



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SUL DE MINAS
GERAIS**

Proposta
**Avaliação de Performance e Operação das Usinas
Fotovoltaicas instaladas através do IFSOLAR -
IFSULDEMINAS**

Exatas, Engenharia Elétrica, Sistemas Fotovoltaicos

20/12/2022
Poços de Caldas

1. INFORMAÇÕES GERAIS

Título da proposta	Avaliação de Performance e Operação das Usinas Fotovoltaicas instaladas através do IFSOLAR - IFSULDEMINAS
Chamada	No269/2022/GAB/IFSULDEMINAS
Campus	Poços de Caldas
Responsável pela proposta:	Yull Heilordt Henao Roa
Titulação do responsável:	Doutor em Engenharia Elétrica
Endereço do currículo Lattes:	http://lattes.cnpq.br/8714199981613742
Endereço de e-mail do responsável:	heilordt.roa@ifsuldeminas.edu.br
Data de início	06/02/2023
Data de término	06/12/2023

2. MEMBROS DA EQUIPE

Nome	Área de atuação	Formação	Função	e-mail
Yull Heilordt Henao Roa	Eletrônica	Engº Eletrônico, Dr.	Coordenador	heilordt.roa@ifsuldeminas.edu.br
lattes	http://lattes.cnpq.br/8714199981613742			

Nome	Área de atuação	Formação	Função	e-mail
Bruno Eduardo Carmelito	Automação e Sistemas Fotovoltaicos	Engº Eletricista, MSc.	Professor	bruno.carmelito@ifsuldeminas.edu.br
lattes	http://lattes.cnpq.br/3755750018707272			

Nome	Área de atuação	Formação	Função	e-mail
Diógenes Simão Rodovalho	Eletrônica de Potência	Engº Eletricista, Dr.	Professor	diogenes.rodovalho@ifsuldeminas.edu.br
lattes	http://lattes.cnpq.br/5757736959323155			

Nome	Área de atuação	Formação	Função	e-mail
Erick Akio Nagata	Automação e Controle	Engº de Controle e Automação, MSc.	Professor	erick.nagata@ifsuldeminas.edu.br
lattes	http://lattes.cnpq.br/0590904041641438			

3. RESUMO

O desempenho de um sistema fotovoltaico depende do clima, efeitos sazonais e outros problemas intermitentes, portanto, demonstrar que um sistema fotovoltaico está funcionando conforme o previsto requer determinar se o sistema funciona corretamente sob todas as condições relevantes para o local de implantação. Além de avaliar o desempenho do sistema, os aspectos financeiros da instalação estão inseridos nessa métrica. O *payback* é diretamente influenciado pelo seu funcionamento, garantir o bom funcionamento é aumentar a produtividade e rentabilidade da instalação. Diante do exposto, o trabalho propõe avaliar a performance dos sistemas fotovoltaicos em operação no âmbito do IFSULDEMINAS através de métricas de desempenho desde sua implantação. Espera-se como resultado, relatórios que demonstrem o estado real da operação e o financeiro dos sistemas em estudo.

4. ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVA

Os processos de aquisição de usinas solares fotovoltaicas conduzidos pelo IFSULDEMINAS em âmbito nacional, projeto conhecido como IFSOLAR, são considerados os maiores processos de aquisição pública de usinas solares já realizados. Estes processos alcançaram um impacto significativo na matriz nacional de geração de energia solar. Em ambos os processos de aquisição, a capacidade de geração contratada alcançou cerca de 10 % da capacidade de geração solar distribuída nacional, contabilizada pela ANEEL até o mês de dezembro do ano em que ocorreu cada processo de aquisição. [1]

O IFSULDEMINAS possui 9 usinas fotovoltaicas distribuídas em seus 8 campi e reitoria, totalizando 1827 kWp de potência instalada conforme pode ser visualizado abaixo.

