

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO
PAULO**

CAMPUS AVARÉ

Engenharia de Biosistemas

Luiz Angelo de Moraes Cury

**A eficiência energética de sistemas fotovoltaico automatizado em relação
a sistemas fotovoltaico fixo.**

AVARÉ

2024

LUIZ ANGELO DE MORAIS CURY

A eficiência energética de sistemas fotovoltaico automatizado em
relação a sistemas fotovoltaico fixo.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Biosistemas do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de São
Paulo - *Campus Avaré*.

Orientador: Prof. Mestre
Alexandre Meneses de Camargo

AVARÉ
2024

Catálogo na fonte
Instituto Federal de São Paulo – Campus Avaré

Cury, Luiz Angelo de Moraes

A eficiência energética de sistemas fotovoltaico automatizado em relação a sistemas fotovoltaico fixo/ Luiz Angelo de Moraes Cury – Avaré, 2024.

34 p.

Orientador: Prof. Mestre Alexandre Meneses de Camargo

Monografia (Graduação – Bacharelado em Engenharia de Biosistemas) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Avaré, Avaré, 2024

1. Automação solar. 2. Sistema inteligente. 3. Eficiência energética. I Camargo, Alexandre Meneses de. II Título.

ATA N.º 2/2024 - CCM-AVR/DAE-AVR/DRG/AVR/IFSP

Ata de Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "*A eficiência energética de sistemas fotovoltaico automatizado em relação a sistemas fotovoltaico fixo na cidade de Avaré*" apresentado pelo aluno **Luiz Angelo de Morais Cury** do Curso **SUPERIOR EM ENGENHARIA DE BIODIVERSIDADE**, (Câmpus Campus Avaré). Os trabalhos foram iniciados às 16h42 pelo(a) Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

Membros	IES	Presença (Sim/Não)	Aprovação/Conceito
Alexandre Menezes de Camargo (Presidente/Orientador)	IFSP- Câmpus Avaré	SIM	7,0
Edmilson Jose da Silva Nascimento (Examinador 1)	IFSP - Câmpus Avaré	SIM	7,0
Fabio Henrique Busquim Pereira (Examinador 2)	IFSP - Câmpus Avaré	SIM	7,0

Observações:

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo da monografia, passou à arguição do(a) candidato(a). Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo(a) aluno(a), tendo sido atribuído o seguinte resultado:

Aprovado(a)

Reprovado(a)

Nota Final: 7,0

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Campus Avaré,

5 de fevereiro de 2024

Documento assinado eletronicamente por:

- **Alexandre Menezes de Camargo**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 05/02/2024 18:17:50.
- **Edmilson Jose da Silva Nascimento**, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO, em 05/02/2024 18:24:24.
- **Fabio Henrique Busquim Pereira**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 05/02/2024 19:10:45.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/02/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifsp.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 690517
Código de Autenticação: c2890ee718



ATA N.º 2/2024 - CCM-AVR/DAE-AVR/DRG/AVR/IFSP

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a minha família que me apoiaram desde o início e em momentos difíceis e que ajudaram a tornar este momento uma realidade, aos professores do Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de São Paulo, campus de Avaré, mestre Alexandre Meneses de Camargo, doutor Rafael Aparecido Ferreira e a doutora Vanda Gorgone dos Santos que ajudaram ao máximo dentro do alcance todo o período do curso.

“A natureza não faz nada em vão e, dentre os animais, o homem é o
único que ela dotou de linguagem.”

Aristóteles

RESUMO

É perceptível que a busca por fontes alternativas de geração de energia elétrica está maior a cada dia, neste sentido as fontes de energias limpas automatizadas ou inteligentes, surgem com uma proposta inovadora associada a alta tecnologia. Neste sentido, a geração de energia fotovoltaica automatizada vem sendo um atrativo a cada dia que se passa em nosso país, pois além de ser considerada uma fonte limpa é também um sistema eficiente de geração em relação aos sistemas de geração de placas fixas. Assim, o presente trabalho, através do processo de experimentação que ocorreu dentro do campus de Avaré do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de São Paulo, tem como objetivo analisar a diferença na eficiência energética entre sistemas de geração de energia solar em dispositivo móvel e fixo (sistemas tradicionais de instalação). Para a verificação dos valores gerados das diferenças significativas entre as metodologias distintas de geração, foram realizados os estudos estatísticos de Shapiro-Wilk e de Teste – U – de Mann-Whitney, para a verificação em relação a normalidade dos dados e posteriormente o método necessário da análise para o tipo da experimentação realizada. Após as análises estatísticas e dos cálculos de eficiência energética, foi constatado que o sistema móvel de geração é mais eficiente que o sistema fixo.

Palavras-chave: automação solar, sistema inteligente, eficiência energética.

