

Análise de Desempenho de Um Painel Solar Com Angulação Fixa no Município de Quixeré-CE

1st José Geovane Ribeiro Freitas
Departamento de Engenharia e
Tecnologia
Universidade Federal Rural do
Semiárido
Mossoró, Brasil
jose.freitas@alunos.ufersa.edu.br

2nd Idalmir de Souza Queiroz Junior
Departamento de Engenharia e
Tecnologia
Universidade Federal Rural do
Semiárido)
Mossoró, Brasil
idalmir@ufersa.edu.br

Resumo — O crescimento populacional e evoluções tecnológicas trouxeram um aumento significativo na demanda por energia, então com isso aumentou a busca por energias alternativas, além disso a preocupação com o meio ambiente devido às ações do carbono através da utilização de energia não renovável fazem com que a procura por energia limpa aumente devido ao menor impacto ambiental. Visando este contexto a geração de energia solar tem aumentado na última década. A geração através da energia solar já tem uma representação significativa na matriz elétrica nacional, que chega a 16,1% e em comparação com os anos anteriores a tendência é desse número aumentar ainda mais. Em momentos de escassez no país faz com que diminua a geração das hidrelétricas que são responsáveis por 54,84% na matriz elétrica brasileira, gerando assim um impacto econômico, normalmente devido ao uso das termelétricas que encarece o custo da energia. Deste modo, a eficiência dos módulos fotovoltaicos é uma característica imprescindível que impacta diretamente na geração, sendo assim fatores como temperatura e radiação solar afetam o desempenho dos painéis solares. O presente artigo tem como objetivo avaliar o desempenho do painel solar em estudo localizado na cidade de Quixeré-CE analisando a influência da radiação e temperatura, e também verificar a potencialidade local devido ao seu índice de radiação solar. Foi desenvolvido e instalado um protótipo para coleta de dados durante 7 dias através de sensores e processado pelo Arduino. Pode ser observado temperaturas altas no painel e mudanças nos valores de radiação devido à nebulosidade. A maior eficiência encontrada foi de 6,75%. Foi concluído que a cidade oferece boas condições de radiação para geração fotovoltaica e que o desempenho do painel foi influenciado pela radiação e temperatura.

Palavras-chave — *Eficiência Energética, Energia solar, Energias Renováveis*

I. INTRODUÇÃO

Diante do aumento na demanda por energia devido ao desenvolvimento tecnológico e crescimento populacional, as buscas por fontes alternativas de energia se tornaram imprescindíveis, contando ainda que os recursos naturais são limitados. Segundo [1], a utilização de combustíveis fósseis para geração de energia causa um grande impacto ambiental e poderá causar mudanças irreversíveis no clima global. Visando o contexto, umas das alternativas se trata de uma geração de energia limpa e sustentável, com intuito de suprir as necessidades globais como também preservar o meio ambiente. A energia solar é uma dessas alternativas para geração de energia limpa e de maneira sustentável, e o uso

desta tem aumentado nos últimos anos, que segundo [2] já representa 16,1% da matriz elétrica brasileira. O objetivo é que além de aumentar os investimentos em energia solar também buscar melhorias nos desenvolvimentos das células fotovoltaicas a fim de aumentar a eficiência como também baratear os custos do produto final.

Segundo [3], o Brasil é um país favorecido, pois possui uma enorme potencialidade para geração fotovoltaica devido à grande quantidade de energia solar incidente. Conforme [4], a região nordeste possui altos índices de radiação, sendo considerada a maior em se tratando de média anual, enquanto que o noroeste de Minas Gerais e região central da Bahia alcançam valores de até 6,5 kWh/m² ao dia.

Ainda segundo [1], ao longo do tempo os painéis do tipo policristalino tem alcançado eficiência máxima de até 20,4%, porém menor do que o do tipo monocristalino. Porém as do tipo PERC vem sendo difundida atualmente com eficiência entre 22% e 25%. O mercado de energia solar vem buscando por tecnologias de alta eficiência, no qual já se atingem valor superior a 30% em laboratório.

Diante disso, o presente trabalho analisará o desempenho do painel solar fixo desenvolvido e realizado na cidade de Quixeré – CE, verificando o potencial local para geração de energia e observando características como temperatura e irradiância solar que são considerados fatores que influenciam diretamente na geração de energia elétrica.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

Nessa parte do trabalho tem como propósito verificar a importância da energia para o desenvolvimento da sociedade, conceituar suas formas de captação, compreender as características dos painéis solares, abrangendo assim sua notabilidade.

