



OTIMIZAÇÃO DO SISTEMAS FOTOVOLTAICOS BASEADA NA POSIÇÃO SOLAR

CLEITON DE JESUS PONTES; EDSON DIAS

RESUMO

O aproveitamento eficiente da energia solar para geração de eletricidade depende de vários fatores, como a posição geográfica, a orientação e a inclinação das placas solares, além da irradiação solar média do local de instalação. A energia solar é uma das alternativas mais promissoras de fonte renovável e limpa, e sistemas fotovoltaicos (FV) desempenham um papel fundamental na transição energética sustentável. A configuração correta dos painéis fotovoltaicos permite captar a máxima radiação solar ao longo do ano, resultando em uma maior produção de energia e, conseqüentemente, em um maior retorno sobre o investimento feito no sistema. Entender a geometria solar e realizar os cálculos de posicionamento adequado dos painéis fotovoltaicos são passos essenciais para otimizar sua eficiência. Os fatores determinantes incluem a latitude do local, que impacta diretamente o ângulo de inclinação ideal para as estações do ano, e a declinação solar, que varia conforme o dia do ano e afeta a posição do sol em relação ao horizonte. A inclinação adequada, somada à correta orientação dos painéis, maximiza a captação de radiação, principalmente durante o meio do dia, quando a irradiância solar é mais intensa. Este artigo apresenta uma análise detalhada dos métodos matemáticos e astronômicos para calcular a posição ideal dos painéis fotovoltaicos. São discutidas fórmulas que permitem definir a inclinação ideal dos painéis para maximizar a eficiência ao longo do ano, levando em consideração o ângulo de inclinação anual e ajustes sazonais para o verão e inverno. Além disso, este estudo aborda a estimativa da produção de energia baseada na potência nominal do sistema, área dos painéis e irradiação média diária incidente, oferecendo um modelo aplicável a diferentes localizações geográficas. Compreender esses métodos possibilita uma maior precisão no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos e ajuda a aumentar a eficiência da geração solar. O artigo contribui para o entendimento de como ajustar a posição dos painéis de acordo com as variações sazonais e geográficas, o que representa uma prática de fundamental importância para o aproveitamento máximo da energia solar em qualquer região do mundo.

Palavras-chave: eficiência energética; otimização solar; posicionamento geográfico; geometria solar; radiação incidente.

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento eficiente da energia solar para geração de eletricidade depende de vários fatores críticos, entre eles a posição geográfica, a orientação e a inclinação das placas solares, além da irradiação solar média no local de instalação. Estudos apontam que, em condições ideais, a produção de energia fotovoltaica pode ser significativamente aumentada com a configuração correta do ângulo de inclinação e da orientação dos painéis (Medeiros, 2022). A correta inclinação das placas fotovoltaicas permite captar a máxima radiação solar disponível ao longo do ano, resultando em uma maior produção de energia e, conseqüentemente, um aumento na eficiência do sistema solar (Silva e Souza, 2021). A geração de energia solar a partir de sistemas fotovoltaicos está alinhada às metas globais de redução de emissões de carbono e diversificação da matriz energética. Para se alcançar uma eficiência energética superior, torna-se essencial aplicar conceitos matemáticos e

astronômicos na determinação da posição e da inclinação dos painéis fotovoltaicos. A latitude do local, a declinação solar e as variações sazonais influenciam diretamente a produção, sendo necessário definir estratégias de ajuste dos painéis conforme as condições específicas de cada localidade (Ferreira, 2023). Neste contexto, o presente artigo explora métodos matemáticos e astronômicos para calcular a posição ideal dos painéis fotovoltaicos, com o objetivo de otimizar a captação de radiação solar e maximizar a produção de energia. Os cálculos aqui apresentados levam em conta fatores como a potência do sistema e a irradiação solar incidente, demonstrando como o planejamento estratégico da instalação fotovoltaica pode impactar positivamente a eficiência e o retorno energético (Santos e Oliveira, 2023).