ABSTRACT

It is noticeable that the search for alternative sources of electrical energy generation is increasing every day, in this sense, automated or intelligent clean energy sources emerge with an innovative proposal associated with high technology. In this sense, automated photovoltaic energy generation has become an attraction every day that passes in our country, as in addition to being considered a clean source, it is also an efficient generation system in relation to fixed plate generation systems. Thus, the present work, through the experimentation process that took place within the Avaré campus of the Federal Institute of Science and Technology of São Paulo, aims to analyze the difference in energy efficiency between solar energy generation systems in mobile and fixed devices. (traditional installation systems). To verify the generated values of significant differences between the different generation methodologies, the Shapiro-Wilk and Mann-Whitney U-Test statistical studies were carried out, to verify the normality of the data and subsequently the necessary method. from the analysis to the type of experimentation carried out. After statistical analyzes and energy efficiency calculations, it was found that the mobile generation system is more efficient than the fixed system.

Keywords: solar automation, intelligent system, energy efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação da estrutura:(a) vista geral dos equipamentos e (b) vista aproximada dos equipamentos

Figura 2: Tipos de radiação solar

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela 1: – Dados médios de geração de energia elétrica por ambos os painéis

Tabela 2: Dados coletados da placa móvel

Tabela 3: Dados coletados da placa fixa a 30°

Tabela 4: Irradiância na região da pesquisa

Tabela 5: Porcentagem (%) da eficiência energética entre os sistemas móvel e fixo.

Tabela 6a: Valores obtidos pelo método estatístico Shapiro-Wilk

Tabela 6b: Valores obtidos pelo método estatístico Shapiro-Wilk

Tabela 7: Valores do Teste t para amostras independentes – U de Mann-Whitney

Tabela 8: Potência gerada e a % de eficiência do sistema móvel/fixo.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparação de energia gerada entre um sistema fixo e um sistema com seguidor solar

Gráfico 2: Comparação da porcentagem de energia gerada entre a metodologia móvel e a fixa.

Gráfico 3: Porcentagem (%) da eficiência energética entre sistema móvel e fixo

Gráfico 4: Ganho Energético (%) – Móvel/ Fixo

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Agência Nacional de Energia Elétrica = ANEEL

Corrente Alternada = CA

Corrente Contínua = CC

Gases de efeito estufa = GEE

Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica = IEEE

Instituto Federal de São Paulo = IFSP

Intensidade = I

Página = p.

Plano Decenal de Energia = PDE

Potência de entrada = P_{in}

Potência de saída = P_{out}

Potência média = $P_{média}$

Silício = Si

Tensão = V

Tensão de Máxima Potência = V_{mpp}

Trabalho de Conclusão de curso = TCC

Voltagem do Circuito Aberto = (Vac)

Watts = W

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	JUSTIFICATIVA.....	16
2.	OBJETIVO GERAL	17
2.1.	Objetivos Específicos.....	17
3.	METODOLOGIA.....	18
3.1.	DESENHO EXPERIMENTAL.....	18
3.2.	COLETA DE DADOS.....	19
3.3.	ANÁLISE DOS DADOS.....	19
3.4.	ANÁLISE ESTATÍSTICAS.....	20
4.	RESULTADOS	22
5.	DISCUSSÃO	30
6.	CONCLUSÃO.....	32
	REFERÊNCIAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem havido um notável aumento no consumo de energia, inclusive no Brasil, o qual está intrinsecamente ligado ao processo de desenvolvimento e crescimento de um país. Neste sentido, destaca-se que a geração de energia elétrica por meio da luz solar, conhecida como fotovoltaica, tem experimentado um crescimento exponencial. Esse fenômeno é impulsionado por incentivos governamentais e pela presença de recursos naturais abundantes, assim, com a aprovação da resolução normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), é uma resolução que regulamenta e incentiva a microgeração e a minigeração de eletricidade com fontes renováveis de energia em sistemas conectados à rede elétrica de distribuição. (Villalva, 2012, pág. 15).

Além disso, a diminuição dos custos tornou-se um fator relevante para impulsionar a implementação desse sistema em todas as classes econômicas do país. No período de 2016 a 2017, o setor de energia solar experimentou um crescimento estimado em aproximadamente 70%, conforme destacado por Ordeñez (2017). Essa expansão expressiva sugere uma crescente adoção da energia solar como uma opção viável para diversos segmentos da sociedade.

Num cenário global onde a busca por sustentabilidade, desenvolvimento consciente e rentabilidade financeira é crucial, projetos que enfatizam eficiência tecnológica e ambiental são cada vez mais relevantes, desempenhando um papel determinante no avanço de uma nova tecnologia construtiva. Essa abordagem não apenas contribui para o crescimento socioeconômico do país, mas também prioriza a produção de energia de forma limpa e sustentável. No âmbito dessas preocupações, destaca-se a questão das mudanças climáticas globais, atribuídas às emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE).

O Decreto 7.390/10, que regulamenta a Política Nacional sobre Mudança do Clima, vincula o plano setorial de mitigação e adaptação às mudanças do clima ao Plano Decenal de Energia (PDE) no setor de energia (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2013, p. 14). Assim, ao associar o Plano Decenal de Energia do Ministério de Minas e Energia à necessidade crescente de utilizar fontes renováveis com eficiência no consumo de energia elétrica, as placas

fotovoltaicas automatizadas surgem como uma solução viável e coerente com os princípios de sustentabilidade e eficiência delineados anteriormente.

