

Análise do Impacto do Sombreamento na Geração de Energia em Células Solares Monocristalinas.

Martina Lahude De Bacco, Joaquim Zonatto Ranci, Rafael Venturini, Tiago Cassol, Colégio Scalabriniano Nossa Senhora Medianeira.

RESUMO: O uso da energia solar tem crescido como uma fonte limpa e economicamente viável, impulsionando a instalação de sistemas fotovoltaicos. Contudo, a eficiência desses sistemas pode ser comprometida por fatores como o sombreamento parcial, causado por estruturas próximas ou construções, que reduz a produção energética e afeta o retorno do investimento. Diante disso, este estudo investigou experimentalmente o impacto do sombreamento em células solares monocristalinas. A metodologia consistiu na medição da tensão da célula em dois cenários: sob luz solar direta e sob a sombra de um prédio. Os resultados demonstraram uma perda de eficiência estimada em 34,8% devido ao sombreamento. Os dados obtidos quantificaram a perda de energia e evidenciaram a importância crítica de um planejamento rigoroso na instalação de sistemas fotovoltaicos

Palavras-Chave: Eficiência Energética; Painéis Fotovoltaicos; Sombreamento; Planejamento; Energia Solar.

ABSTRACT: The use of solar energy has grown as a clean and economically viable source, boosting the installation of photovoltaic systems. However, the efficiency of these systems can be compromised by factors such as partial shading, caused by nearby structures or buildings, which reduces energy production and affects the return on investment. Therefore, this study experimentally investigated the impact of shading on monocrystalline solar cells. The methodology consisted of measuring the cell's voltage in two scenarios: under direct sunlight and under the shadow of a building. The results demonstrated an estimated efficiency loss of 34.8% due to shading. The obtained data quantified the energy loss and highlighted the critical importance of rigorous planning in the installation of photovoltaic systems.

Keywords: Energy Efficiency; Photovoltaic Panels; Shading; Planning; Solar Energy.

INTRODUÇÃO

A energia solar se consolidou como um dos pilares da transição energética global, sendo uma alternativa limpa, sustentável e economicamente viável para a geração de eletricidade. O avanço tecnológico e a redução de custos têm impulsionado a adoção de sistemas fotovoltaicos (SFV) em diversas escalas, desde residências até grandes parques solares. Contudo, para garantir o desempenho e o retorno financeiro desses investimentos, é crucial acabar com os fatores externos que afetam diretamente a produção de energia. Entre os principais desafios técnicos, o sombreamento parcial é reconhecido como o mais prejudicial ao desempenho de um SFV. A sombra projetada por estruturas próximas, árvores ou elementos arquitetônicos impede que a radiação solar atinja diretamente as células, gerando perdas significativas de energia e, consequentemente, financeiras. Este efeito é particularmente relevante em ambientes urbanos, onde a densidade construtiva aumenta o risco de sombreamento atribuído à localização. Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo principal analisar e quantificar o impacto do sombreamento causado por uma edificação na eficiência de uma célula solar monocristalina. A pesquisa buscou medir a tensão da célula em condições controladas de luz solar e sombra, estimar a perda de eficiência e simular seu impacto financeiro em um sistema real. Este trabalho contribui diretamente para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº 7 da Organização das Nações Unidas (ONU), que visa "Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos", ao fornecer dados que promovem o planejamento eficiente e a otimização de sistemas de energia renovável.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A geração de energia em painéis solares é baseada na conversão da irradiação solar em eletricidade. O desempenho ideal depende da recepção máxima e uniforme da luz. O sombreamento, ao interromper o fluxo de fótons em parte do módulo, reduz drasticamente a corrente total gerada, afetando a eficiência do sistema.

O sombreamento pode ser classificado de acordo com sua origem, conforme definido de maneira técnica:

Sombreamento Temporário: Causado por elementos transitórios como folhas, excrementos de pássaros e acúmulo de poluição. **Sombreamento Atribuído à Localização:** Resultante da projeção de sombra por edificações e vegetações adjacentes ao SFV. O sombreamento de um prédio, objeto de estudo desta pesquisa, se encaixa nesta categoria. **Sombreamento do Próprio Edifício:** Decorrente da geometria da construção ou de seus elementos arquitetônicos que sombreiam diretamente um painel. **Sombreamento do Próprio Sistema:** Ocorre quando a sombra de um módulo é projetada sobre outro módulo, comum em instalações com espaçamento insuficiente. **Sombreamento Direto:** Caracterizado pela proximidade da fonte de sombra com o SFV, resultando em uma sombra mais escura e com maior poder de redução da radiação direta e, conseqüentemente, do desempenho.

A análise do efeito do sombreamento em edificações urbanas, como o foco deste trabalho, é crucial, pois sistemas mal localizados podem gerar perdas de eficiência que comprometem todo o projeto, como apontado por (ELIZARDO,2018) e (SILVA et al. 2016).

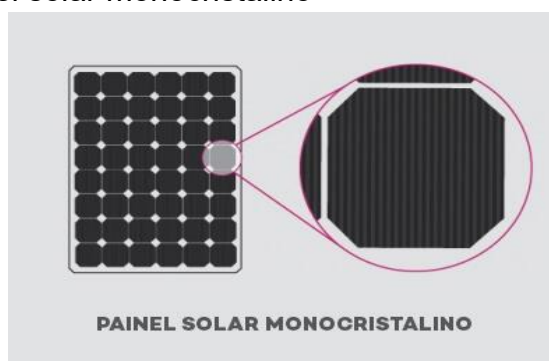
METODOLOGIA

O método empregado neste estudo foi de natureza experimental e quantitativa, visando medir o impacto direto do sombreamento na tensão de saída de uma célula solar monocristalina.

