

Metodologia inteligente para otimização de O&M em instalações fotovoltaicas: redução de custos e eficiência.

Vinicius Alfredo Schwalbe, João Prestes, Lucas Dominguez Cordeiro, Jean Carlos Bortoli Dalcin, Marcos Eduardo Treter.

Resumo—As fontes de energia fotovoltaica desempenham um papel fundamental na geração de energia renovável, mas a eficiência e a utilidade desses sistemas dependem da detecção e resolução eficaz de problemas operacionais. Este estudo apresenta um algoritmo *crawler* de monitoração fotovoltaica desenvolvido para detectar inversores fotovoltaicos que não estão gerando energia. O algoritmo identifica sistemas com baixo desempenho e gera relatórios que identificam estes sistemas. A implementação do algoritmo é uma ferramenta valiosa para otimizar o desempenho e a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, além de minimizar perdas financeiras decorrentes de problemas operacionais. O público alvo do algoritmo proposto são as empresas que realizam a instalação de sistemas fotovoltaicos e utilizam o serviço de monitoramento da plataforma FusionSolar. O algoritmo proposto é incorporado em uma plataforma Raspberry Pi e permite enviar relatórios que identificam as plantas fotovoltaicas que não estão gerando energia adequadamente. A ferramenta se destaca por fornecer à empresa de Operação e Manutenção (O&M) uma lista precisa das plantas que necessitam de manutenção, agilizando as tarefas de O&M e reduzindo as perdas associadas à baixa geração de energia. O algoritmo proposto foi aplicado em um usuário do FusionSolar que possui 78 inversores fotovoltaicos registrados na plataforma, o algoritmo funcionou por uma semana enviando relatórios de mau funcionamento dos sistemas fotovoltaicos para a empresa de operação e manutenção.

Palavras-chave: algoritmo *crawler*, geração solar, monitoração fotovoltaica.

I. INTRODUÇÃO

O uso de sistemas fotovoltaicos tem se intensificado muito nos últimos anos, pois é um sistema que gera uma economia muito significativa no consumo de energia, podendo ser empregado tanto no ramo industrial ou residencial [1]. Como mostra [2], a China que é atualmente o maior produtor de energia fotovoltaica teve um grande aumento na sua geração no ano de 2022, sua produção aumentou em 37% em relação ao ano anterior. Além disso, sistemas fotovoltaicos estão sendo cada vez mais empregados devido ao aumento do uso de fontes de energia renováveis que não geram emissão de dióxido de carbono [3].

Em paralelo com o aumento das instalações fotovoltaicas, observa-se a degradação de instalações fotovoltaicas em virtude de falhas e/ou desgaste dos módulos fotovoltaicos, inversores e outros problemas relacionados com a instalação, como o dimensionamento inadequado de condutores e avaliação inadequada do sombreamento [4]. O estudo [5] mostra que

o envelhecimento do módulo fotovoltaico diminui a sua eficiência de operação, podendo sua geração de energia ser comprometida em até 0,95% ao ano, e também a sujeira que se acumula ao longo do tempo de funcionamento do sistema fotovoltaico é um fator que compromete a eficiência da sua operação, podendo reduzir sua geração de energia em até 25% ao ano.

Outros fatores significativos que podem comprometer a eficiência dos sistemas fotovoltaicos são: incompatibilidade de módulos fotovoltaicos, falhas em diodo de *by-pass*, quebra e fissura de células, falhas no inversor fotovoltaico, curto-circuitos, entre outros [6-7]. Essas falhas podem resultar em uma geração de energia abaixo do esperado pelo sistema, ou até mesmo na ausência de geração de energia.