A. Posicionamentos para painéis solares.

Os módulos fotovoltaicos podem ser instalados de modos diferentes quanto ao seu posicionamento, dependendo da necessidade ou viabilidade.

- Painel fixo: Neste caso em se tratando da localização no hemisfério sul, o módulo deverá ter a face voltada para o norte, com inclinação igual a latitude local [5] conforme ilustrado na figura 1;

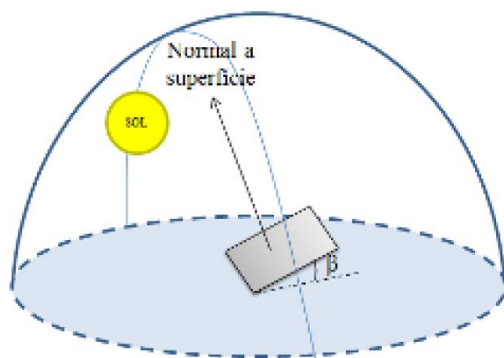


Fig. 1 – Ângulo de inclinação painel solar [6].

- Rastreador tipo polar: Este modelo é do tipo rastreador, a face encontra-se voltada para o norte e possui um único eixo para rotação com inclinação igual à latitude local [7] conforme mostrado na figura 2;



Fig. 2 – Rastreador de eixo único [8].

- Rastreador de eixo horizontal: Possui apenas um eixo e construído de forma a buscar intervalos pré-definidos a fim de diminuir o ângulo dos raios solares que incidem sobre o painel para deixar o máximo perpendicular possível [9] conforme ilustrado na figura 3;

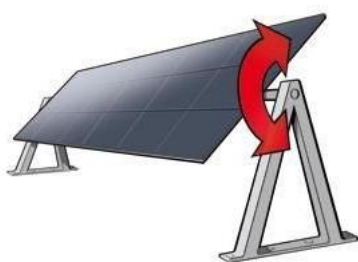


Fig. 3 – Rastreador de eixo horizontal [9].

- Rastreador de eixo duplo: Surge da formação do tipo eixo horizontal com o do eixo vertical [10]. Este modelo capta mais a luz solar tendo como consequência um aumento na eficiência [7]. O tipo de seguidor pode ser visto na figura 4;

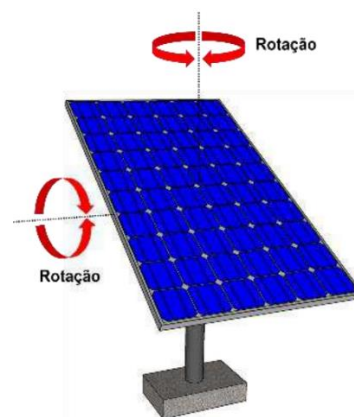


Fig. 4 – Rastreador eixo duplo [10].

B. Curva de I-V dos painéis solares

A figura 5 mostra a relação de corrente, tensão e potência. I_{sc} é a corrente de curto circuito e V_{oc} é a tensão de circuito aberto, esses são os maiores valores possíveis que os painéis solares podem fornecer conforme [11]. Já I_{mp} , V_{mp} e P_{mp} são os valores de corrente, tensão e potência máxima quando os painéis operam na máxima potência. Vai salientar que esta representação é para uma irradiância de $1000W/m^2$ e temperatura de $25^{\circ}C$.

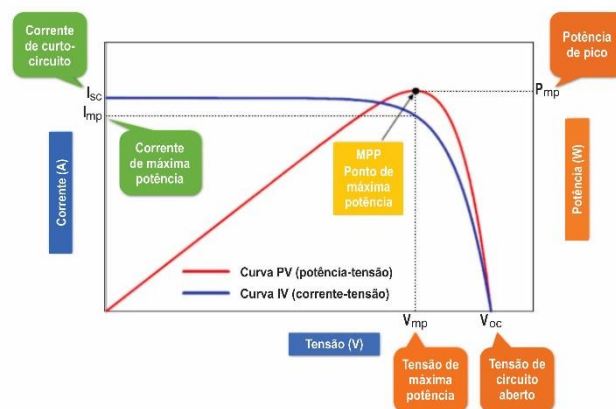


Fig. 5 – Curva I-V e P-V [11].

A temperatura afeta a geração dos painéis solares. Conforme a figura 6 mantida a radiação constante em $1000W/m^2$, percebe-se que há pouca variação na corrente. A tensão de circuito aberto tem um decréscimo com valores mais significativos com o aumento da temperatura segundo [12]. Alguns fatores como sombreamento, construção dos painéis e a características ambientais como chuvas e ventos afetam a temperatura dos módulos.