Campi	Potência Instalada (kWp)	Investimento
Poços de Caldas	141	R\$ 686.439,00
Machado	366	R\$ 1.458.287,00
Muzambinho	305	R\$ 1.142.379,00
Inconfidentes	384	R\$ 1.520.215,00
Pouso Alegre	199	R\$ 978.439,00
Passos	181	R\$ 905.439,00
Três Corações	97	R\$ 499.463,00
Carmo de Minas	83	R\$ 405.975,00
Reitoria	70	R\$ 467.439,00
TOTAL	1827	R\$ 8.064.073,00

Considerando os aspectos financeiros da geração de energia fotovoltaica, o foco principal geralmente se limita a custos específicos de sistemas (módulo e inversor), sendo que foram gastos mais de R\$ 8 milhões de reais no âmbito do IFSULDEMINAS. A energia gerada (kWh), no entanto, é influenciada em grande parte pelo custo de capital e pela operação e manutenção das usinas. Estes últimos são obviamente afetados pela confiabilidade e performance do sistema fotovoltaico. Mas a previsibilidade e disponibilidade das usinas fotovoltaicas também tem uma influência considerável no *payback* do sistema, especialmente no médio e longo prazo. Assim, avaliar a confiabilidade desta tecnologia por meio de medições ao longo de vários anos e para um grande número de usinas, torna o *payback* mais baixo e aumenta a rentabilidade da instituição.

A geração de energia de um sistema fotovoltaico pode ser documentada pela avaliação de desempenho do sistema, que quantifica a potência de saída do sistema em condições definidas através da irradiância, temperatura ambiente e velocidade do vento através de métricas de rendimento anual, taxa de desempenho (*Performance Ratio* - PR) e taxa de degradação. Uma avaliação mais longa deve ser usada para verificar o desempenho do sistema sob uma variedade de condições de clima e sombreamento associados a todas as estações.

Embora a documentação do rendimento energético possa parecer simples, há uma série de variáveis que complicam a análise de dados associada a variações no clima e coleta de dados. Essas variáveis podem dificultar a conclusão de um contrato associado a uma garantia de desempenho ou a conclusão de qualquer avaliação destinada a quantificar o desempenho de uma usina fotovoltaica.

O desempenho pode variar dependendo de fatores como:

- Problemas sazonais de sombreamento
- Sujeira sazonal
- Sensibilidade a altas temperaturas
- Sensibilidade do modelo ao clima - por exemplo, se a taxa de desempenho for usada como métrica, o desempenho medido variará fortemente com a temperatura
- Degradação precoce do sistema
- Corte ou redução intencional.

Assim, existe um consenso geral de que a avaliação de desempenho concluída ao longo de um ano inteiro ou mais pode fornecer maior confiança de que um sistema fotovoltaico foi projetado e instalado corretamente. Neste trabalho, a energia real produzida pelo sistema fotovoltaico é medida e comparada com a quantidade esperada de energia produzida para o período observado.

O resultado final é a documentação de como o sistema fotovoltaico se comportou em relação ao desempenho previsto para o período medido.

A documentação incluirá:

1. Descrição do local testado, incluindo latitude, longitude e altitude.
2. Descrição do sistema;
3. Descrição dos dados meteorológicos históricos que foram utilizados e/ou inclusão dos dados brutos como um apêndice se os dados referenciados não estão disponíveis.
4. Um resumo da previsão de desempenho inicial que foi feita com base em dados históricos;
5. Um resumo da definição dos dados meteorológicos obtidos durante a avaliação, incluindo dados de calibração para todos os sensores;
6. Um resumo da definição dos dados de saída do sistema coletados durante a avaliação
7. Os dados brutos que foram coletados durante a avaliação, incluindo nota de quais dados foram sinalizados para remoção. Uma explicação de por que os dados (se houver) foram removidos.
8. Uma lista de quaisquer desvios do procedimento de avaliação e por que eles foram feitos.

9. Comparação resumida do desempenho esperado calculado a partir do medido com dados meteorológicos e o desempenho real medido;
10. Decomposição da diferença na energia esperada da energia medida em categorias;
11. Descrição da análise de incerteza e declaração de incerteza associada ao desempenho esperado, com base na incerteza das medições meteorológicas.
12. Sugestão de procedimentos de manutenção que precisam ser tomados para regularizar possíveis desvios de desempenho, incluindo também uma previsão de orçamento necessário para realizar esses procedimentos.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em avaliar a performance e operação das usinas fotovoltaicas instaladas em todos os campi do IFSULDEMINAS.

