

## **ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE UM PAINEL FOTOVOLTAICO UTILIZANDO UM RASTREADOR SOLAR COMPARADO A UM ESTACIONÁRIO**

RODRIGO MORETTO ZAZULA<sup>1</sup>, ISABELLE CORDOVA GOMES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Eletricista, Centro Universitário Campo Real, Guarapuava PR, rodrigo\_zazula@yahoo.com.br;

<sup>2</sup>Me em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação, Centro Universitário Campo Real, Guarapuava PR, prof\_isabellecordova@camporeal.edu.br

Apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC 2022

**RESUMO:** Este trabalho tem como objetivo testar a eficiência de dois métodos de geração de energia fotovoltaica: o convencional feito com painel fixo, e o com painel móvel que acompanha o movimento diário do sol. Para conseguir fazer os testes de eficiência, foram desenvolvidos dois protótipos microcontrolados: um que movimentou a placa durante o dia, com a possibilidade de mantê-la estacionária; e outro para medir a eficiência através de aproximadamente 130 medições diárias da intensidade da corrente elétrica gerada no painel. Para a carga do painel, foram conectadas 6 lâmpadas incandescentes de 55W com ligação em duas sequências em paralelo com de 3 lâmpadas em série cada, totalizando um conjunto de 36v com 330W de potência, muito próximo aos dados de etiqueta do painel canadian 335W monocristalino. Ao fim, concluiu-se que a placa móvel tem uma vantagem de 26% mais eficiência que o painel fixo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rastreador Solar. Painel Fotovoltaico. Eficiência. Corrente. Protótipo Aplicado

## **ANALYSIS OF EFFICIENCY OF A PHOTOVOLTAIC PANEL USING A SOLAR TRACKER COMPARED TO A STATIONARY**

**ABSTRACT:** This Paper aims to test the efficiency of two methods of photovoltaic power generation: the conventional one made with a fixed panel, and the one with a mobile panel that follows the daily movement of the sun. In order to carry out the efficiency tests, two microcontroller prototypes were developed: one that moved the panel during the day, with the possibility of keeping it stationary; and another to measure efficiency through approximately 130 daily measurements of the intensity of the electrical current generated in the panel. For the panel load, 6 incandescent lamps of 55W were connected in two sequences in parallel with 3 lamps in series each, totaling a set of 36v with 330W of power, very close to the data sheet of the Canadian monocrystalline 335W panel. In the end, it was concluded that the mobile panel has an advantage of 26% more efficiency than the fixed panel.

**KEYWORDS:** Solar Tracker. Photovoltaic panel. Efficiency. Current. Applied prototype.

## **INTRODUÇÃO**

A energia elétrica, desde a sua descoberta, possibilitou a evolução da sociedade, e foi moldada até chegar à maneira que a se conhece atualmente. Muitas foram as portas evolucionárias que surgiram depois dessa, até então, chamada nova tecnologia, que segundo Botelho (2008), foi fortalecida com a implantação de: motores elétricos, diminuindo a mão de obra e facilitando os processos que não existiam ou eram ineficazes, e também, a criação de máquinas para usos específicos que eram impossíveis de serem feitos com precisão, delicadeza e agilidade. A evolução na indústria foi tão fortalecida que ultrapassou suas paredes, expandindo aos lares e levando conforto ao público geral.

Devido à alta aceitação das novas tecnologias, a demanda energética está cada vez mais alta, necessitando de matrizes energéticas mais eficientes, um exemplo são os sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaica. Segundo Zilles et.al (2012), o primeiro contato para criação dos painéis fotovoltaicos que existem hoje foi no século XIX, foi quando Alexandre Edmond Becquerel, no ano de 1839 fez uma solução com elétrons de metal e expos à radiação luminosa, percebendo um aumento na sua condução de eletricidade. Zilles et. al. (2012) ainda diz que, em 1873 Willoughby Smith,

através do selênio sólido, descobriu a fotocondutividade. Na mesma década, no ano de 1876 Adams e Day fizeram uma junção de selênio e platina percebendo o efeito fotovoltaico quando exposto à luz.