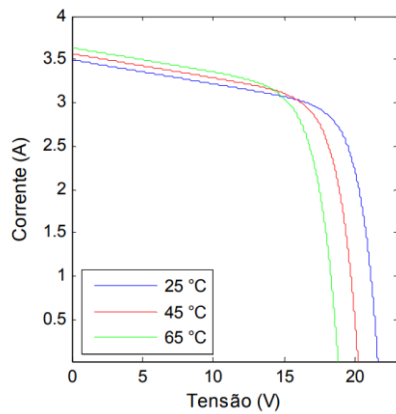


Fig. 6 – Influência da temperatura na curva I-V [12].

A radiação solar tem influência diretamente no desempenho dos painéis solares. A figura 7 mostra o comportamento da tensão de circuito aberto e corrente em função da irradiância solar mantida a temperatura dos módulos constantes. Pode ser visto que a tensão e a corrente aumentam segundo [13], porém a tensão tem pouca variação enquanto que a corrente aumenta significativamente, o que faz com que a potência gerada seja maior com o aumento da radiação.

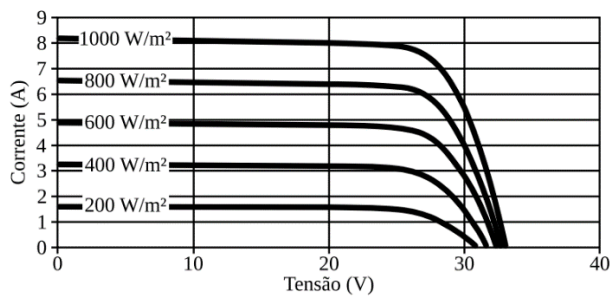


Fig. 7 – Influência da radiação na curva I-V [13].

III. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho visa mostrar o desempenho de um painel solar com angulação fixa, com observação na temperatura como também na radiação solar local.

Foi desenvolvido e instalado um protótipo com arduino, painel solar, sensores, RTC, SD card, a fim de armazenar os dados e interpretá-los através de gráficos.

Na tabela 1 pode ser visto o levantamento da irradiação solar local com ângulo do painel igual a latitude, através dos dados de latitude $5^{\circ} 04' 27''$ (S) e longitude $37^{\circ} 59' 19''$ (W), os valores puderam ser coletados com realização de uma consulta através de [14].

TABELA I. IRRADIAÇÃO SOLAR INCLINADA

Mês	Irradiação Solar Inclinada (kWh/m ² .dia)
Janeiro	5,44
Fevereiro	5,31
Março	5,33
Abril	4,87
Mai	5,46

Junho	5,15
Julho	5,63
Agosto	6,26
Setembro	6,26
Outubro	6,47
Novembro	6,33
Dezembro	5,88
Média anual	5,69

Fonte: RADIASOL 2 (2023).

No sistema foram utilizados sensores para medição de corrente e tensão do painel, sensor de temperatura como também um medidor de irradiância solar, além de um RTC para identificação de horários e cartão SD para coleta dos dados. A estrutura esquemática está conforme figura 8.

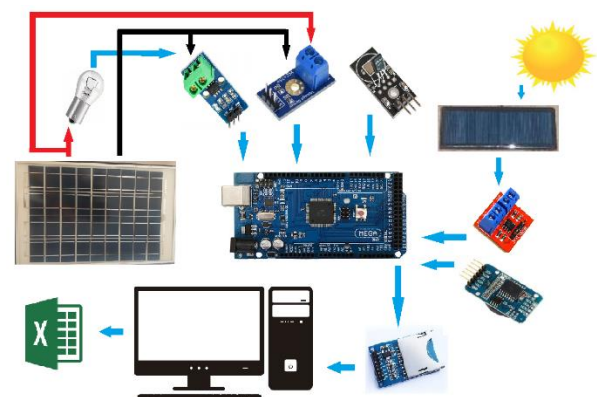


Fig. 8 – Estrutura esquemática. Fonte: Elaboração própria.

Para a realização da análise do desempenho do painel solar, foi utilizado o software Excel da empresa Microsoft, necessário para armazenamento de dados e plotagem dos gráficos, como também a IDE do Arduino, que recebe os valores lidos pelos sensores como também executa o programa.

O ângulo do painel foi fixado em 5° , latitude da cidade de Quixeré no estado do Ceará, local onde foi realizado este trabalho.

A lista de materiais utilizados no desenvolvimento do protótipo pode ser visualizada nas seções subsequentes.