As falhas supracitadas na grande maioria dos casos, são identificadas apenas no final do mês, quando o cliente recebe uma fatura de energia muito acima do esperado para aquele período de tempo, gerando a necessidade de um reparo imediato, vale ressaltar que instalações residenciais na grande maioria, não possuem nenhum tipo de sistema de monitoração, e também não possuem uma equipe de operação e manutenção (O&M). Portanto, a implementação de uma ferramenta que possa gerar relatórios para a empresa, responsável pela instalação do sistema fotovoltaico é muito importante, pois o algoritmo pode ser implementado na ferramenta de monitoração que a empresa já possui, poupando-a de atribuir a tarefa de analisar o bom funcionamento de cada sistema a um funcionário da equipe, além prevenir custos elevados no final do mês para o cliente, decorrente de energia que deveria ter sido gerada pelo sistema. A capacidade da ferramenta de identificar falhas no funcionamento do sistema, também permite com que a empresa possa fazer intervenções corretivas no sistema fotovoltaico, garantindo assim uma melhor eficiência da geração de energia solar e fortalecendo a confiança dos clientes na empresa instaladora, além de poder cobrar uma mensalidade por garantir o bom funcionamento de sistema do cliente, consolidando sua reputação no mercado de energia solar.

Na literatura estão presentes alguns trabalhos que investigam o monitoramento de sistemas fotovoltaicos. Por exemplo, o projeto desenvolvido em [8] apresenta um sistema de monitoramento para instalações fotovoltaicas de pequeno porte, com alto nível de integração. Nele, até mesmo o proprietário do sistema fotovoltaico pode ter acesso aos níveis de energia gerados pelo seu respectivo sistema, além de fornecer

relatórios de eficiência na geração de energia. Ademais, o sistema envia mensagens por e-mail informando se algum componente do sistema fotovoltaico está com mau funcionamento ou falha de comunicação. A ferramenta desenvolvida faz uso de uma placa Raspberry Pi e uma PCB desenvolvida para aquisição de dados como umidade, irradiação solar, corrente e tensão. Esse conjunto precisa ser instalado junto do sistema fotovoltaico do proprietário que deseja ter acesso a esses dados.

O trabalho [9] propõe um sistema de monitoramento com base na análise das curvas de tensão e corrente (I-V). O algoritmo proposto pelos autores permite classificar se o baixo desempenho está relacionado ao sombreamento dos módulos fotovoltaicos. No entanto, o método foi desenvolvido para um inversor específico da marca Danfoss, que permite extrair as curvas de (I-V) de cada módulo fotovoltaico conectado ao mesmo. O sistema também conta com um sensor de irradiação e precisa de um computador conectado ao sistema para coletar e processar os dados.

O trabalho [10] apresenta o desenvolvimento de um algoritmo de identificação de falhas de sistema fotovoltaico através da análise das medições fornecidas pelo inversor fotovoltaico, e na comparação com os valores esperados de desempenho do sistema. Este projeto necessita de uma RaspberryPI no sistema fotovoltaico para operar o algoritmo, além de necessitar de sensores de irradiação solar.

Atualmente, existem várias plataformas de monitoramento fotovoltaico que oferecem dados importantes para uma análise completa. Um exemplo é a Solar-Log [11], que fornece informações como índice de irradiação solar, potência gerada, localização do sistema e interface web, permitindo uma comparação entre a energia gerada e a energia esperada. No entanto, esses recursos frequentemente implicam em custos significativos, aumentando o investimento necessário. Por exemplo, o Solar-Log é um dispositivo que necessita ser comprado e conectado no inversor fotovoltaico.

Em virtude das vantagens que os sistemas fotovoltaicos oferecem para geração de energia e da necessidade de monitorar constantemente o desempenho destes sistemas, o objetivo deste trabalho é desenvolver um algoritmo para ser implementado na plataforma web FusionSolar[12] dos inversores fotovoltaicos da marca Huawei e gerar relatórios diários, esses relatórios fornecem informações sobre quais instalações fotovoltaicas não estão gerando energia.

Este artigo está dividido em cinco seções, na seção II a estrutura do sistema de monitoramento fotovoltaico, detalhando cada uma das três principais etapas do desenvolvimento. A seção III é dedicada a explicar o funcionamento dos algoritmos propostos para o monitoramento. A seção IV é dedicada para mostrar um relatório obtido para um usuário do FusionSolar com 78 inversores cadastrados. Por fim, na Seção V, encontra-se a conclusão do projeto, onde os principais resultados são recapitulados.