Segundo Zilles et. al. (2012), as datas das primeiras descobertas são bem antigas, portanto a inovação se concretizou na junção do efeito fotovoltaico em grandes quantidades na forma de painéis expostos a luz do sol, com um inversor de frequência que, transformam a energia que está sendo gerada em corrente contínua para corrente alternada, possibilitando a injeção nas redes elétricas como se conhece hoje. Zilles et. al. (2012), afirma que devido ao aumento das tecnologias no séc. XX possibilitou a disseminação da indústria fotovoltaica e a popularização ocorreu de forma rápida, principalmente pela introdução ter ocorrido em meios militares e aeroespaciais, o que acelerou as pesquisas e evoluções. Posteriormente a geração distribuída atingiu as grandes centrais.

Segundo Neves & Rocha (2021), o Brasil possui um grande potencial energético por vias solares, somando isso com as reservas de matérias-primas necessárias para a produção de painéis fotovoltaicos existentes no país, acaba por fazer da geração de energia fotovoltaica uma ótima opção para a economia e diversificação das matrizes energéticas.

Hoje, voltando no escrito de Zilles et. al. (2012), a energia fotovoltaica está muito presente nas indústrias e cada vez mais acessível ao cidadão comum, girando a economia e dando uma folga nas matrizes energéticas existentes. Segundo Scwanke (2013), às vantagens desse tipo de geração de energia elétrica é o baixíssimo custo de manutenção dos equipamentos juntamente com o baixo impacto ao meio ambiente. Scwanke (2013) ainda ressalta algumas desvantagens como: o alto custo dos materiais, e a inconstante forma de geração, pois atinge o pico máximo somente uma vez por dia e durante a noite permanece desligado.

A incidência de raios solares gera um índice chamado irradiação solar, que tem valor diferente em cada coordenada geográfica, segundo Villalva (2015), o Watt-hora por metro quadrado ( $Wh/m^2$ ), é utilizado para medir a energia solar que incide em uma superfície plana de 1 metro quadrado no período de 1 hora, sendo essa a densidade de energia por área.

Segundo o site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), no Brasil existem vários cenários de eficiência de geração: existem lugares com baixa incidência solar como por exemplo Joinville (SC) que possui uma das menores médias do Brasil, sendo  $3,64 Wh/m^2$ ; e lugares com muita incidência de sol, como Crateús (CE), que chega até  $5,59 Wh/m^2$ , que ao contrário da cidade de Santa Catarina elencada, possui um dos maiores níveis de incidência do país. A irradiação é um fator bem importante para determinar a quantidade de energia que será gerada. Estes dados de insolação são recolhidos através das coordenadas cedidas pelo Google maps e colocadas no site da CRESESB, que fornecem dados solares e eólicos do Brasil gratuitamente.

Ainda segundo o site da CRESESB, no Brasil os painéis solares, quando instalados na forma estacionária, possuem um ideal de orientação que é ficar voltado ao norte, Zilles et. al. (2012) reforça dizendo que a inclinação deve ser próxima à latitude do local, logo, ficando entre  $20$  a  $25^\circ$  de inclinação, porém, muitas vezes este ideal é difícil de ser alcançado devido às mais diversas formas de telhados e terrenos, portanto, deve-se calcular perdas de eficiência através de orientação e inclinação diferentes das descritas, caso isso ocorra, será preciso de mais placas para compensar a perda de geração.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Nas localidades onde a área de telhado é limitada e não havendo possibilidade de colocar a quantidade necessária de painéis para suprir a demanda energética, como se faz para extrair a máxima eficiência de um sistema fotovoltaico? Essa dúvida moveu essa pesquisa e levantou a hipótese que um rastreamento do sol pode ajudar na geração de energia elétrica. Rastreadores solares servem para fazer painéis solares acompanharem o movimento diário do sol, análogo a um girassol, forçando o painel a ter uma maior exposição solar diária, e uma possível maior produção energética.

Segundo Prinsloo et. al (2015), apud Freitas (2018, p.14), a utilização de sistemas de rastreadores solares de algoritmos complexos em usinas de grande produção de energia, existem para se obter a máxima produção energética com uma menor área de exposição solar, conseqüentemente, um menor número de painéis fotovoltaicos. Segundo ele, o grande desafio desses sistemas é a arquitetura, onde muitas vezes deve ser proprietária, envolvendo estudos únicos em cada coordenada e sensores que captam e compreendem a movimentação diária do sol naquela localidade, retornando todo dia para uma posição inicial.