A. Arduino Mega

O Arduino Mega é uma placa que é integrada ao microcontrolador Atmega2560, que pode ser alimentado por uma fonte AC-DC, possui entrada USB, como também entradas analógicas e entradas/saídas digitais. Tem como função receber os valores lidos pelos sensores e mandar executar tarefas de acordo com a programação.

B. Sensor de temperatura

Para a medição de temperatura do painel solar, foi utilizado o sensor LM35, que envia um sinal ao controlador, este sensor possui fator escalar de $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$, ou seja, o valor enviado pelo sensor varia de acordo com a

mudança da temperatura. A medição de temperatura se faz necessário pois afeta a geração dos painéis solares.

C. Sensor de corrente ACS712

Para a medição da corrente do painel solar, foi utilizado o sensor ACS712 de 5A, este é alimentado com uma tensão de 5V, no qual a saída analógica tem um fator de escala de 185mV/A.

D. Sensor de tensão

Para a medição da tensão do painel solar, foi utilizado o sensor de tensão 0-25V, no qual usa o princípio de divisor de tensão, para um microcontrolador de 10 bits, pode ser detectada uma tensão mínima de entrada no valor de 0,02445V DC.

E. Sensor de tensão e corrente MAX 471

O sensor MAX 74 foi utilizado para medir a tensão de circuito aberto do minipainel solar a fim de se obter o valor da irradiância solar.

F. Real time clock (RTC)

O RTC DS323 é um circuito integrado que serve para marcação de horários e datas, sendo assim utilizado para registro do tempo em que os dados foram coletados pelos sensores.

G. Módulo cartão SD

O módulo cartão SD tem como função principal o armazenamento de dados coletados pelos sensores e com isso foi possível analisar estes dados como também a plotagem dos gráficos.

H. Painel solar

O painel solar utilizado para análise é da marca Jiaxi de 10W e tem suas características conforme a tabela 2.

TABELA II: CARACTERÍSTICAS DO PAINEL SOLAR.

PAINEL SOLAR JIAXI 10W	
Potência máxima (P _{máx})	10W
Tensão de circuito aberto (V _{oc})	22V
Corrente de Curto-Circuito (I _{sc})	0,62A
Tensão de Máxima Potência (V _{mp})	18V
Corrente de Máxima Potência (I _{mp})	0,56A
Área útil do painel	0,065m ²
Eficiência do painel	11%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

I. Minipainel solar

O minipainel solar mostrado tem como função a medição de irradiância solar através da captação da luz e analisando a tensão de circuito aberto.

O processo de calibração mostrado na figura 9 foi realizado por [15] com diversas medições durante o dia e

os resultados encontrados estão de acordo com as equações 1 e 2.

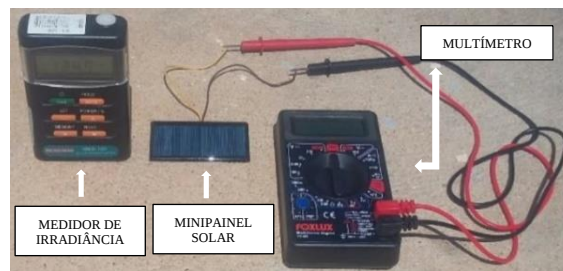


Fig. 9 – Calibração do Minipainel solar.

Para valores de tensão $\geq 5,45V$ e $\leq 5,82V$ utiliza-se:

$$G = (-1046 * V) + 7091,3 \quad (1)$$

Para valores de tensão $< 5,45V$ utiliza-se:

$$G = (607,29 * V) - 2735,2 \quad (2)$$

G = Radiação solar incidente (W/m²)

V = Tensão em Volts (V)

O ângulo de montagem do painel é ilustrado conforme figura 10, com a face voltada para o norte com intuito de melhor aproveitamento da luz solar conforme [5].

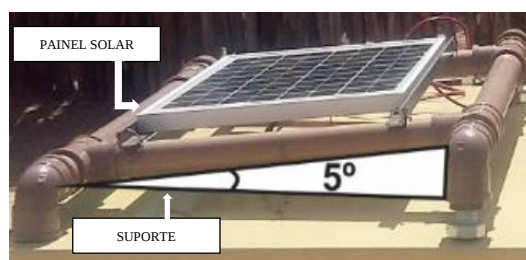


Fig. 10 – Ângulo do painel solar.

A instalação completa de todo o sistema está conforme figura 11, suportada por uma mesa e também com uma fonte de alimentação para o arduino para o seu devido funcionamento.

