

Análise de degradação de módulos fotovoltaicos

RESUMO ESTENDIDO - Disciplina de TCC029009

Leonardo Ludvig Silva

Estudante do Curso de Engenharia de Telecomunicações

Marcos Moecke

Ramon Mayor

Semestre 2024.2

Resumo- *A crescente demanda por energia limpa e sustentável impulsionou a expansão da geração de energia solar fotovoltaica. No entanto, a durabilidade e o desempenho dos módulos fotovoltaicos em condições reais de operação ainda geram questionamentos. O objetivo deste trabalho é analisar o desempenho em campo de diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos, comparando os resultados com as projeções dos fabricantes.*

A metodologia empregada consiste na coleta de dados de módulos fotovoltaicos instalados em diferentes condições ambientais, utilizando o equipamento PV-Check para obter parâmetros como tensão, corrente, irradiação e temperatura. Os dados coletados são utilizados para gerar curvas I-V e calcular a eficiência real dos módulos, comparando-a com os dados fornecidos pelos fabricantes. Além disso, um modelo de Inteligência Artificial (IA) é utilizado para analisar os dados e detectar padrões de degradação.

Os resultados obtidos revelam uma diferença significativa no desempenho entre módulos monocristalinos e policristalinos. Os módulos monocristalinos apresentaram maior estabilidade e eficiência, enquanto os policristalinos exibiram maior variabilidade e, em alguns casos, degradação acentuada.

Conclui-se que a avaliação do desempenho em campo dos módulos fotovoltaicos é crucial para garantir a confiabilidade e a eficiência da geração de energia solar. A utilização de ferramentas como o PV-Check e modelos de IA contribui para uma análise mais precisa e completa, auxiliando na identificação de problemas e na otimização do desempenho dos sistemas fotovoltaicos.

Palavras-chave: Energia Solar. Degradação. Módulo fotovoltaico. Análise.

1 Introdução

A energia elétrica gerada por meio de usinas fotovoltaicas, também conhecida como energia solar, representa uma alternativa de geração limpa que tem se consolidado no setor energético. O aumento da popularidade dessa tecnologia é impulsionado pela queda nos custos de produção, tornando-a acessível a diferentes segmentos socioeconômicos. Atualmente, essa fonte é empregada tanto em pequenos sistemas residenciais para consumo próprio quanto em grandes usinas destinadas à comercialização no mercado livre de energia. Embora apresentem diferenças significativas na infraestrutura – como a potência dos inversores, capacidade dos dispositivos de proteção e a dimensão dos condutores –, ambos os modelos de geração dependem dos módulos fotovoltaicos, componentes fundamentais na conversão da luz solar em energia elétrica.

Com o desenvolvimento tecnológico, surgiram duas principais variantes de células fotovoltaicas feitas de silício: as policristalinas e as monocristalinas. As células policristalinas são produzidas com silício de diferentes graus de pureza, resultando em formações cristalinas irregulares, o que implica menor eficiência e maior sensibilidade a variações de temperatura. Em contrapartida, as células monocristalinas são fabricadas com silício de alta pureza, apresentando uma estrutura mais uniforme e maior eficiência energética. Entretanto, essa última tecnologia possui custo mais elevado. O funcionamento dos módulos fotovoltaicos baseia-se na excitação de suas células de silício pela radiação solar. O silício, sendo um semicondutor, é combinado com elementos como boro e fósforo para criar camadas com polaridades opostas – positiva e negativa. Quando os fótons da luz solar atingem essas camadas, provocam o deslocamento de elétrons, gerando uma corrente elétrica contínua entre as camadas. Esse processo se mantém constante, com os fótons preenchendo as lacunas deixadas pelos elétrons, permitindo a geração ininterrupta de energia.