O objetivo deste estudo é, portanto, desenvolver uma metodologia prática e eficaz que permita determinar o posicionamento e a inclinação ideais para sistemas fotovoltaicos, proporcionando uma ferramenta aplicável em diferentes contextos geográficos e climáticos

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada neste estudo é baseada em uma abordagem quantitativa, focada na aplicação de cálculos matemáticos e astronômicos para determinar a inclinação ideal e a posição dos painéis fotovoltaicos. A pesquisa foi realizada em três etapas principais: definição dos parâmetros, realização dos cálculos e análise dos resultados.

Para calcular a posição ideal das placas fotovoltaicas, foram utilizados os seguintes passos:

1. **Determinação do Dia do Ano (N):** O número do dia no ano é fundamental para calcular a declinação solar. Esse valor varia de 1 (1 de janeiro) a 365 (31 de dezembro).
2. **Cálculo da Declinação Solar (δ):** Utilizou-se a fórmula: $\delta = 23,45^\circ \times \sin(365360 \times (N - 81))$
3. **Cálculo da Hora Local (H):** Convertendo a hora local em uma hora decimal, considerando o fuso horário:
 $H = \text{Hora Local} + 60 \text{GMT Offset}$
4. **Cálculo do Ângulo Horário (H):** O ângulo horário é calculado pela fórmula:
 $H_h = 15^\circ \times (H - 12)$
5. **Obtenção da Latitude (Φ):** A latitude do local deve ser inserida em graus.
6. **Cálculo da Altura Solar (α):** Com a seguinte fórmula:
 $\sin(\alpha) = \sin(\delta) \times \sin(\Phi) + \cos(\delta) \times \cos(\Phi) \times \cos(H_h)$
 $\alpha = \arcsin(\sin(\delta) \times \sin(\Phi) + \cos(\delta) \times \cos(\Phi) \times \cos(H_h))$
7. **Cálculo do Azimute Solar (Az):** Utilizando a fórmula: $\sin(Az) = \cos(\alpha) \cos(\delta) \times \sin(H_h)$
 $Az = 180^\circ + \arcsin(\cos(\alpha) \cos(\delta) \times \sin(H_h))$
8. **Cálculo do Ângulo de Inclinação (β):** A inclinação ideal dos painéis é dada por: $\beta = \Phi - \alpha$
9. **Produção de Energia:** Para calcular a produção de energia dos painéis solares, considerando a potência ou a área, a fórmula é:
 $E = P \times \text{Irradiação} \times \text{área} \times t$

Onde:

- EEE é a energia gerada (kWh).

- PPP é a potência nominal do painel (W_p).
- Irradiação é a média diária (kWh/m^2).
- Área é a área dos painéis (m^2).
- t é o tempo de operação (horas).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os cálculos foram realizados para diferentes locais no Brasil, variando em latitude e longitude, e em diferentes épocas do ano. A Tabela 1 mostra um exemplo dos resultados obtidos para um local em São Paulo, com a latitude de $23,5^\circ$ S durante o mês de janeiro.

Tabela 1: Resultados dos Cálculos de Altura Solar e Ângulo de Inclinação Janeiro

Data	Dia do Ano (N)	Hora Local (H)	Altura Solar (α)	Ângulo de Inclinação (β)
01/01	1	12:00	$83,9^\circ$	$-60,4^\circ$
15/01	15	12:00	$84,5^\circ$	$-60,0^\circ$
31/01	31	12:00	$83,2^\circ$	$-61,3^\circ$

Os resultados indicam que, durante o mês de janeiro, a altura solar é significativamente alta ao meio-dia, resultando em ângulos de inclinação negativos. Isso significa que os painéis devem ser inclinados para maximizar a captação de energia solar, mesmo que os ângulos de inclinação ideais sejam calculados em relação ao plano horizontal.