II. A PLATAFORMA FUSIONSOLAR

A figura 1, apresenta as três etapas de funcionamento do monitoramento fotovoltaico. Este sistema é dividido em três

partes: a primeira composta pelo sistema fotovoltaico, responsável por gerar energia e registrar parâmetros monitorados no inversor. A segunda parte é a ferramenta de monitoramento web FusionSolar, que requisita os dados que estão armazenados no inversor e disponibiliza os principais parâmetros elétricos para o usuário. A terceira parte é o algoritmo *crawler*, responsável por analisar automaticamente os parâmetros elétricos. A seguir, são apresentadas com mais detalhes cada etapa do sistema, justificando o uso de cada ferramenta e apresentando suas respectivas limitações e princípios de funcionamento.

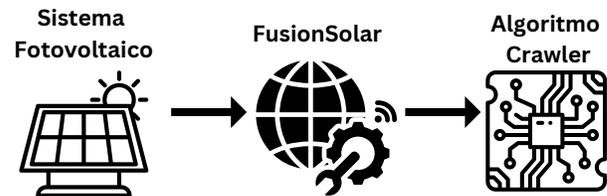


Figura 1. Arquitetura do sistema de monitoração.

Os sistemas fotovoltaicos conectados a rede possuem sempre um inversor, para converter a energia gerada em corrente contínua para corrente alternada. No caso dos inversores da marca Huawei, os dados de potência registrados no inversor, são coletados e enviados para a ferramenta FusionSolar através da rede Wi-Fi do local da instalação do sistema.

A plataforma FusionSolar demonstrado na Figura 2, é uma interface web de monitoramento dos sistemas fotovoltaicos desenvolvida para inversores fotovoltaicos da marca Huawei. Os dados são transferidos dos inversores para a plataforma web. Logo, todas as empresas que possuem inversores da marca Huawei conseguem através dessa plataforma visualizar dados de geração de cada sistema fotovoltaicos. Contudo, esse é um processo manual, e é necessário que o operador faça login no sistema e acesse manualmente cada instalação.

		12/01/2021	2023-11-21	12.000	7.16	0.79	9.53		2.340.90
		#00027	2023-11-10	53.200	0.00	0.00	0.00		29.768.92
		#00027	2023-11-09	446.800	105.06	0.63	280.07		270.955.32
		#00027	2023-08-31	9.800	37.77	4.72	46.22		84.003.43
		#00027	2023-08-23	0.000	15.94	0.00	28.69		12.262.05
		#00027	2023-03-02	13.965	6.45	0.45	6.70		15.799.65
		#00027	2023-02-15	4.400	0.40	0.09	0.58		4.309.38
		#00027	2023-02-15	11.200	3.73	0.39	4.57		14.663.53
		#00027	2022-12-20	44.280	20.29	0.62	27.45		76.059.47
		#00027	2022-11-10	107.800	26.92	0.52	34.05		117.860.05

Figura 2. Plataforma web FusionSolar.

Além disso, o FusionSolar carece de um sistema de alerta para notificar os usuários ou uma empresa para realizar os serviços de O&M sobre possíveis falhas na geração fotovoltaica. Essa lacuna pode resultar em atrasos na intervenção das tarefas de O&M e, conseqüentemente nos inversores a geração fotovoltaica.

O algoritmo *crawler* proposto é embarcado em uma Raspberry Pi. Essa arquitetura confere praticidade devido a ne-

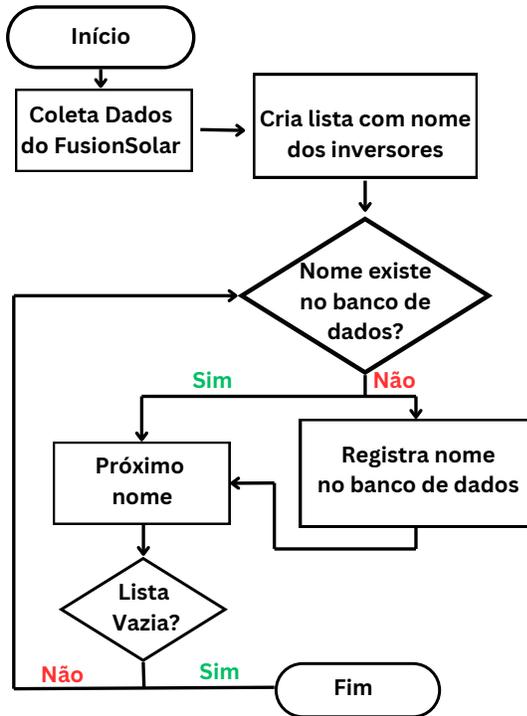


Figura 5. Fluxograma da etapa “Cadastro”.

