

PAINÉIS SOLARES MONOCRISTALINOS: EFICIÊNCIA E DESEMPENHO

Arthur Osmarin Chiarello, Lara Costa da Rosa, Sarah Cassenotte Czarnecki, Tiago Cassol Severo, Colégio Scalabriniano Nossa Senhora Medianeira

RESUMO: O aumento da demanda por fontes de energia limpa tem impulsionado o uso de painéis fotovoltaicos, especialmente os de silício monocristalino, conhecidos por sua elevada eficiência. Este trabalho investiga como fatores ambientais influenciam o desempenho desses painéis, buscando compreender quais variáveis exercem maior impacto na geração de energia. A metodologia inclui revisão bibliográfica, coleta de dados em condições reais de exposição solar e análise estatística dos resultados. As variáveis observadas são temperatura ambiente, irradiância solar, espectro da luz, tensão, corrente e eficiência do painel. A coleta ocorrerá ao longo do ano, utilizando instrumentos como o multímetro digital. Os dados serão organizados em tabelas e gráficos, permitindo a comparação entre diferentes condições de iluminação. O estudo pretende contribuir para o entendimento das condições ideais de operação dos painéis monocristalinos, auxiliando decisões de instalação e otimização de sistemas solares.

Palavras-Chave: Energia solar fotovoltaica, eficiência energética, painel fotovoltaicos monocristalinos.

ABSTRACT: The increasing demand for clean energy has strengthened the use of photovoltaic technology, especially monocrystalline silicon panels, known for their high efficiency. This study investigates how environmental factors affect the performance of these panels, seeking to determine which variables most influence energy generation. The methodology involves a literature review, real-environment data collection, and statistical analysis. The main variables considered are ambient temperature, solar irradiance, light spectrum, voltage, current, and panel efficiency. Data will be collected throughout the year using instruments such as a digital multimeter. Results will be organized into tables and graphs to enable comparisons across different climatic conditions. The study aims to highlight the ideal operating conditions for monocrystalline panels and to support better installation choices and optimization of solar energy systems.

Key Words: Monocrystalline photovoltaic panels; Energy efficiency; Solar irradiance; Environmental factors; Photovoltaic performance; Solar energy.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a busca por fontes de energia renováveis e sustentáveis tem se intensificado diante da crescente preocupação com os impactos ambientais gerados pelo uso de combustíveis fósseis. A energia solar, nesse contexto, destaca-se como uma alternativa limpa e abundante, capaz de contribuir significativamente para a redução da emissão de gases poluentes e para a diversificação da matriz energética mundial. A relevância desse tema dialoga diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial com o ODS 7, que defende o acesso universal a uma energia acessível, confiável e sustentável, destacando a necessidade de ampliar o uso de tecnologias inovadoras que aproveitem os recursos naturais de forma inteligente.

Entre as tecnologias disponíveis, os painéis solares monocristalinos apresentam elevada eficiência e desempenho técnico, sendo amplamente utilizados em projetos residenciais, comerciais e industriais. No entanto, seu funcionamento ideal não ocorre de maneira uniforme, já que fatores externos, como temperatura, irradiância solar e espectro de iluminação, exercem influência significativa sobre sua eficiência. Assim, surge o problema de pesquisa central deste trabalho: compreender de que forma diferentes condições ambientais podem afetar a eficiência de painéis solares monocristalinos.

A escolha desse tema se justifica pela sua importância tanto científica quanto social e tecnológica. Do ponto de vista científico, contribui para o aprofundamento do conhecimento acerca da relação entre variáveis climáticas e desempenho de sistemas fotovoltaicos, fornecendo dados que podem embasar futuras pesquisas. No campo social, favorece o fortalecimento de políticas e iniciativas voltadas à ampliação do uso da energia solar, colaborando para um desenvolvimento mais sustentável. Já do ponto de vista tecnológico, permite identificar condições ideais de instalação e operação de módulos fotovoltaicos, otimizando sua eficiência e reduzindo custos operacionais.