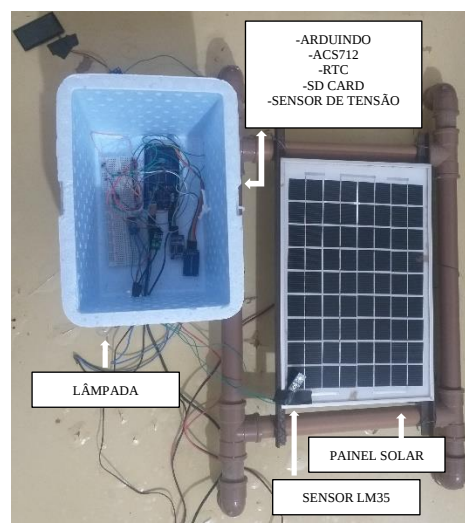


Fig. 11 – Estrutura completa.

O fluxograma do código realizado pelo microcontrolador segue conforme figura 20, onde se fez necessário ajustar o relógio, iniciar o sistema SD, inserir as bibliotecas correspondentes aos devidos módulos quando necessário e escolha dos pinos utilizados.

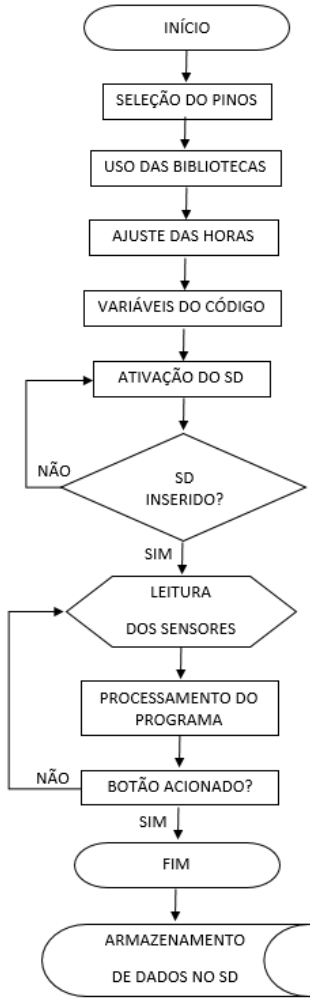


Fig. 20 – Fluxograma do código.

De posse dos valores de tensões, correntes, radiação solar e área útil do painel, as eficiências foram encontradas conforme equação 3.

$$\eta(\%) = \frac{P_m}{A \cdot G} \cdot 100 \quad (3)$$

P_m = Potência gerada no painel (W)

G = Radiação solar incidente (W/m²)

A = Área útil do painel (m²)

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

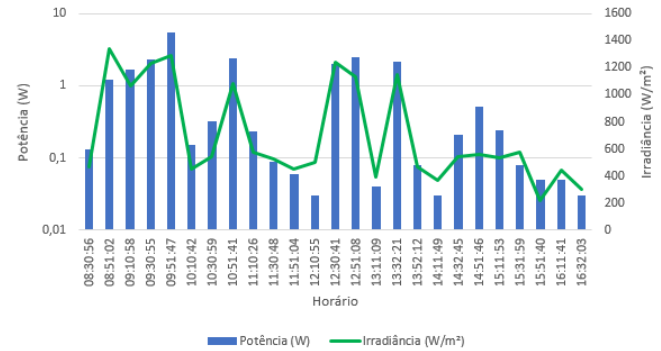
Neste item, através das coletas dos dados, realizado no período de 15 a 23/12/2023, podendo ser observado a influência da irradiação e temperatura na potência gerada pelo painel solar estudado. Os gráficos gerados foram essenciais para essas análises. Foram 7 dias de análise e o intervalo das coletas de dados foi de 20 minutos. Durante o período da

pesquisa realizada, o local possui temperaturas entre 25°C a 37°C, 38% do tempo encoberto e 18% parcialmente encoberto pela nebulosidade e 13mm de precipitação mínima de chuva.

A. Simulação do 1º dia (15/12/2023)

Conforme o gráfico 1 pode ser notado que o dia teve nuvens esparsas influenciando diretamente na radiação. O valor de maior eficiência foi de 6,5%, porém a média foi baixa, e assim se manteve depois das 13h52min.