GARCIA et. all. (2015) fez um experimento com rastreador solar com um mecanismo próprio de análise de movimento e rotação de um painel de pequeno porte, neste caso, a eficiência foi 24,5% maior no painel móvel. Portanto, com intuito de estudar a eficiência de sistemas rastreados, se fez um rastreador solar microcontrolado para um único painel solar fotovoltaico em tamanho real para se comparar com o estudo de GARCIA et. all. (2015). A análise que será apresentada acontecerá através da média de geração de ambos os painéis capturada por um equipamento microcontrolado que também foi confeccionado para este estudo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para a captação dos dados de geração, o protótipo foi dividido em duas partes: um rastreador solar e um *data logger*.

### **RASTREADOR SOLAR**

Para conseguir acompanhar o movimento diário do sol, foi elaborado um cavalete em cantoneiras metálicas com um suporte para painel fotovoltaico na forma de um prisma de base triangular, onde se consegue um ângulo total de rastreio de 120° de inclinação.

Essa placa consegue movimentar-se através de um motor CC 12V alimentado por uma fonte que é ativada somente quando o movimento da placa é necessário, seja para ajustar a nova posição solar, ou retornar ao ponto inicial e aguardar o novo dia. O mecanismo de relés para reversão do motor foi elaborado com 2 relés, onde funcionam com o princípio de polos repetidos em uma chave de 3 pontas.

Foi elaborada uma programação, que faz com que o microcontrolador leia os valores de dois LDR (em inglês, resistor dependente de luz), e de acordo com os valores de luz refletido em cada LDR, rotaciona o painel a deixá-lo com ângulo de 90° com em relação aos raios solares.

Os LDR foram cravados em um pedaço triangular de madeira e fixado sobre a lateral do painel fotovoltaico, fazendo os sensores se moverem juntamente com o painel fotovoltaico possibilitando um controle fino da posição.

Os fins de curso utilizados no projeto funcionam como uma chave que abre e fecha um circuito simples: quando o painel rotaciona até o fim, essa chave é acionada e manda informação verdadeira para o algoritmo, que processa e impede que a placa sofra algum dano por extrapolar seu curso natural.

O funcionamento é através de quatro sensores, dois deles são os LDR já comentados, e dois fins de curso, que fazem a limitação do curso do painel, cada LDR retorna valores entre 0 e 1023, sendo 0, escuro absoluto, e 1023, um ambiente muito bem iluminado. Durante o tempo todo de funcionamento, o processador fica comparando os valores dos sensores de luminosidade, caso algum deles representem uma diferença maior que a configurada na programação, neste caso 10, a placa deve rotacionar no sentido horário, ou anti-horário, sem ultrapassar a barreira dos fins de curso. Caso o sensor de fim de curso 1 seja ativado, a placa deve parar imediatamente e aguardar a noite, que foi configurada para ser quando a soma dos dois LDR for menor de 500. Somente com a chegada da noite, a placa inicia seu curso contrário, voltando à posição inicial, que é compreendida pelo acionamento do sensor de fim de curso 2. Uma vez com o sensor 2 ativado, a placa retorna ao repouso, e só inicia seu rastreio de luz novamente quando for dia, que nesta programação é quando os valores dos dois LDR somam mais do que 500. A partir desse ponto, o ciclo se repete todo dia.

### **DATA LOGGER**

Para conseguir estimar a geração que os painéis disponibilizam nas duas modalidades, foi utilizado um sistema microcontrolado, equipado de um sensor de corrente ACS 712 que faz a leitura da corrente instantânea que circula entre o painel solar fotovoltaico e o conjunto de carga.

Para armazenar os dados gerados com periodicidade, as aferições de corrente ocorreram a cada 5 minutos em um intervalo de 11 horas entre as 7:30h e 18:30h, horário em que ocorre a irradiação solar. No fim dos dias de testes se obtiveram 132 medições que foram processados e gravados em um cartão de memória de 2GB, através de um módulo de cartão SD.