Diante desse cenário, o objetivo geral deste trabalho consiste em analisar como diferentes condições climáticas influenciam a eficiência de painéis solares monocristalinos. Para alcançar tal meta, propõe-se realizar uma revisão bibliográfica sobre o funcionamento desses dispositivos e sua interação com variáveis ambientais, coletar dados experimentais em campo que permitam avaliar seu desempenho em distintas situações, analisar estatisticamente os resultados obtidos, buscando identificar padrões e correlações, e, por fim, apresentar recomendações práticas que auxiliem na otimização da geração de energia solar em diferentes regiões. Dessa forma, o estudo busca integrar teoria e prática para oferecer subsídios relevantes à expansão mais eficiente e consciente do uso da energia solar.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A transição energética rumo a fontes renováveis tem sido amplamente discutida em relatórios de organismos internacionais e na literatura científica, refletindo a necessidade de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e os impactos ambientais decorrentes de sua utilização. Nesse cenário, a energia solar fotovoltaica surge como uma alternativa estratégica, devido à abundância do recurso solar e à possibilidade de aproveitamento em diferentes escalas de geração, desde pequenos sistemas residenciais até grandes usinas de produção (REN21, 2023).

O princípio de funcionamento da tecnologia fotovoltaica baseia-se na conversão direta da radiação solar em energia elétrica por meio de células semicondutoras, geralmente compostas por silício. Entre os diferentes tipos de módulos, os monocristalinos se destacam pela alta eficiência e pelo desempenho estável, resultado da pureza e uniformidade do cristal de silício utilizado em sua fabricação (Green et al., 2015). Esse fator estrutural garante maior absorção da radiação solar e menores perdas energéticas em comparação a tecnologias como os módulos policristalinos e de filme fino.

A eficiência de um painel solar não é constante, já que depende de variáveis ambientais e operacionais. Entre elas, a temperatura se destaca como um dos fatores mais determinantes: o aquecimento do módulo provoca aumento da resistência interna e redução da tensão de saída, ocasionando queda na eficiência global (Dubey; Sarvaiya; Seshadri, 2013). Dessa forma, em regiões de elevada irradiância combinada com altas temperaturas, o desempenho pode ser comprometido, apesar da disponibilidade de luz solar.

A irradiância solar, definida como a quantidade de energia incidente por unidade de área, também exerce papel central. Pesquisas apontam que valores mais elevados de irradiância resultam em maior corrente elétrica gerada, aumentando a potência de saída. Contudo, esse efeito pode intensificar o aquecimento do módulo, criando um equilíbrio entre ganhos e perdas de eficiência (García; Balenzategui, 2004). Além disso, o espectro da radiação solar influencia a absorção energética, já que diferentes comprimentos de onda são aproveitados de forma distinta pelo material semicondutor (Luque; Hegedus, 2011).

Outro aspecto relevante diz respeito às condições atmosféricas e à variação da radiação ao longo do dia. Estudos indicam que a presença de nuvens pode modificar a composição espectral e a intensidade da luz incidente. Em determinados casos, a difusão da radiação permite desempenho satisfatório dos módulos, desde que a irradiância mínima seja alcançada (Gottschalg et al., 2004). Além disso, horários em que a temperatura ambiente é mais amena, como o início da manhã ou o final da tarde, podem favorecer o rendimento, ainda que a irradiância seja inferior à do período de maior insolação.

Outro aspecto relevante diz respeito às condições atmosféricas e à variação da radiação ao longo do dia. Estudos indicam que a presença de nuvens pode modificar a composição espectral e a intensidade da luz incidente. Em determinados casos, a difusão da radiação permite desempenho satisfatório dos módulos, desde que a irradiância mínima seja alcançada (Gottschalg et al., 2004). Além disso, horários em que a temperatura ambiente é mais amena, como o início da manhã ou o final da tarde, podem favorecer o rendimento, ainda que a irradiância seja inferior à do período de maior insolação.

A literatura existente demonstra que o desempenho dos painéis solares monocristalinos está diretamente condicionado às variações ambientais, sendo dependente da temperatura, da irradiância e da composição espectral da radiação. Contudo, tais fatores apresentam comportamento distinto conforme a localização geográfica e as estações do ano, o que reforça a necessidade de estudos experimentais contextualizados. Nesse sentido, o presente trabalho se insere no debate científico ao propor a análise empírica dessas variáveis, buscando identificar correlações e padrões que contribuam para o uso mais eficiente da energia solar em diferentes condições climáticas.