De acordo com Rocha, Assunção (2020), sistemas fotovoltaicos que apresenta dispositivos mecânicos automatizados tem como objetivo, garantir que os painéis fotovoltaicos fiquem sempre na posição mais favorável a captar o máximo de radiação solar possível (perpendiculares aos raios solares). Já no quesito de custo, pode haver um aumento de até 20% do valor, mas esse sistema pode aumentar as receitas geradas em cerca de 40% energia quando comparado com sistemas fixos, como verificado no Gráfico 1.

Gráfico 1: Comparação de energia gerada entre um sistema fixo e um sistema com seguidor solar



Fonte: Rocha, Assunção (2020).

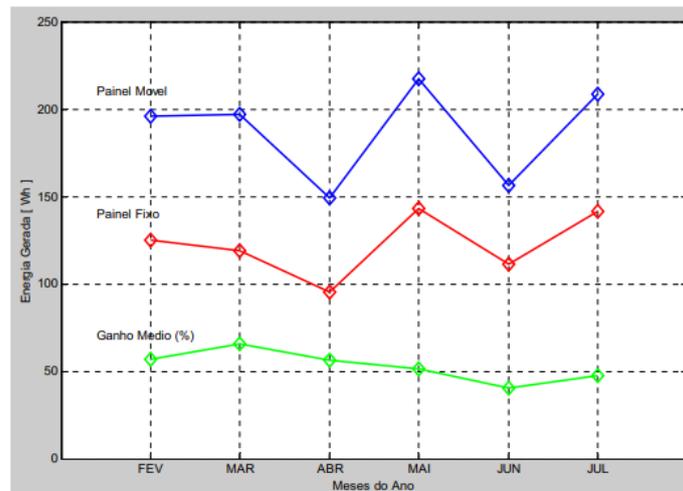
Já para Alves (2008) em defesa de sua tese de doutorado conseguiu experimentalmente conforme a Tabela 1 e o Gráfico 2, respectivamente, comprovar e corroborar através dos experimentos a eficiência de sistemas fotovoltaico automatizados em relação a sistemas fotovoltaico fixos. Obtendo um ganho entre 40% e 65 % de ganho médio de energia gerada entre os sistemas móvel e fixo.

Tabela 1: – Dados médios de geração de energia elétrica por ambos os painéis

Mês	Média Diária da Energia Gerada (Painel Fixo – Wh)	Média Diária da Energia Gerada (Painel Móvel – Wh)	Média do Ganho na Geração (Móvel/Fixo – %)
Fev/2008	125,0197	196,0899	56,8471
Mar/2008	119,2039	197,2418	65,4659
Abr/2008	95,2888	149,0618	56,4317
Mai/2008	143,2470	217,2234	51,6426
Jun/2008	111,2681	156,3569	40,5226
Jul/2008	141,2527	208,6112	47,6866
Média	122,6	187,4	53,1

Fonte: Alves (2008)

Gráfico 2: Comparação da porcentagem de energia gerada entre a metodologia móvel e a fixa.



Fonte: Alves (2008)

1.1. Justificativa

Frente aos problemas ambientais que se desenvolvem no mundo e suas implicações sociopolítica- econômica, é urgente a construção de meios limpos e renováveis de energia, uma vez que muitos dos problemas ambientais são produtos de como a sociedade humana explora e produz os recursos enérgicos do planeta.

A energia solar há anos é colocada como uma das principais tecnologias, principalmente com o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica.

Com base nesse contexto, o presente trabalho busca contribuir de alguma maneira para futuros estudos ou desenvolvimento de pesquisas e tecnologias na área de eficiência energética por meios integrados e de fontes limpas tais como a fotovoltaica.

Neste sentido, associando a automação dos processos eletrônicos e uma das fontes de geração limpa de eletricidade e que vem ganhando destaque no país, o objetivo deste trabalho visa a comparação da eficiência energética dos sistemas de geração móveis (automatizados) em relação aos sistemas fixo, os tradicionais, mostrando como uma fonte alternativa e eficiente.

2. OBJETIVO GERAL

Analisar a diferença a eficiência energética entre sistemas de geração de energia solar em dispositivo móvel e fixo.

2.1. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- A) Analisar a eficiência energética no sistema de geração móvel por meio do uso de placa solar fotovoltaica (angulação móvel, sempre perpendicular ao raio solar).
- B) Analisar a eficiência energética no sistema de geração fixo por meio do uso de placa solar fotovoltaica (angulação fixa aproximada de acordo com a latitude da localidade do experimento).

3. METODOLOGIA

3.1. Desenho Experimental

O estudo foi realizado no Laboratório de Energias Alternativas do Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Campus Avaré/SP. Para os experimentos realizados no LEA, utilizou-se os seguintes equipamentos:

Uma placa fotovoltaica da empresa Resun Solar Energy Co.,LTD, modelo RS6C250P, com potência máxima de 250 watts, de Voltagem do Circuito Aberto (V_{ac}) 37,80 volts, Força Máxima de Potência (V_{mp}) 30,50 volts, dois multímetros da marca Victor modelo vc9807a, sendo um deles utilizados para medição da tensão e o outro para a medição de corrente em cada experimento realizado, um objeto contendo uma resistência média (caixa amarela) de aproximadamente $6,5 \Omega$, uma estrutura para segurar a placa de metal e cabeamentos e conexões, conforme representado na Figura 1.