A carga aplicada ao painel fotovoltaico foi feita com 6 lâmpadas halógenas de 55W, fazendo com que o painel mesmo em horário fora pico conseguisse ter uma drenagem total de sua corrente em todos os horários do dia. Quando o painel era exposto ao sol de manhã, as lâmpadas não acenderam com intensidade total, conforme o dia ia se passando, e se aproximando ao meio dia, sua intensidade ia aumentando até chegar ao ponto máximo de incandescência, que demonstrava o pico de geração

retornando a diminuir gradualmente a intensidade com o passar da tarde, até se apagarem por completo a noite.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor compreensão dos dados que serão apresentados, é importante saber de duas considerações importantes:

1º. As medições foram realizadas em uma localidade onde, infelizmente, na melhor posição possível, possui uma sombra que se arrastava até por volta das 8:40h, como a sombra foi incidente nas duas modalidades, a interferência não foi prejudicial nos resultados. Essa sombra consegue ser percebida dentro do círculo preto presente na figura 1 entre as 8:30 e 9:00h AM.

2º Como nos testes só havia um painel e um gerador de dados, houve a obrigação em fazer os testes das duas modalidades em dias distintos. Uma grande dificuldade foi encontrar dias com sol abundante, onde as sombras das nuvens não atrapalhassem as medições de corrente. Somente após uma série de tentativas nos meses de agosto e setembro se obteve os dados satisfatórios.

## DADOS COLETADOS

As melhores medições obtidas foram para a placa estacionária, dia 31 de agosto e para a placa móvel, dia 01 de setembro de 2021. Segue os dados:

Figura 11 - geração do dia 1 (31/08/21) e dia 3 (01/09/21), estacionária e rastreada respectivamente



Fonte: dados gerados a partir do data logger produzido.

O círculo preto representa a sombra do início do dia, fato aqui já comentado.

Analisando a figura 1, percebe-se, primeiramente que houve 3 momentos de sombras no teste do painel rastreado, essas sombras são percebidas por volta das 9:35h, 10:25h e 13:15h. Estas foram muito rápidas e superficiais, não atrapalhando significativamente a análise.

É fácil perceber que a geração do painel rastreado é muito maior que a do fixo, atingindo e mantendo seu pico máximo muito antes do seu concorrente. Com esta análise, se obteve uma corrente média da placa fixa 4,774 amperes, enquanto na placa móvel, teve uma média de 6,018 amperes. Logo, a placa móvel rastreada se mostrou 26% mais eficiente que a placa fixa nas condições dos testes realizados.

As hipóteses levantadas no início foram confirmadas e vale lembrar GARCIA et. all. (2015), que comparou um painel pequeno fixo e rastreado, onde constatou uma vantagem de 24,5% de eficiência no painel rastreado. Já no estudo aqui apresentado, foi possível notar uma eficiência aproximada de 26%, assim concordando com GARCIA et. all. (2015) que a eficiência é bem maior no painel rastreado do que no fixo.

Com isso se conclui que a eficiência de um painel móvel durante o dia é consideravelmente maior que os fixos e convencionais, desta forma, existe a possibilidade de grandes indústrias começarem a apoiar cada vez mais prática do rastreamento solar, aumentando a geração diária, sem precisar aumentar a área de instalação de painéis solares tornando a potência da energia solar um pouco mais despachável em horários fora pico.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer das atividades do trabalho aqui apresentado, aconteceram vários detalhes e questionamentos que dificultaram e enriqueceram muito a experiência. Aqui os cito:

1º- Relés de contato: Os módulos relés 5vcc utilizados não são feitos para ativar e desativar muitas vezes, e neste experimento, desde os primeiros testes iniciados no início de 2021, eles tiveram bastante trabalho: Ao seguir o sol, era possível ouvi-los ativando e desativando com uma frequência bem alta, isso acabava danificando os contatos internos das bobinas e fazendo-os parar de funcionar. No total, foram 5 relés que apresentaram mal contato em suas saídas. Para um futuro estudo, testar outro tipo de tecnologia, como por exemplo transistores.