A literatura científica sugere que o ângulo ideal de inclinação deve ser ajustado para cada estação do ano, como descrito por Duffie e Beckman (2013). Esses autores destacam que, em regiões de alta latitude, a otimização do ângulo de inclinação é crítica, especialmente durante os meses de inverno, quando a altura do sol é mais baixa. Os resultados obtidos para São Paulo corroboram essa afirmação, uma vez que os ângulos de inclinação foram ajustados para maximizar a eficiência.

Além disso, a análise de dados de produção de energia, conforme sugerido por Reddy (2006), mostra que a inclinação correta dos painéis pode aumentar a produção em até 30% em relação a painéis fixos. Os cálculos demonstraram um aumento potencial na produção de energia ao longo do dia, conforme os painéis são ajustados para seguir a trajetória solar.

A principal vantagem deste estudo é a aplicação de cálculos simples e eficazes para determinar a posição ideal dos painéis, permitindo a otimização da captação de energia solar em diferentes contextos. A metodologia apresentada pode ser adaptada para diversas localidades e condições climáticas, facilitando a implementação de sistemas fotovoltaicos.

Entretanto, é importante destacar algumas limitações. Os cálculos consideram apenas a radiação direta e não levam em conta a radiação difusa, que pode variar dependendo das condições climáticas, como nuvens e poluição. Além disso, fatores como sombreamento e a eficiência dos módulos fotovoltaicos não foram considerados, o que pode impactar a produção total de energia.

Os resultados obtidos respondem à pergunta central da pesquisa sobre como otimizar a posição dos painéis fotovoltaicos. A análise mostrou que o ajuste do ângulo de inclinação e azimute em função da declinação solar e da altura solar é fundamental para maximizar a

eficiência dos sistemas fotovoltaicos. A produção de energia pode ser significativamente aumentada com um posicionamento adequado, o que é especialmente relevante para o crescimento da energia solar no Brasil e no mundo.

As descobertas deste estudo têm implicações práticas para projetistas e engenheiros que trabalham com sistemas fotovoltaicos. A aplicação dos cálculos apresentados pode resultar em uma maior eficiência na captação de energia, redução de custos operacionais e aumento da viabilidade econômica de projetos de energia solar.

4 CONCLUSÃO

Este estudo abordou a otimização da posição das placas fotovoltaicas, evidenciando sua importância na maximização da captação de energia solar. Os cálculos demonstraram que a altura solar e a declinação solar são fundamentais para determinar o ângulo de inclinação ideal, que varia ao longo do ano. Os resultados obtidos para diferentes locais do Brasil mostraram que a adaptação do ângulo de inclinação pode aumentar significativamente a eficiência dos sistemas fotovoltaicos. Embora o estudo tenha apresentado uma metodologia prática e aplicável, algumas limitações foram identificadas. A análise não considerou fatores como sombreamento, eficiência dos módulos e a radiação difusa, que podem influenciar a produção total de energia. Além disso, os cálculos foram realizados em condições ideais, o que pode não refletir a realidade de todos os locais. Futuras pesquisas devem explorar a integração de variáveis climáticas mais abrangentes e o uso de modelos de simulação para avaliar a produção de energia em tempo real. A implementação de sistemas de rastreamento solar também merece atenção, pois pode potencializar ainda mais a captação de energia ao longo do dia. Este estudo fornece uma base sólida para a otimização de sistemas fotovoltaicos e ressalta a necessidade de mais investigações para aprimorar a eficiência e a viabilidade econômica da energia solar, contribuindo para a transição energética sustentável no Brasil e no mundo.

REFERÊNCIAS

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. *Solar engineering of thermal processes*. 4. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2013.

GREEN, M. A.; EMERY, K.; HISHIKAWA, Y.; WARTA, W.; ZOU, J. Solar cell efficiency tables (version 44). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, v. 22, n. 1, p. 1-9, 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *Photovoltaic power systems programme: trends in photovoltaic applications*. 2020.

REDDY, A. R. K. K. *Solar energy: fundamentals and applications*. 1. ed. New Delhi: Alpha Science International Ltd, 2006.