Figura 1: Representação da estrutura:(a) vista geral dos equipamentos e (b) vista aproximada dos equipamentos



Fonte: Criação do autor

Para todos os experimentos realizados foi utilizado a mesma estrutura e mesma placa, a estrutura de metal de suporte da placa, representada na Figura 1, ela é móvel, podendo ser ajustadas para as duas metodologias realizadas.

3.2. Coleta de Dados

A coleta de dados no experimento foi realizada para cada metodologia, nos dias 19, 20 e 21 de dezembro, dentro do espaço do Instituto Federal, com intervalos de medições entre 15 e 30 minutos (horários informados na Tabelas 1 e 2), para ambas as metodologias aplicadas, totalizando 62 coletas, 31 para cada metodologia.

A cada rodada de experimento, a placa era direcionada conforme a metodologia do sistema de geração. Para a coleta do sistema da placa móvel, a placa era ajustada manualmente sempre perpendicular ao sol, simulando o processo de automação, já para a coleta no sistema da placa fixa a 30° com a face virada para o norte geográfico sempre na mesma posição, representando os sistemas convencionais de instalação de placas fixas. O ângulo utilizado para as placas fixas conforme pesquisado, é referente ao ângulo aproximado do valor da latitude da região de Avaré, SP.

Em cada rodada de experimento de coleta dos dados para as diferentes metodologias, foi utilizado dois multímetros, para a coleta dos dados de tensão e intensidade instantâneas. Entre os intervalos de medições das metodologias, os multímetros eram ligados apenas nos momentos da medição, permanecendo por volta de 30 segundo até estabilizar a medição momentânea e assim desligado posteriormente. Para realizar os procedimentos idêntico de coleta de dados para a outra metodologia, era esperado um tempo de 5 minutos com todos os aparelhos desconectados para que a resistência do circuito sofresse o mínimo de interferência da temperatura local ou de aquecimento do circuito.

3.3. Análise dos Dados

Após as coletas dos dados fornecidos em cada experimento, será calculado a potência instantânea para cada sistema de placas, utilizando a Equação 1, que representa a fórmula da potência de saída (P_{out}) de um painel solar fotovoltaico, onde V_{ac} é a tensão de circuito aberto e I é a intensidade de corrente na carga.

Equação 1 = Equação para determinar a potência de saída.

$$P_{out} = I * V$$

Já, a Equação 2, que é representada a seguir, será utilizada para calcular a porcentagem (%) da eficiência energética.

Equação 2: Equação para calcular o rendimento energético

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{P_{out} * 100}{P_{média}}$$

Para os valores utilizados nos cálculos do $P_{média}$, foi utilizado os valores das médias retiradas do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito para o mês de dezembro.

Após a realização da análise estatística será realizado os cálculos de % de potência gerada representado pela equação 1 entre as duas metodologias, para representar a média de ganho de potência entre o sistema móvel em relação ao sistema fixo, conforme a Equação 3.

Equação 3: Equação de ganho % de Potência (móvel/fixo)

$$\% \text{ de ganho (W)} = \frac{(\text{Potência sistema móvel} - 1) * 100}{(\text{Potência sistema fixo})}$$

As equações utilizadas para análise de dados, são encontradas em diversas literaturas da área, também utilizadas por Alves (2008) em seus resultados gerados.

3.4. Análise Estatísticas

Após a realização dos cálculos da porcentagem da eficiência energética para cada metodologia, os valores foram tabulados e submetidos a uma análise estatística, para a verificação dos dados coletados nas 31 amostras tem mudanças significativas na eficiência de geração de energia ou se as diferenças entre as amostras não são significativas de acordo com os objetivos deste trabalho, assim, adotou-se o valor de $\alpha = 0,05$.

Para a verificação dos dados coletados, foi realizado inicialmente o teste de normalidade dos dados, de acordo com a quantidade de testes realizados em cada metodologia o teste realizado foi o teste de Shapiro- Wilk, para poder realizar um segundo teste que confirmara se a diferença entre as metodologias será de acordo com os objetivos propostos.

Em seguida os dados coletados passaram para a realização do teste Mann-Whitney, para verificação de diferença estatística entre dois grupos não pareados e independentes, após comprovado que os dados são considerados não paramétricos,

Ambos os testes foram realizados no software Jamovi, versão 2.3.28.

4. RESULTADOS

Após a coleta dos dados de tensão e da corrente em todos os experimentos e da fórmula da potência elétrica, chegou-se na Tabela 2 e Tabela 3 que representam os dados das placas móvel e fixa respectivamente, gerados nos três dias de experimentos.