Gráfico 1 – 1º dia curva de potência e irradiação

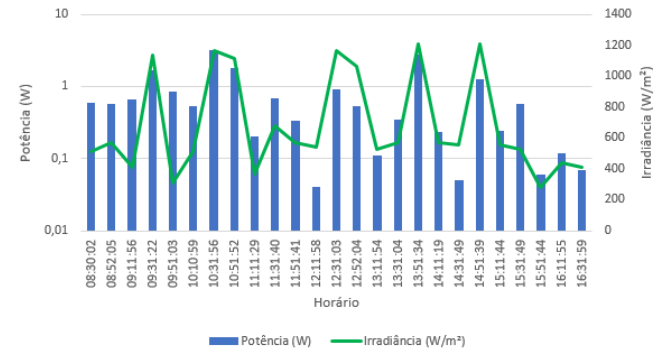


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

B. Simulação do 2º dia (16/12/2023)

No gráfico 2 pode ser visto que as potências geradas foram bem alternadas, influenciada pela nebulosidade em alguns momentos, provocando valores diferentes de radiação. A eficiência máxima foi de 4,2%, e a média foi de 1,46% devido aos baixos valores de potência. Além disso, aqui se obteve a maior média de temperatura, ocasionando uma menor geração de tensão do painel.

Gráfico 2 – 2º dia curva de potência e irradiação

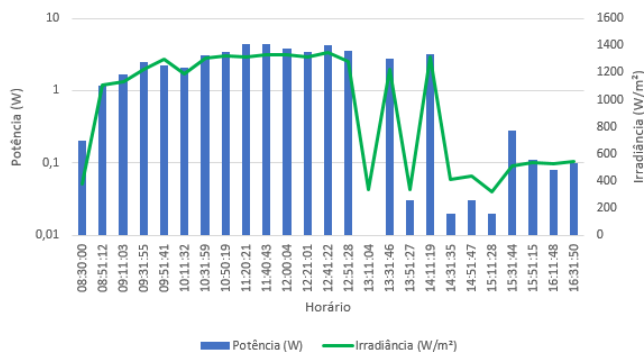


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

C. Simulação do 3º dia (17/12/2023)

No gráfico 3 pode ser percebido picos de potência mais altos, devido ao tempo está ensolarado, mantendo a radiação mais constante durante uma boa parte do dia. A maior eficiência foi de 5,15% e a média de 2,31%, esta última influencia pelo fato de que depois das 14h31min as potências geradas sempre estiveram baixas.

Gráfico 3 – 3º dia curva de potência e irradiância

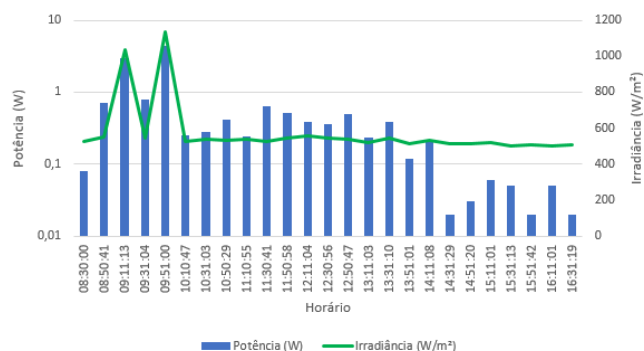


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

D. Simulação do 4º dia (18/12/2023)

Conforme pode ser notado no gráfico 4, o dia passou praticamente nublado, com radiações baixas gerando pouca potência. A maior eficiência foi de 5,96%, no entanto em termos de média ficou muito abaixo do esperado.

Gráfico 4 – 4º dia curva de potência e irradiância

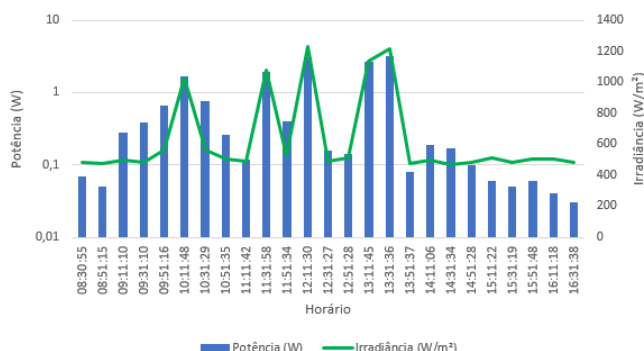


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

E. Simulação do 5º dia (21/12/2023)

O gráfico 5 mostra que a potência máxima foi de 3,18W, em que o dia teve nuvens esparsas com pouca radiação. O valor de maior eficiência foi de 4,03% e a média se manteve baixa. Foi um dos dias com menores médias de temperatura com valor de 44,56°C, porém devido a radiação baixa houve um resultado abaixo do normal.