Os materiais utilizados foram uma célula solar monocristalina (Exemplo na Figura 1) e um multímetro para medição de tensão.

A Tensão (Voltagem) da célula (em V) foi definida como a variável dependente (indicador de eficiência), visto que a potência é diretamente proporcional à tensão e à corrente ($P = V \times I$). O Sombreamento de edificação foi a variável independente aplicada.

Figura 1: exemplo de painel solar monocristalino



Os testes foram realizados em uma célula solar, comparando seu desempenho em dois cenários distintos sob condições climáticas estáveis para garantir a precisão dos dados:

Cenário de Referência (Luz Solar Direta): A célula foi posicionada sob irradiação solar máxima.

Cenário de Teste (Sombreamento Parcial): A célula foi posicionada de forma a receber a sombra projetada por um prédio adjacente.

Em cada cenário, a tensão foi medida utilizando o multímetro. A medição da corrente elétrica não foi possível devido a restrições de tempo e instrumentação. Os dados de tensão foram utilizados para estimar a perda percentual de eficiência. Cada medição foi repetida três vezes para mitigar possíveis variações instantâneas.

A análise dos dados concentrou-se em:

Quantificar a perda de tensão entre o cenário de referência e o cenário de sombreamento.

Estimar a perda percentual de eficiência com base na diferença de tensão.

Simular o impacto financeiro dessa perda em um sistema fotovoltaico de escala real, traduzindo o achado técnico em um resultado prático e econômico.

RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados obtidos quantificaram a redução da eficiência da célula solar monocristalina devido ao sombreamento de uma edificação, cumprindo o objetivo principal do estudo.

A medição da tensão, demonstrada na figura 2, nos dois cenários apresentou os seguintes valores: Tensão com luz solar direta (Referência): 2,27 e tensão com sombra de prédio: 1,48 V. Com base na redução da tensão, a perda de eficiência foi calculada na fórmula $(V \text{ Referência} - V \text{ sombra}) / V \text{ Referência} \times 100$, colocando nossos valores nela tivemos este resultado: Perda de Eficiência = $(2,27 \text{ V} - 1,48 \text{ V}) / 2,27 \text{ V} = 0,348 \times 100 = 34,8\%$

Figura 2: foto do momento da medição da eficiência da célula solar na luz solar direta.



A perda de eficiência estimada foi de 34,8%. Este resultado demonstra o impacto significativo de uma sombra parcial e estática na geração de energia da célula, mesmo que o sombreamento não fosse total.

Para traduzir o impacto de 34,8% em termos práticos, foi realizada uma simulação em um sistema fotovoltaico real com 40 placas de 330W, totalizando uma potência de 13,2 kW, com irradiação solar média de 5 horas/dia.

Produção mensal ideal (100%): $13,2 \text{ kW} \times 5 \text{ h} / \text{dia} \times 30 \text{ dias} = 1980 \text{ kWh/mês}$

Perda mensal por sombra (34,8%): $1980 \text{ kWh} \times 0,348 = 688,8 \text{ kWh perdidos}$

Considerando um custo médio simulado de R\$ 0,95 por kWh, o impacto financeiro ficou evidenciado na Tabela 1.

Tabela 1: Simulação do impacto financeiro mensal do sombreamento (34,8% de perda).

Situação:	Economia no mês:
Placas funcionando 100%	R\$1881,00
Placas afetadas pela sombra (65,2% de eficiência)	R\$ 1.226,64
Perda por causa da sombra	R\$ 654,36

Fonte: Autores, 2025

A perda financeira mensal simulada de R\$ 654,36 confirma que o sombreamento, mesmo que decorrente de uma estrutura fixa (prédio), é um fator determinante que compromete a viabilidade econômica do SFV e atrasa o retorno do investimento. O resultado de 34,8% de perda de eficiência é alarmante e reforça a premissa de que a fase de planejamento, incluindo a análise minuciosa do entorno da instalação, é a mais crítica para o sucesso do projeto. O estudo demonstrou que a análise de sombreamento por edificações deve ser um procedimento padrão e não negociável em ambientes urbanos.

CONCLUSÕES

O presente trabalho investigou e quantificou o impacto do sombreamento de edificações na eficiência de células solares monocristalinas, atingindo os objetivos propostos. A principal conclusão é que o sombreamento parcial de uma edificação resulta em uma perda de eficiência crítica de 34,8% na célula solar. Esta perda técnica se traduz em uma perda financeira mensal significativa, simulada em R\$ 654,36 para um sistema de 13,2 kW, o que evidencia que o sombreamento é um obstáculo para a otimização da geração de energia solar. O estudo reforça a necessidade de um planejamento rigoroso e da utilização de ferramentas de simulação na etapa de design de sistemas fotovoltaicos, especialmente em contextos urbanos com risco de sombreamento atribuído à localização. Ao quantificar essa perda, o trabalho contribuiu para o avanço do conhecimento prático em eficiência energética e está alinhado com as metas de sustentabilidade do ODS 7.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os colaboradores do Colégio Scalabriniano Nossa Senhora Medianeira pelo suporte na realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ELIZARDO, Érica. Estudo do sombreamento em sistemas fotovoltaicos conectados à rede utilizando o software PVsyst. 2018. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2018. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/1942/1/TCC_Erica_Elizardo.pdf. Acesso em: 11 abr. 2025.

SILVA, José Carlos Gomes da; BRITO, Carlos Eduardo Cabral de; SIQUEIRA, Hugo Borges. Análise do efeito do sombreamento em sistemas fotovoltaicos: estudo de caso em edificações urbanas. 2016. In: CONGRESSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CAMPUS CORNELIO PROCÓPIO - CECONS, 5., 2016,. Anais UTFPR, 2016. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/17324/1/CT_CECONS_V-2016_02.pdf. Acesso em: 11 abr. 2025