Tabela 2: Dados coletados da placa móvel

Dia/Hora	Ângulo (°)	Experimento	Tensão (V)	Resistência (Ω)	corrente elétrica (A)	Pout – móvel (W)
19 - 09:30	24	1	33,9	5,631229236	6,02	204,078
10:00	24	2	32,68	6,822546973	4,79	156,5372
10:30	24	3	33,1	7,072649573	4,68	154,908
14:30		4	32,35	5,464527027	5,92	191,512
15:00		5	32,02	5,769369369	5,55	177,711
15:30	31	6	32,3	7,494199536	4,31	139,213
16:00	31	7	32,57	6,757261411	4,82	156,9874
16:30		8	32,4	7,414187643	4,37	141,588
20 - 09:00	23	9	33,87	7,662895928	4,42	149,7054
09:30	24	10	33,87	7,662895928	4,42	149,7054
10:00	24	11	33,13	7,86935867	4,21	139,4773
10:30	24	12	33,41	7,751740139	4,31	143,9971
11:00	25	13	32,8	7,717647059	4,25	139,4
11:30	27	14	33,16	7,857819905	4,22	139,9352
12:00	27	15	33	7,875894988	4,19	138,27
15:00	29	16	33,4	7,308533917	4,57	152,638
15:30	29	17	33,25	7,372505543	4,51	149,9575
16:00	29	18	33,42	7,544018059	4,43	148,0506

16:30	29	19	34,05	7,63452914 8	4,46	151,863
21 - 09:00	29	20	33,5	5,49180327 9	6,1	204,35
09:30	29	21	33,41	4,64027777 8	7,2	240,552
10:00	29	22	33,34	4,98355754 9	6,69	223,0446
10:30	26	23	33,23	5,21664050 2	6,37	211,6751
10:45	6	24	32,7	5,28271405 5	6,19	202,413
11:00	27	25	32,68	5,99633027 5	5,45	178,106
12:45	29	26	32,2	5,13556618 8	6,27	201,894
13:00	29	27	32,25	4,54225352 1	7,1	228,975
13:15	30	28	31,85	5,49137931	5,8	184,73
13:30	30	29	32,2	5,70921985 8	5,64	181,608
13:45	30	30	31,8	5,06369426 8	6,28	199,704
14:15	31	31	31,75	4,29054054 1	7,4	234,95

Fonte: criação do autor

Tabela 3: Dados coletados da placa fixa a 30°

Dia - Hora	Ângulo Placa (°)	Experimento	Tensão (V)	Resistência fixa (Ω)	Corrente eletrica (A)	Pout Fixa (W)
19 - 09:35	30°	1	33,02	6,864864865	4,81	158,8262
10:05	30°	2	31,96	6,947826087	4,6	147,016
10:35	30°	3	32,85	7,3	4,5	147,825
14:35	30°	4	32,2	6,558044807	4,91	158,102
15:05	30°	5	31,53	7,133484163	4,42	139,3626
15:35	30°	6	32,1	7,829268293	4,1	131,61
16:05	30°	7	31,32	6,779220779	4,62	144,6984
16:35	30°	8	30,7	7,561576355	4,06	124,642
20 - 09:05	30°	9	33,04	7,737704918	4,27	141,0808
09:35	30°	10	33,54	7,818181818	4,29	143,8866
10:05	30°	11	32,65	7,86746988	4,15	135,4975
10:35	30°	12	32,8	7,735849057	4,24	139,072
11:05	30°	13	32,55	7,75	4,2	136,71
11:35	30°	14	32,88	7,84725537	4,19	137,7672

12:05	30°	15	32,65	7,86746988	4,15	135,4975
15:05	30°	16	32,5	7,254464286	4,48	145,6
15:35	30°	17	32,05	7,251131222	4,42	141,661
16:05	30°	18	31,6	7,181818182	4,4	139,04
16:35	30°	19	31,55	7,423529412	4,25	134,0875
21 - 09:05	30°	20	32,57	5,529711375	5,89	191,8373
09:35	30°	21	32,47	4,586158192	7,08	229,8876
10:05	30°	22	32,38	5,164274322	6,27	203,0226
10:35	30°	23	32,75	5,404290429	6,06	198,465
10:45	30°	24	32,04	5,313432836	6,03	193,2012
11:05	30°	25	32,27	6,111742424	5,28	170,3856
12:50	30°	26	31,75	5,063795853	6,27	199,0725
13:05	30°	27	32,04	4,564102564	7,02	224,9208
13:20	30°	28	31,6	6,358148893	4,97	157,052
13:35	30°	29	29,88	5,533333333	5,4	161,352
13:50	30°	30	30,84	4,796267496	6,43	198,3012
14:20	30°	31	31,14	4,461318052	6,98	217,3572

Fonte: Criação do autor

Depois de chegar aos valores das potências instantâneas, verificou-se o valor de $P_{\text{médio}}$ anual de 5,09 KWh/m² por dia, de acordo com a localização do local dos experimentos, conforme a Tabela 4 a seguir.

