06 Sep. 2024.

MAURELLI, R; SHIBUYA, M. K. **Construção de um Protótipo para Medição de Irradiação Solar de Baixo Custo**. São Paulo. 2020

PINHO, J. T; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL – CRESESB, 2014.

SHIBUYA, M. K.; LEI, G. H. M. **Desenvolvimento de Medidor de Irradiância e Irradiação Solar de Baixo Custo para fins Didáticos**. Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS, [S. l.], p. 1–8, 2022. DOI: 10.59627/cbens.2022.1083. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1083>. Acesso em: 4 set. 2024.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. Segunda Edição. São Paulo. Editora Érica. 2015.