METODOLOGIA

O presente trabalho configura-se como uma pesquisa experimental e analítica, realizada com o objetivo de avaliar como diferentes condições ambientais influenciam a eficiência de painéis solares monocristalinos. A metodologia adotada envolveu um experimento inicial em ambiente controlado, complementado por análise estatística dos dados coletados, sendo planejadas etapas futuras em campo para validação dos resultados em condições reais de luz solar.

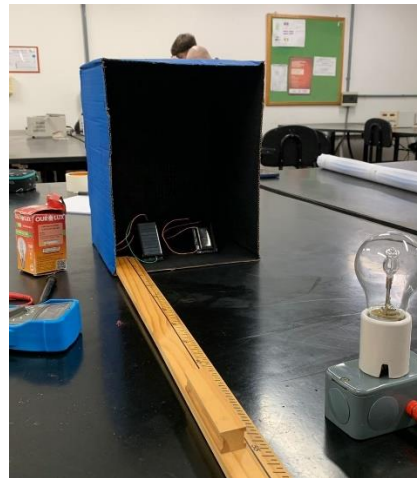
O primeiro experimento foi realizado em um ambiente fechado, utilizando uma caixa de papelão pintada de preto em seu interior para evitar reflexões internas que pudessem interferir na medição, como ilustrado pela imagem 01. Nesse experimento, foram avaliadas duas células solares com áreas de 11,25 cm² e 38,5 cm², descritos na tabela 01. Como fonte de iluminação, utilizou-se uma lâmpada incandescente, afastada do painel em incrementos de 20 cm, de forma a variar a intensidade luminosa incidente sobre as células, assim como mostrado na imagem 02. A tensão

elétrica gerada pelas células foi escolhida como variável dependente, pois reflete diretamente a quantidade de energia elétrica produzida em resposta à luz incidente, permitindo analisar o desempenho das células frente às diferentes intensidades luminosa. Essa escolha possibilita observar as variações de desempenho sem que outros fatores, como a posição da lâmpada ou a área das células, interfiram nos resultados.

Para garantir que a medição não alterasse a luz incidente, o multímetro foi conectado de forma que apenas registrasse a tensão gerada pelas células, sem bloquear ou refletir a radiação luminosa. Dessa forma, a luz incidente permaneceu constante e uniforme, assegurando a confiabilidade dos dados. Em cada ponto de medição, os valores de tensão foram registrados cuidadosamente, garantindo precisão e repetibilidade.

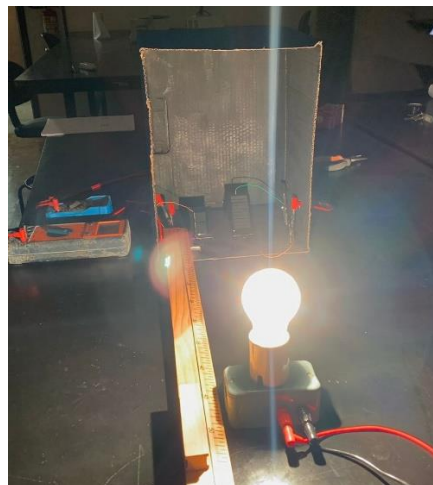
Os dados coletados foram organizados em planilhas eletrônicas, permitindo análise detalhada e construção de gráficos que representam a variação da tensão em função da distância da lâmpada à célula e da área do módulo. Para interpretação dos resultados, foram aplicados cálculos estatísticos simples, como médias, desvios padrão e comparações entre as diferentes medições. Essa abordagem permitiu identificar padrões de comportamento das células e avaliar de que forma a intensidade luminosa influencia a tensão elétrica gerada.

Imagem 01: Experimento de medição de tensão elétrica com células solares



Fonte: autores, 2025.