2º- A maneira como medir corrente também foi um desafio. No início, os testes eram feitos com os polos do painel em curto, o que provavelmente teria danificado o painel se continuasse dessa forma. Para tentar minimizar os dados desse tipo de medição, foi colocado uma contatora magnética, a qual fazia os polos do painel entrarem em curto apenas no momento da medição de corrente, deixando o circuito aberto no restante do tempo. Esse método causou interferência na programação do projeto de aquisição de dados devido ao magnetismo que a contatora possuía ao ser acionada. Logo, não saiu da mesa de testes, a contatora deu lugar a uma lâmpada de indicação. A partir disso surgiu uma das maiores dificuldades: como fazer uma leitura constante da corrente com uma carga que possa ter uma corrente variada, sem precisar ser interrompida a cada medição? Após estudos e sugestões dos professores optou-se pela utilização de lâmpadas halógenas com circuito fechado o tempo todo e medições a cada 5 minutos.

3º- Se o rastreador solar é tão vantajoso, porque não é utilizado amplamente no Brasil? A verdade é que, segundo as notícias do site canal solar, rastreadores são um ramo que está em ascensão e as tecnologias estão evoluindo para isso se tornar uma opção mais viável e segura para o investidor. No Brasil já existem usinas rastreadas funcionando, todas sofrem com o peso de ser propulsoras: ventos fortes são uma ameaça aos rolamentos, pois como os painéis são fixados em uma única barra rotativa, acaba forçando bastante o eixo e estragando os rolamentos com uma frequência não satisfatória. O preço tanto do produto quanto da manutenção fica mais elevado, fazendo com que fique menos viável e ocorra mais problemas e manutenções no processo. Desta forma, aguardamos novidades para uma ampla aplicação no ramo.

4º- Esse estudo não levou em consideração os custos de energia que o rastreador utilizou! Isso aconteceu devido ao fato que iria precisar de um medidor de energia o qual não estava dentro do orçamento e nem dos planos iniciais, além disso, levaria mais tempo para a análise rodar e ficaria inexata devido ao fato de que se desconhece o valor real de produção do protótipo em usinas reais. Ou seja, os painéis solares geram 26% mais energia, porém, uma parte desse valor vai ficar retida na própria rotação dos painéis. Para trabalhos futuros essa análise pode ser considerada.

## REFERÊNCIAS

- BOTELHO, Adriano. **O fordismo à produção flexível: o espaço da indústria num contexto de mudanças das estratégias de acumulação do capital**. Editora Annablume 2008. 170p
- GARCIA, T; DIAZ, O. AGUDELO, C; **Performance of solar PV tracking system on tropic regions**. In: ESCOBAR, W,F Florez-, BREBBIA, C.A, CHEJNE, F. MONDRAGON, F. (orgs.) **ENERGY AND SUSTAINABILITY VI** . Editora WITpress, 2015. Colombia. p. 197-208.
- NEVES, Filipe Gabriel Gama Rodrigues; ROCHA, Carlos Frederico Duarte. **A Evolução da Energia Solar na Matriz Elétrica Brasileira: Perspectivas de Implementação e Impacto Positivo na Sustentabilidade**. Livro digital, Editora Appris, 2021. 123p
- PRINSLOO, Gerro; DOBSON, Robert Thomas. **Solar Tracking: High precision solar position algorithms, programs, software and source-code for computing the solar vector, solar coordinates & sun angles in Microprocessor, PLC, Arduino, PIC and PC-based sun tracking devices or dynamic sun following hardware**. 2015 Book Edition, p.542, DOI: 10.13140/RG.2.1.4265.6329/1, apud FREITAS, Gilberto de Andrade. Eficiência energética de um painel fotovoltaico com rastreador solar baseado em sensores LDR comparado a um painel em ângulo fixo. 2018
- SCHWANKE, Cibele. Ambiente: **Tecnologias: Série Tekne**. Rio Grande do Sul, Bookman Editora, 2013
- VILLALVA, Marcelo Gradella. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, Sistemas isolados e conectados à rede**. Saraiva Educação SA. 2ª EDIÇÃO, 2015.
- ZILLES, Roberto; MACÊDO, Wilson Negrão; GALHARDOS, Marcos André Barros; OLIVEIRA, Sérgio Henrique Ferreira de. **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA**, Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2012.