Tabela 4: Irradiância na região da pesquisa

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal (KWh/m ² . Dia)			
		Outubro	Novembro	Dezembro	Média anual
Ângulo igual a latitude	23° N	5,21	5,27	5,47	5,09

Fonte: CRESESB- adaptado (2023)

Após ter o valor de $P_{\text{médio}}$, utilizou a Equação 2, para determinar a porcentagem (%) da eficiência energética entre os sistemas móveis e fixos conforme representado na Tabela 4.

Tabela 5: Porcentagem (%) da eficiência energética entre os sistemas móvel e fixo.

% de Eficiência energética - placa móvel	% de Eficiência energética - placa fixa
4,009390963	3,120357564
3,075387033	2,888330059
3,043379175	2,904223969
3,762514735	3,106129666
3,491375246	2,737968566
2,73502947	2,585658153
3,084231827	2,842797642
2,781689587	2,448762279
2,941166994	2,771724951
2,941166994	2,826848723
2,740222004	2,662033399
2,829019646	2,732259332
2,73870334	2,685854617
2,749218075	2,706624754
2,716502947	2,662033399
2,998781925	2,860510806
2,946119843	2,783123772
2,908656189	2,731630648
2,983555992	2,634332024
4,014734774	3,768905697
4,725972495	4,516455796
4,382015717	3,988656189
4,158646365	3,899115914
3,976679764	3,795701375
3,49913556	3,34745776
3,966483301	3,911051081
4,498526523	4,418876228
3,629273084	3,085500982
3,567937132	3,169980354
3,92345776	3,895897839
4,615913556	4,270278978

Fonte: Criação do autor

Após chegar aos valores da porcentagem de eficiência energética em ambas as metodologias em cada repetição, aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade utilizando o programa de computador, Jamovi 2.3.28. para cálculos estatísticos, resultando na Tabela 6a e Tabela 6b, abaixo.

Tabela 6a: Valores obtidos pelo método estatístico Shapiro-Wilk

Grupo	N	Média	Mediana	Desvio-padrão	Erro-padrão
Móvel	31	3.44	3.09	0.640	0.115
Fixo	31	3.18	2.88	0.608	0.109

Fonte: criação do autor

Tabela 6b: Valores obtidos pelo método estatístico Shapiro-Wilk

	W	p
eficiência	0.882	< .001

Fonte: criação do autor

De acordo com o método de Shapiro-Wilk, quando um conjunto de dados apresentar um valor de p maior que 0,05, os dados obtidos no experimento são considerados paramétricos e obedece a normalidade, mas como o valor de p apresentado na Tabela 6b, são menores que 0,05 em ambas as metodologias, isso significa que os dados são considerados não paramétricos, neste sentido a metodologia estatísticas desses dados não paramétricos será realizado pelo método Teste t para amostras independentes.

De acordo com o método estatístico Teste t para amostras independentes, U de Mann-Whitney, a porcentagem de eficiência energética para ambas as metodologias, apresentou os seguintes valores para p, conforme a Tabela 7 abaixo.

Tabela 7: Valores do Teste t para amostras independentes – U de Mann-Whitney

Teste t para amostras independentes			
		Estatística	p
eficiência	U de Mann-Whitney	337	0.044

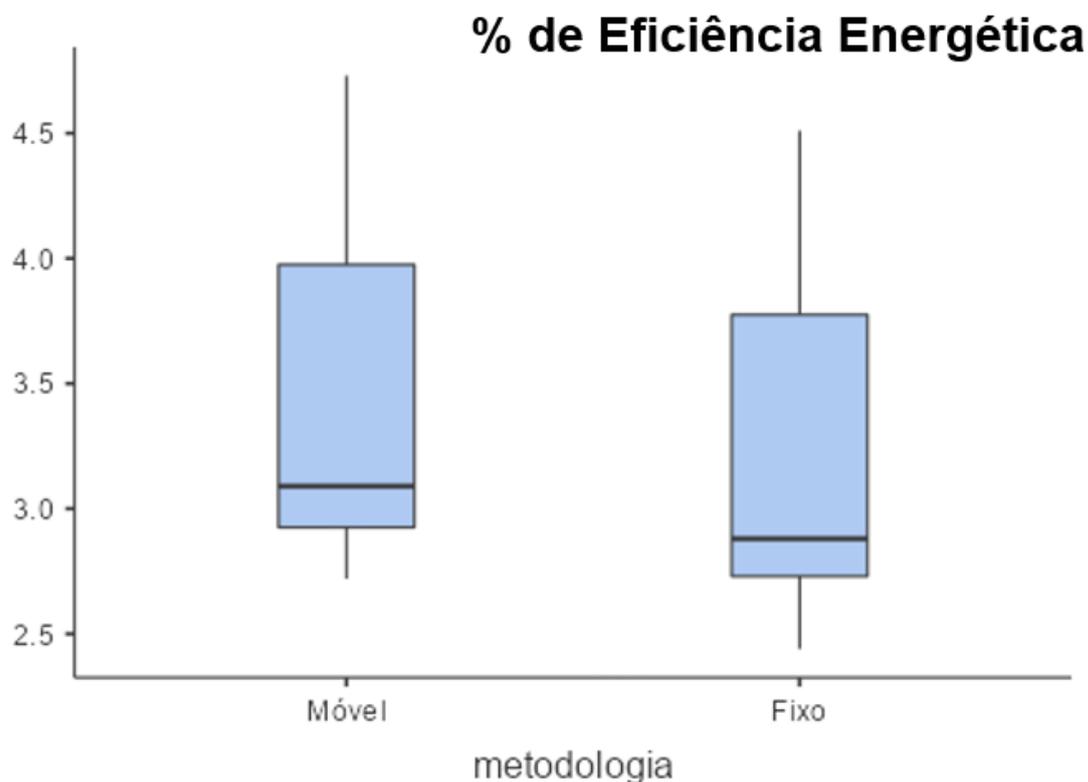
Nota. $H_0: \mu_{\text{Móvel}} = \mu_{\text{Fixo}}$