Os fabricantes projetam que, após 25 anos de operação, os módulos fotovoltaicos manterão cerca de 80% de sua capacidade nominal. No entanto, verificou-se que sistemas instalados há aproximadamente cinco anos já apresentam uma degradação superior à prevista. A alta temperatura de operação é uma das principais causas dessa queda de desempenho, impactando especialmente os módulos policristalinos, cuja estrutura menos uniforme os torna mais vulneráveis ao superaquecimento. Embora outros fatores, como erros de instalação e dimensionamento inadequado, possam contribuir para a degradação dos módulos, este trabalho se concentrará exclusivamente nos efeitos das condições climáticas. O foco da pesquisa é avaliar se a tecnologia dos módulos fotovoltaicos analisados mantém a curva de eficiência prometida pelos fabricantes, considerando apenas cenários ideais de instalação, onde fatores externos adversos foram eliminados.

Estudos recentes mostram que, mesmo em condições consideradas ade-

quadas, alguns módulos já apresentam sinais visíveis de degradação, como manchas cinzentas nas células, causadas pela infiltração de umidade sob exposição à radiação ultravioleta. Além disso, algumas degradações não perceptíveis a olho nu são causadas por altas temperaturas e exposição prolongada ao clima. Essas falhas são mais comuns nos módulos policristalinos, que podem ter sua eficiência reduzida para 70% da capacidade nominal em apenas cinco anos – uma queda 10% abaixo da projeção de 80% estipulada para 25 anos. Dada a complexidade e o custo elevado das análises de desempenho desses sistemas, o presente estudo propõe o desenvolvimento de uma inteligência artificial (IA) para identificar se os módulos estão operando abaixo da eficiência esperada. A IA será alimentada com dados obtidos em laboratório, em condições ideais de fabricação, e comparará esses resultados com o desempenho real dos módulos em campo. Serão consideradas variáveis como tensão e corrente máxima de operação, irradiação solar, temperatura ambiente e a curva característica I-V do módulo. Com essa solução, pretende-se fornecer uma ferramenta eficiente para o monitoramento em tempo real dos sistemas fotovoltaicos, assegurando que eles mantenham a performance prometida e funcionem dentro dos parâmetros previstos.

2 Metodologia

Serão selecionados módulos fotovoltaicos já instalados em diferentes locais e condições ambientais controladas, considerando tempo de operação, tipo de célula fotovoltaica e histórico de manutenção. A coleta de dados será realizada por meio do equipamento PV-Check, permitindo a obtenção de variáveis essenciais para a análise de desempenho, como tensão e corrente de operação, azimute, irradiação solar incidente e temperatura de operação do módulo. Esses dados possibilitarão a geração da curva característica I-V, fundamental para avaliar a eficiência operacional e saúde dos módulos.

Os valores obtidos em campo serão comparados com os parâmetros de pleno funcionamento fornecidos pelos fabricantes nos respectivos datasheets ou com ensaios laboratoriais realizados em condições ideais. A eficiência real do módulo será determinada por meio do cálculo da relação entre a potência de saída e a potência incidente baseada na irradiação solar, definindo, assim, a porcentagem da energia que atinge a superfície do módulo e é efetivamente convertida em eletricidade.

$$Eficiencia = potencia(W)/rea(m^2) * Irradiaco(W/m^2)$$

Utilizaremos a eficiência como parâmetro de referência para realizar as comparações entre o desempenho esperado e o desempenho atual do módulo, visto que os outros parâmetros obtidos são variáveis de acordo com as condições de operação e cenário em que o sistema solar se encontra, caso os valores encontrados estejam abaixo do esperado para o tempo de operação, será con-

siderado a possibilidade de degradação acelerada das células fotovoltaicas.

Além disso, os dados coletados alimentarão um modelo de IA previamente desenvolvido para detectar se de fato está ocorrendo alguma degradação que esteja afetando o desempenho do módulo. A IA analisará variações nos parâmetros elétricos, identificando tendências que possam indicar perda de desempenho, dessa forma será possível encontrar padrões que indiquem o que pode estar ocasionando e o tipo da degradação nas variações dos parâmetros analisados. O modelo também será treinado com dados das curvas I-V e ajustado para aumentar a precisão na detecção de anomalias nos módulos avaliados.