O trabalho avalia a qualidade do desempenho do sistema fotovoltaico, refletindo tanto a qualidade da instalação inicial quanto a qualidade da operação contínua da usina.

5.2 Objetivos Específicos

As métricas de desempenho determinadas no trabalho poderão ser comparadas com *benchmarks* para avaliar o desempenho do sistema e verificar se as metas de desempenho foram alcançadas estabelecendo registros de desempenho de longo prazo que permitam que a equipe de manutenção monitore as tendências do desempenho energético.

Os usos incluem:

- comparação de desempenho com a intenção do projeto;
- comparação com outros sistemas fotovoltaicos;
- análise econômica de sistemas fotovoltaicos.
- análise de procedimentos de manutenção que venham a ser necessários

6. ATIVIDADES DE ENSINO, PESQUISA E/OU EXTENSÃO A SEREM DESENVOLVIDAS E SUAS METODOLOGIAS

De encontro ao crescimento exponencial de sistemas fotovoltaicos em operação no Brasil, especialmente nas áreas de abrangência do IFSULDEMINAS, o projeto prevê um curso itinerante de formação e manutenção de sistemas fotovoltaicos. Através de um caminhão contêiner* será montada uma sala adaptada para as aulas, com sistemas *on-grid* e *off-grid* utilizados para as atividades demonstrativas.

Assim, o Professor Visitante estará incumbido de desenvolver as atividades de pesquisa descritas no projeto de pesquisa, seguindo o cronograma proposto para as atividades. Bem como, ministrar aulas nos cursos da área de sistemas fotovoltaicos, em especial no curso itinerante.

7. REFERENCIAL TEÓRICO

A análise do desempenho de sistemas fotovoltaicos é uma ferramenta importante para quantificar a potencial vantagem do uso de tecnologias solares versus tecnologias mais tradicionais, especialmente aquelas que dependem de fontes de combustíveis fósseis não renováveis [2].

Em [3], é realizada a avaliação da sustentabilidade e o desempenho ambiental de sistemas fotovoltaicos, conduzido por uma revisão completa dos estudos de avaliação do ciclo de vida. O trabalho de [4], utiliza de uma metodologia que pode identificar cinco perdas do sistema fotovoltaico com base em quatro dados medidos simples. Já em [5], é realizada a comparação do desempenho de um sistema resfriado e outro em superfície plana. No trabalho de [6], são apresentados os resultados das medições externas e internas nos modelos fotovoltaicos que estiveram em funcionamento por mais de 30 anos. Foi realizada uma comparação dos resultados atuais com os parâmetros inicialmente projetados, e foi medida a degradação de energia após este longo período de trabalho.

*Caminhão contêiner em negociação com a reitoria para oferta de cursos.

No estudo de [7], são apresentadas as avaliações de um ano de quatro sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalados no Instituto Nacional de Ciência

11. INFRAESTRUTURA PARA A EXECUÇÃO DA AÇÕES

Neste item são apresentados os componentes da infraestrutura física, os equipamentos que compõem os ambientes educacionais do curso e demais materiais que estarão à disposição no campus Poços de Caldas.

Laboratório de Eficiência Energética e Energias Renováveis - LEFEER

O Laboratório de Eficiência Energética e Energias Renováveis (LEFEER) conta com toda infraestrutura e equipamentos de alta tecnologia para atender 35 alunos. O LEFEER não possui bancadas pré formatadas, não obstante, tem módulos de pequenas dimensões, instrumentos de medidas, ferramentas, mesas e demais materiais de tal forma que pode-se montar de 05 a 07 grupos de trabalho simultâneos, a depender da prática a ser realizada. Abaixo apresenta-se algumas imagens do laboratório.