Gráfico 5 – 5º dia curva de potência e irradiância

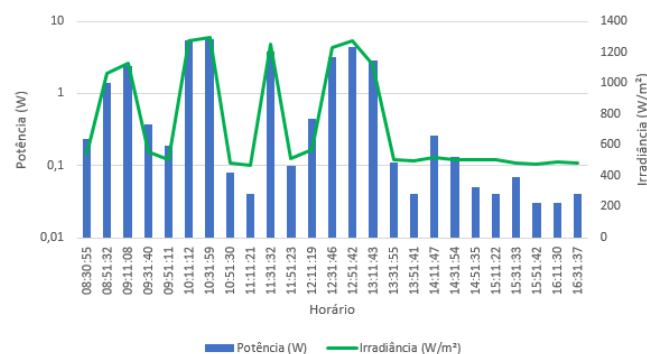


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

F. Simulação do 6º dia (22/12/2023)

No gráfico 6 pode ser visto que houve um pico de potência de 5,69W, no qual o dia teve algumas nuvens e radiação baixa em alguns momentos e a partir das 13h31min. O valor de maior eficiência foi de 6,75% e a média de 1,73%.

Gráfico 6 – 6º dia curva de potência e irradiância

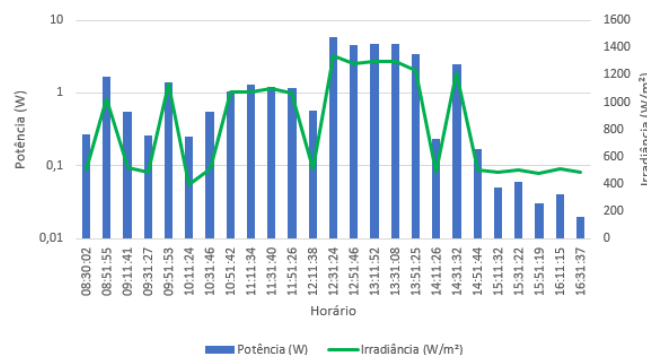


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

G. Simulação do 7º dia (23/12/2023)

Conforme ilustrado no gráfico 7, do início da coleta até as 12h11 as potências se mantiveram abaixo de 2W, houve um pico de potência de 5,82W e das 12h31 até às 13h51 as potências passaram de 3W e a partir disso se manteve baixa devido a pouca radiação. A máxima eficiência foi de 6,69% e a média de 2,05%. A temperatura média foi uma das mais altas com valor de 49,44°C, porém devido a radiação mais alta, fez com que neste dia se obtivesse alguns valores acima de 4W.

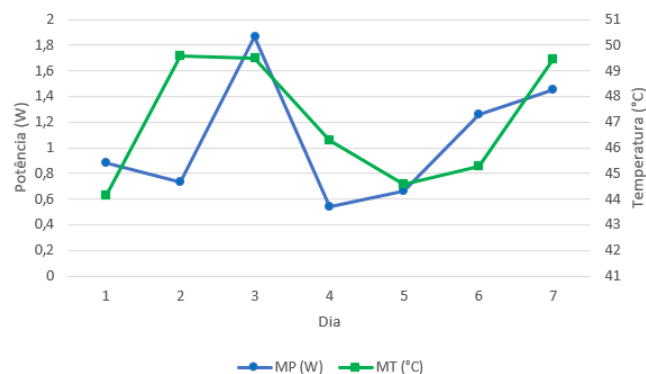
Gráfico 7 – 7º dia curva de potência e irradiância



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

O gráfico 8 mostra a média das potências (MP) e a média das temperaturas (MT) relacionados a cada dia de coleta dos dados. Pode ser percebido que as potências geradas foram baixas na maior parte do tempo, isto se deve ao fato que em muitos momentos o tempo estava nublado ou com nuvens esparsas provocando pouca radiação, e estas baixas potências se mantiveram todos os dias na primeira hora e depois das 14 horas influenciando no desempenho do painel. Com relação às temperaturas do painel, foi notado que elas estavam altas na maioria das vezes chegando a uma média de até 49,6°C afetando mais significativamente na tensão gerada pelo painel e consequentemente sua eficiência.

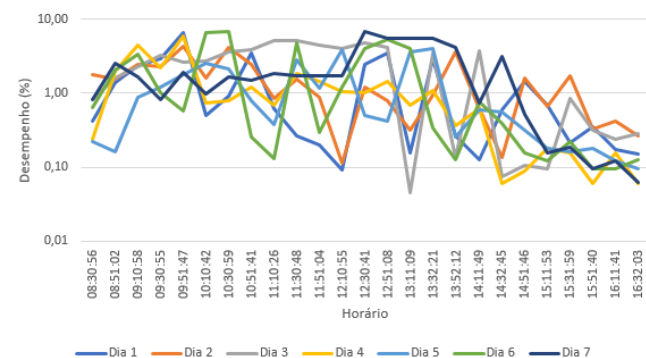
Gráfico 8 – Média das potências e temperaturas



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

No gráfico 9 é apresentado o desempenho do painel realizado no período de 15 a 23/12/2023. Foi percebido grandes variações nos valores, causados principalmente pela presença de nuvens e o fato do painel estar em modo fixo. Destaque para dos dias 3 e 6, que o obtiveram menor e maior valores de desempenho momentâneo respectivamente.