Fonte: Criação do autor

O teste U de Mann-Whitney é o teste usado para dados não paramétricos na verificação de diferenças entre dois grupos não pareados e independentes. Ele nos indica que há diferença entre os dois grupos, uma vez que o valor de p é 0,044, demonstrando melhor eficiência de geração de energia elétrica na metodologia móvel, podendo esta trazer benefícios para o consumidor e principalmente para o meio ambiente.

No Gráfico 3 a seguir, podemos observar a diferença que a metodologia de geração fotovoltaica móvel, demonstrado pela primeira coluna, é mais eficiente na geração fotovoltaica que a metodologia da placa fixa a 30° com a face virada para o norte (métodos convencionais de instalação).

Gráfico 3: Porcentagem (%) da eficiência energética entre sistema móvel e fixo.



Fonte: Criação do autor

Após a comprovação que a diferenças das amostras entre as metodologias são significativas de acordo com o teste U de Mann-Whitney, foi realizado o cálculo do ganho de potência do sistema móvel em relação ao sistema fixo de acordo com a Tabela 8 e o Gráfico 4 a seguir.

Tabela 8: Potência gerada e a % de eficiência do sistema móvel/fixo.

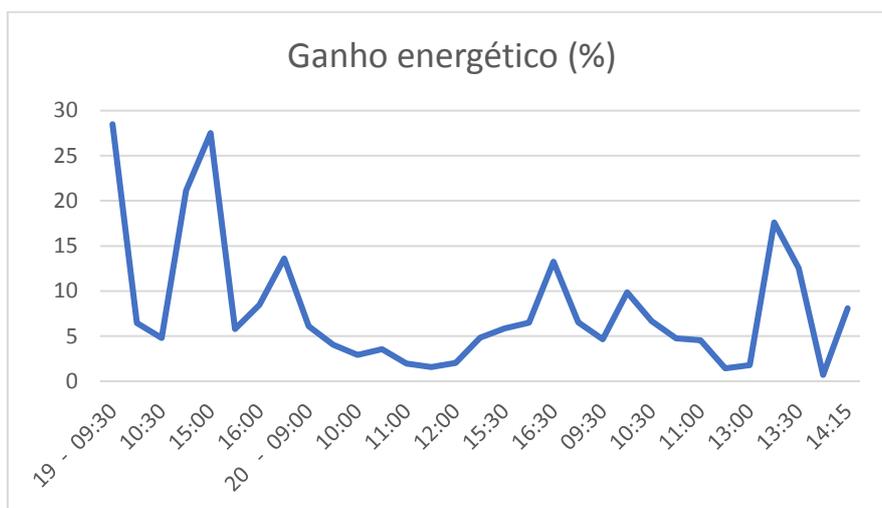
Experimento	Dia - Hora	Pout – móvel (W)	Pout Fixa (W)	(%) Móvel/Fixa
1	19 - 09:30	204,078	158,8262	28,491395
2	10:00	156,5372	147,016	6,476301899
3	10:30	154,908	147,825	4,791476408
4	14:30	191,512	158,102	21,13192749
5	15:00	177,711	139,3626	27,51699523
6	15:30	139,213	131,61	5,776916648
7	16:00	156,9874	144,6984	8,492837516
8	16:30	141,588	124,642	13,59573819
9	20 - 09:00	149,7054	141,0808	6,113234402
10	09:30	149,7054	143,8866	4,044017998
11	10:00	139,4773	135,4975	2,937175963
12	10:30	143,9971	139,072	3,541403014
13	11:00	139,4	136,71	1,967668788
14	11:30	139,9352	137,7672	1,573669204
15	12:00	138,27	135,4975	2,046163213
16	15:00	152,638	145,6	4,833791209
17	15:30	149,9575	141,661	5,856587205
18	16:00	148,0506	139,04	6,480581128
19	16:30	151,863	134,0875	13,25664212
20	21 - 09:00	204,35	191,8373	6,522558439
21	09:30	240,552	229,8876	4,638962693
22	10:00	223,0446	203,0226	9,861956255
23	10:30	211,6751	198,465	6,656135843
24	10:45	202,413	193,2012	4,767982808
25	11:00	178,106	170,3856	4,531134086
26	12:45	201,894	199,0725	1,417322835
27	13:00	228,975	224,9208	1,802501147
28	13:15	184,73	157,052	17,62346229
29	13:30	181,608	161,352	12,55391938
30	13:45	199,704	198,3012	0,70740873

31	14:15	234,95	217,3572	8,09395778
Média		174,75922	162,156042	7,77

Fonte: autor próprio

O horário das amostras nesta tabela esta referente ao sistema móvel, já para o sistema fixo acrescentar 5 minutos nos dados gerados.