Imagem 02: Experimento de medição de tensão elétrica com células solares com lâmpada incandescente



RESULTADOS E ANÁLISES

As análises preliminares mostram que a eficiência dos painéis solares monocristalinos varia significativamente conforme as condições ambientais. Observa-se que temperaturas mais elevadas tendem a reduzir o desempenho do painel devido ao superaquecimento das células, enquanto períodos do dia com clima mais ameno, como início da manhã e final da tarde, apresentam melhor rendimento. A irradiância solar também se destaca como um fator determinante: níveis altos aumentam a produção de energia, mas apenas quando a temperatura não ultrapassa limites que comprometam a eficiência. Além disso, foi possível perceber que, mesmo em dias nublados, os painéis podem

manter uma boa taxa de geração quando há luz difusa suficiente. A análise inicial indica ainda padrões consistentes entre variações de irradiância, espectro luminoso e produção elétrica, sugerindo que a combinação desses fatores define o desempenho final do painel. Esses resultados apontam para condições climáticas específicas que favorecem maior eficiência e podem servir de base para otimizar a instalação e operação de sistemas solares em diferentes regiões.

Tabela 01 - Relação entre a distância da fonte de luz e a tensão elétrica medida na célula solar 01

Distância (D)	Tensão Elétrica (v)
20 cm	1,234 V
40 cm	1,090 V
60 cm	0,993 V
80 cm	0,946 V
100 cm	0,890 V

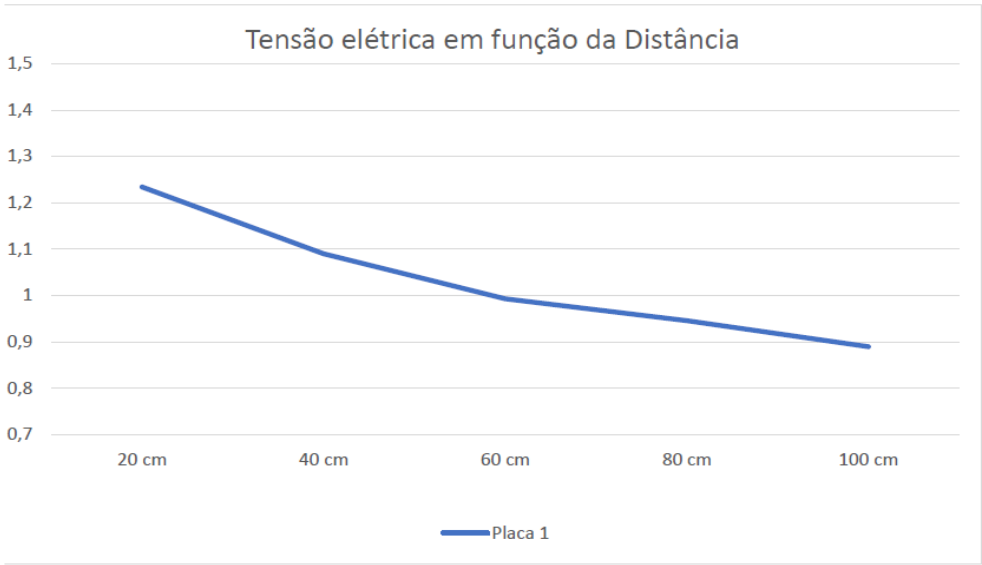
A tabela 01 apresenta os valores de tensão elétrica (em volts) obtidos por um multímetro em diferentes distâncias da fonte de luz. A tabela evidencia a redução progressiva da intensidade à medida que a distância aumenta. Fonte: autores, 2025

Tabela 02: Relação entre a distância da fonte de luz e a tensão elétrica medida na célula solar 02

Distância (D)	Tensão Elétrica (v)
20 cm	5,068 V
40 cm	4,23 V
60 cm	3,64 V
80 cm	3,254 V
100 cm	2,991 V

A tabela 02 apresenta os valores de tensão elétrica (em volts) obtidos por um multímetro em diferentes distâncias da fonte de luz. A tabela evidencia a redução progressiva da intensidade à medida que a distância aumenta. Fonte: autores, 2025