Gráfico 9 – Desempenho do painel



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do artigo é fazer uma análise do desempenho de um painel fixo instalado na cidade de Quixeré – CE, verificar as influências da temperatura e radiação sobre a eficiência. A utilização dos dados coletados foi fundamental para a realização da pesquisa, pois através dos gráficos gerados foi possível entender os comportamentos da geração dos painéis sob determinadas condições.

Conforme mostrado a maior eficiência encontrada foi de 6,75%, momento em que a radiação estava alta, mostrando assim a sua influência diretamente relacionada com a geração de energia. Fatores como nebulosidade, painel em modo fixo, mês da realização do trabalho com radiação de 5,88 kWh/m².dia conforme tabela 1 acarretaram em potências baixas durante os primeiros horários dos dados coletados e a partir das 14h, resultando em uma média de eficiência pequena. As temperaturas elevadas também se tornaram um problema, visto que a menor média foi de 44,16°C, o que provocou redução de tensão do painel e afetou no rendimento.

Durante a pesquisa realizada, foi observado que a radiação local está na faixa de 5,31 e 6,47 kWh/m².dia, o que favorece a geração energia solar, e que no trabalho realizado foi

constatado bons níveis de radiação reforçando a boa disponibilidade de luz solar.

Como uma sugestão para trabalhos futuros, melhorar o ajuste do sensor de radiação utilizando um número maior de dados coletados em dias e horários mais diversificados a fim de se obter uma curva mais ajustada, como também novas pesquisas em meses onde a radiação é maior, com intuito de se observar o comportamento do protótipo.

REFERÊNCIAS

- [1] FERRUZZI, Yuri. Análise comparativa da eficiência de um sistema fotovoltaico bifacial em relação a painéis policristalinos e monocristalinos half cell. Tese (Doutorado em Engenharia de Energia de Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Cascavel, 2023.
- [2] ABSOLAR. Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 26 dez. 2023.
- [3] AMÉRICA DO SOL. Potencial solar no Brasil. Disponível em: <https://americadosol.org/potencial-solar-no-brasil/>. Acesso em: 25 dez. 2023.
- [4] PORTAL SOLAR. A energia solar no mundo. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-mundo>. Acesso em: 25 dez. 2023.
- [5] PORTAL SOLAR. A melhor direção do painel solar fotovoltaico. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/a-melhor-direcao-do-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 14 dez. 2023.
- [6] JÚNIOR, C. L. *et al.* Energia solar: Metodologia par avaliação do local de instalação de sistema fotovoltaico fomentando a educação ambiental. Revbea, São Paulo, v.13, n.3, p. 233-244, 2018.
- [7] VIEIRA, R. G. Análise comparativa do desempenho entre um painel solar estático e com rastreamento no município de Mossoró-RN. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró, 2014.
- [8] MICROGERAÇÃO OFV. Disponível em: <https://microgeracaoofv.wordpress.com/2016/10/17/seguir-solar-parte-2-tipos/>. Acesso em: 19 dez. 2023.
- [9] ENERGÉS. Disponível em: <https://energes.com.br/seguir-solar-tracker/>. Acesso em: 19 dez. 2023.
- [10] SOARES, R. A. Desenvolvimento de um seguidor solar de baixo custo para sistemas fotovoltaicos de pequeno porte. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, 2021.
- [11] CANAL SOLAR. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/entendendo-as-curvas-iv-e-pv-dos-modulos-fotovoltaicos/>. Acesso em: 17 dez. 2023.
- [12] SEGUEL, J. I. L. Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2009.
- [13] M. E. Treter and L. Michels, "Métodos de aquisição experimental de curvas I-V de arranjos fotovoltaicos: Uma revisão," Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/737/2019/10/15-2-Michels-Marcos-SEPOC.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2023.
- [14] BUGS, Rodrigo Carvalho. RADIASOL 2. UFRGS, 2010.
- [15] FREITAS, J. G. R. Análise comparativa entre uma placa solar fixa e com seguidor solar de eixo único no município de Quixeré-CE. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró, 2019.