A metodologia proposta permitirá uma avaliação detalhada do desempenho dos módulos fotovoltaicos, fornecendo informações essenciais para verificar se as diferentes tecnologias realmente cumprem com as expectativas de durabilidade estabelecidas pelos fabricantes. Dessa forma, será possível determinar quais tipos de módulos apresentam maior degradação ao longo do tempo e se os índices de eficiência divulgados correspondem ao comportamento real dos dispositivos em operação ao longo do tempo.

3 Resultados e Discussão

Com base nos resultados obtidos, foi possível analisar e identificar diferentes padrões de comportamento nos módulos fotovoltaicos, considerando suas tecnologias de fabricação. Os módulos fabricados com células monocristalinas apresentaram um desempenho excelente em campo, com uma perda de eficiência dentro das projeções estabelecidas pelos fabricantes. Em contrapartida, os módulos policristalinos exibiram resultados mais variados. Embora muitas amostras tenham apresentado resultados semelhantes aos monocristalinos, em outras foi possível identificar uma degradação notória das células. Nesses casos, a curva de performance dos módulos se desvia do padrão esperado, e a eficiência fica abaixo da especificação para o tempo de uso.

Esses resultados, além de revelarem informações valiosas, levantam questionamentos importantes sobre a forma como o mercado de desenvolvimento de tecnologias para geração de energia solar tem atuado. Afinal, embora esses produtos sejam garantidos por seus fabricantes para operarem em ambientes externos, expostos às condições climáticas, os testes e projeções realizados nem sempre correspondem à realidade. Essa discrepância só se confirma com o tempo e com a análise das tecnologias já existentes em campo, permitindo uma retroalimentação do mercado.

No entanto, o mercado parece estar no caminho certo, visto que a maioria dos módulos desenvolvidos atualmente são monocristalinos, enquanto o uso das células policristalinas entra em desuso gradativamente. Essa tendência sugere que a tecnologia monocristalina tem se mostrado mais confiável e eficiente em comparação com a policristalina.

4 Considerações Parciais/Finais

Os módulos monocristalinos demonstram maior confiabilidade e eficiência, mantendo uma perda de eficiência dentro das projeções dos fabricantes, enquanto os módulos policristalinos apresentam resultados mais variáveis.

É importante destacar a necessidade de uma avaliação mais criteriosa das tecnologias fotovoltaicas, visto que as projeções e testes realizados pelos fabricantes nem sempre correspondem à realidade em campo. A análise do desempenho real dos módulos em operação, considerando as condições climáticas e o tempo de uso, é crucial para uma retroalimentação do mercado e para garantir a qualidade e durabilidade dos produtos.

O estudo em andamento busca contribuir para esse processo de avaliação, fornecendo dados e informações relevantes sobre o desempenho das diferentes tecnologias fotovoltaicas. A utilização de ferramentas como o equipamento PV-Check e o modelo de IA permite uma análise mais precisa e detalhada dos módulos, auxiliando na identificação de padrões de degradação e na verificação da eficiência real dos dispositivos.

Com a conclusão do estudo, espera-se obter uma compreensão mais aprofundada do comportamento dos módulos fotovoltaicos em campo e dos possíveis fatores de degradação, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e confiáveis, e para a consolidação da energia solar como uma fonte de energia limpa e sustentável.

5 Citações de bibliografias no texto

(SANTOS JOÃO PAULO N. TORRES, 2021)

Referências

SANTOS JOÃO PAULO N. TORRES, C. A. F. F. R. A. M. L. Sofia Antunes Alves dos. The impact of aging of solar cells on the performance of photovoltaic panels. *Miscellaneous*, v. 10, 2021.