Fig. 1 - Aula de projetos fotovoltaicos no LEFEER



Fig. 2 - Medidor de Energia Classe A do LEFEER



Fig. 3 - Área de trabalho no LEFEER



Fig. 4 - Câmera térmica do LEFEER



Fig. 5 Traçador de curva I-V do LEFEER



Fig. 6 Drone com câmera termográfica do LEFEER

Telhados didáticos disponíveis no campus

O telhado didático utilizado para os treinamentos possui 20m², é constituído de telhas cerâmicas por atender grande parte das edificações da região. Possui capacidade de instalação de 6 módulos fotovoltaicos, podendo receber várias configurações e arranjos conforme ilustram as Figura 5 que seguem. Há também no campus mais outros dois telhados didáticos (em telha de fibrocimento e em telha metálica), assim como uma estrutura de solo didática.



Fig. 7 - Aula no telhado didático



Fig. 8 - Telhados didáticos

Sistemas FV disponíveis para capacitação

Sistema fotovoltaico nº1 - Biblioteca

O sistema fotovoltaico é formado de um gerador fotovoltaico com potência nominal de 17,55kWp compostos de 64 módulos de 270 Wp e um inversor de 15 kWp, conforme esquema exibido na figura 16. Os módulos foram alocados sobre uma estrutura de fixação construída de forma a criar uma área de sombra no estacionamento e na entrada principal da biblioteca do campus, conforme ilustra a Figura 9.



Fig. 9 - Carport Sistema Fotovoltaico instalado na biblioteca do Campus Poços de Caldas.

Sistema fotovoltaico nº2 - Solo

O sistema fotovoltaico é composto de 40 módulos fotovoltaicos de 260Wp, 1 inversor de 15 kW, estruturas de fixação de alumínio, cabeamento CC e CA, eletrodutos de aço galvanizado, disjuntores de baixa tensão, aterramento, dispositivo de proteção de surto CC e CA e sistema de monitoramento online.

O sistema também conta com uma estação meteorológica com sensores para registros de medição de irradiação solar, temperatura ambiente, temperatura dos módulos fotovoltaicos e velocidade do vento, todos esses sensores estão conectados à rede internet por meio de um *smart meter*, que disponibiliza em tempo real via web a medição de cada sensor.



Fig. 10 - Sistema Fotovoltaico no solo.

Sistema fotovoltaico nº3 - Usina 70 kWp

A mini usina fotovoltaica em questão possui 70 kWp de potência nominal distribuídos em cinco inversores de 15kW. Possui 265 módulos de silício policristalino com 265W cada, instalada no telhado do bloco de aulas.



Fig. 11 - Usina de 70 kWp

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Relatório Gestão da Energia IFSULDEMINAS 2019/2020. Disponível em <<https://portal.ifsuldeminas.edu.br/index.php/if-solar>>, acessado em 14/12/22
- [2] SUMPER, Andreas et al. Life-cycle assessment of a photovoltaic system in Catalonia (Spain). **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 15, n. 8, p. 3888-3896, 2011.
- [3] PENG, Jinqing; LU, Lin; YANG, Hongxing. Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 19, p. 255-274, 2013.
- [4] TAHRI, Ali; OOZEKI, Takashi; DRAOU, Azzedine. Monitoring and evaluation of photovoltaic system. **Energy Procedia**, v. 42, p. 456-464, 2013.
- [5] CHARFI, Wael et al. Performance evaluation of a solar photovoltaic system. **Energy Reports**, v. 4, p. 400-406, 2018.
- [6] ALSHUSHAN, Mohamed AS; SALEH, Ibrahim M. Power degradation and performance evaluation of PV modules after 31 years of work. In: **2013 IEEE 39th photovoltaic specialists conference (PVSC)**. IEEE, 2013. p. 2977-2982.
- [7] TAHRI, Fatima; TAHRI, Ali; OOZEKI, Takashi. Performance evaluation of grid-connected photovoltaic systems based on two photovoltaic module technologies under tropical climate conditions. **Energy Conversion and Management**, v. 165, p. 244-252, 2018.
- [8] GALDINO, Marco Antônio; PINHO, João Tavares. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel - Cresesb, 2014. 530 p.
- [9] RUTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: UFSC / LABSOLAR, 2004.
- [10] VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2012. 224 p.