Gráfico 4: Ganho Energético (%) – Móvel/ Fixo



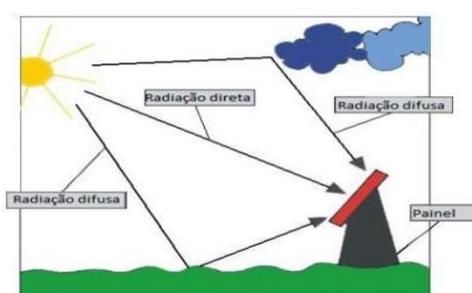
Fonte: autor próprio

Conforme o Gráfico 4 acima, pode-se observar que o sistema de geração fotovoltaico móvel obteve um ganho energético em relação ao sistema fixo em todas as medições. Também pode-se observar que os maiores valores de % ganha de energia do sistema móvel em relação ao sistema fixo, foram nos primeiros e últimos horários de medições de cada dia de experimentação, e as menores diferenças de % ganha nos horários mais próximos ao meio dia (12:00 h, horário de Brasília), corroborando com o Gráfico 1, retirado da literatura.

5. DISCUSSÃO

Segundo Rocha, Assunção (2020), a radiação solar sofre variações a partir do momento em que ela entra na atmosfera até chegar à superfície terrestre, pois há a influência de diversos fatores tais como ar atmosférico, nuvens e poluição do ar (grandes centros), neste sentido a radiação solar é dividida em dois tipos de radiação, a radiação direta e a radiação difusa, assim a metodologia da placa móvel, como estava sempre perpendicular ao sol, recebeu em sua maioria radiação direta, resultando em uma tensão e corrente maior, enquanto a metodologia da placa fixa, recebeu uma grande parte de radiação difusa, obteve uma tensão e corrente menor (Tabelas 2 e 3).

Figura 2: Tipos de radiação solar



Fonte: Rocha, Assunção (2020).

Os números gerados neste trabalho, pode ajudar a comprovar a tendência da expansão da geração fotovoltaica no país, neste sentido sistemas automatizados e integrados a tecnologia tendem a ganhar espaços mais rapidamente, devido a maior eficiência no processo de geração fotovoltaica por placa utilizada.

Os dados coletados e as metodologias estatísticas aplicadas foram essenciais para mostrar que sistemas de geração fotovoltaica móvel é mais eficiente que sistemas fixos de acordo com a latitude da localidade da realização deste trabalho, assim, pode-se dizer que este trabalho corrobora para futuros estudos que possam vir existir sobre este tema ou área correlata.

Após exposto, pode-se concluir que as diferenças entre as metodologias de captação são objeto de análise tanto em relação ao processo de automação

quanto na eficiência de geração de energia, trazendo assim, benefícios para o consumidor e principalmente para o meio ambiente.

6. CONCLUSÃO

Os dados obtidos neste trabalho, demonstrou que sistemas de geração fotovoltaico móvel é mais eficiente que sistemas de geração fixa, no qual foi comprovada pelos métodos estatísticos de Shapiro Wilk e de Man-Whitney que os valores obtidos através da experimentação deste trabalho, são valores significativos para a análise da eficiência energética da metodologia de geração de placa móvel sobre a metodologia de geração de placa fixa. Também, sobre os resultados obtidos, fica corroborado que a maior eficiência de geração de energia da metodologia móvel sobre a metodologia de geração de energia fixa é nos primeiros e últimos horários do dia, sendo a menor diferença de % nos horários mais próximos do meio-dia, as 12:00 horas.

Para concluir, que este trabalho seja um início para mais estudos e pesquisas à serem realizados, de modo explorar e ampliar mais a eficiência energética fotovoltaica automatizada.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. F. **Desenvolvimento de um sistema de posicionamento automático para painéis fotovoltaicos**. Botucatu, 2008. 168 p. Tese de Doutorado – Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, UNESP. 2008.

CRESESB – CEPEL- **Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito**. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 19/12/2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, **Plano Decenal de Expansão de Energia 2023**. Brasília, 2014.

ORDOÑEZ, Ramona. **Energia solar cresceu 70% em dois anos**. Rio de Janeiro: Editora O Globo, 2017.

ROCHA M. L., ASSUNÇÃO T. M. **Análise Técnica e Econômica entre sistemas fotovoltaicos fixos e móveis para microgeração**. Palhoça, 2020. 92 p. Trabalho de conclusão de curso de engenharia elétrica - Universidade do Sul de Santa Catarina - Unisul. 2020.

VILLALVA, M. G. GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica. Conceitos e Aplicações**. 1ª edição. São Paulo: Editora Érica - 2012.