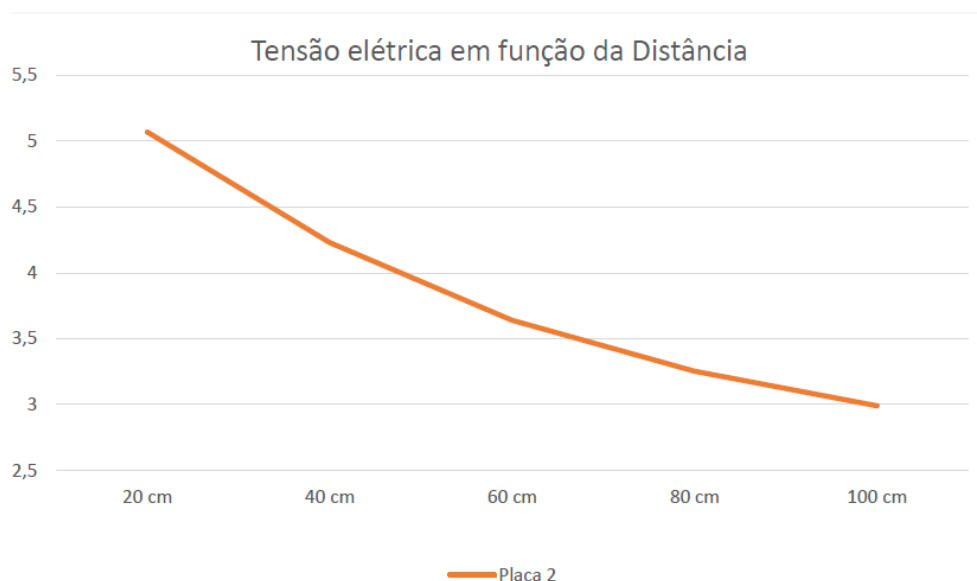
Imagem 03 – Variação da tensão elétrica em função da distância da fonte de luz (Placa 01)



A imagem 03 representa o comportamento da intensidade de energia medido pelo multímetro conforme a distância aumenta. A curva ilustra a queda da intensidade luminosa, aproximando-se da tendência esperada.

Fonte: autores, 2025

Imagem 04 - Variação da tensão elétrica em função da distância da fonte de luz (Placa 02)



A imagem 04 representa o comportamento da intensidade de energia medido pelo multímetro conforme a distância aumenta. A curva ilustra a queda da intensidade luminosa, aproximando-se da tendência esperada.

CONCLUSÃO

A partir do objetivo de compreender como fatores ambientais influenciam a eficiência de painéis solares monocristalinos, o estudo permitiu identificar padrões claros no desempenho desses sistemas. Os resultados indicaram que a temperatura elevada reduz a eficiência, enquanto períodos mais amenos favorecem maior rendimento. Também se observou que a irradiância solar, mesmo em condições de luz difusa, pode garantir boa geração de energia quando adequada. Esses achados reforçam a importância de considerar clima, horário de operação e condições de exposição para otimizar o uso de painéis solares.

As contribuições do estudo incluem a identificação de condições ambientais que favorecem a máxima eficiência, oferecendo subsídios para decisões mais precisas na instalação e no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Na prática, os resultados podem auxiliar na escolha de locais, ângulos de instalação e estratégias de monitoramento. Para pesquisas futuras, recomenda-se aprofundar a análise de diferentes tecnologias fotovoltaicas e ampliar o período de observação, permitindo uma compreensão ainda mais detalhada do comportamento dos painéis em variados contextos climáticos.

AGRADECIMENTOS

Estendemos nossos agradecimentos ao Colégio Scalabriniano Nossa Senhora Medianeira e à Universidade de Caxias do Sul (UCS) pelo suporte institucional, incentivo à pesquisa e fornecimento dos recursos necessários para a realização do estudo. A todos que contribuíram direta ou indiretamente, nossa sincera gratidão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DUBEY, S.; SARVAIYA, J. N.; SESHADRI, B. Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world – a review. *Energy Procedia*, v. 33, p. 311–321, 2013.

GARCÍA, M.; BALENZATEGUI, J. Analysis of the main losses in grid-connected photovoltaic inverters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 51, n. 3, p. 641–647, 2004.

GOTTSCHALG, R.; JACOBSON, B.; KREBS, R. Influence of diffuse light on the performance of photovoltaic modules. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, v. 83, n. 1, p. 29–37, 2004.

GREEN, M. A.; HO-BAGGER, J.; KING, D. L.; et al. Solar cell efficiency tables (version 45). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, v. 23, n. 1, p. 1–9, 2015.

LUQUE, A.; HEGEDUS, S. *Handbook of photovoltaic science and engineering*. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.

REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. *Renewables 2023 Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat, 2023.