sua análise e manipulação, uma vez que é possível identificar o momento exato em que a potência foi coletada.

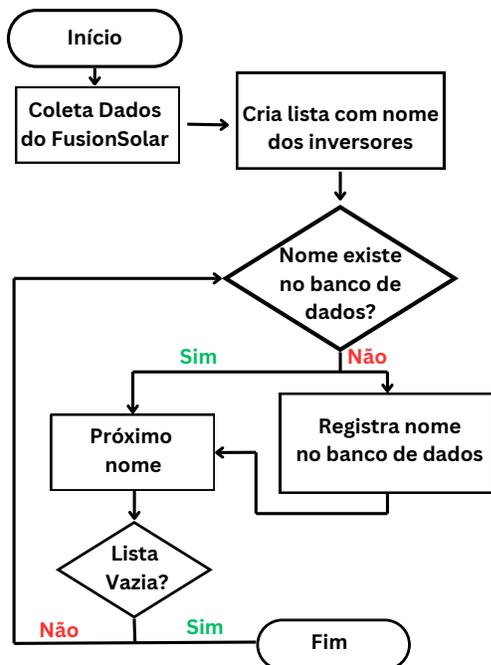


Figura 6. Fluxograma da etapa “Coleta”.

C. Etapa de análise e geração do relatório

A etapa do algoritmo responsável pela análise da potência gerada, acessa as informações, acessa as informações na base

de dados de cada inversor para realizar uma avaliação de funcionamento. Durante a execução, o algoritmo identifica quais inversores não geram energia para o dia em questão, e adiciona os nomes em uma lista, o processo descrito é representada na Figura 7.

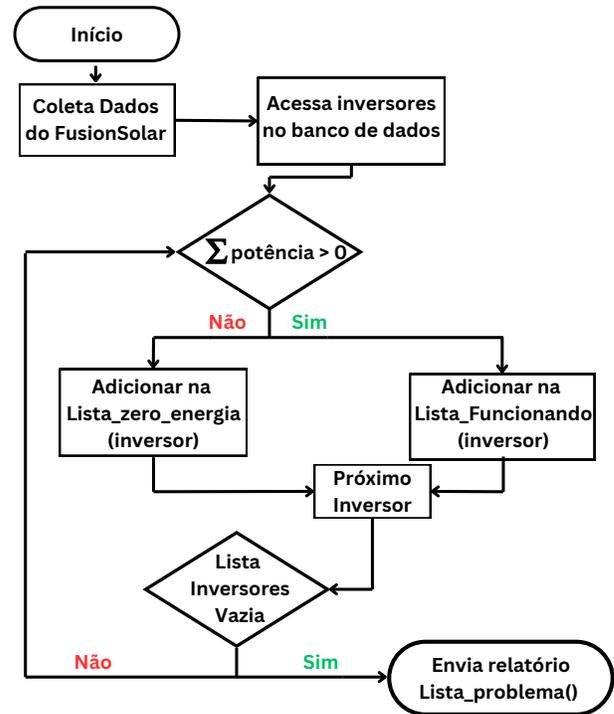


Figura 7. Fluxograma da etapa “Análise”.

A lista de inversores que não geram energia no dia, é originalmente representada como uma lista em Python. Para tornar esses dados acessíveis á empresa de O&M, é necessário formatá-los de maneira adequada. Para isso, utiliza-se um comando gerador de HTML, que gera a lista representada na Figura 8. A tabela que contém as instalações fotovoltaicas sem geração de energia é enviada automaticamente pelo algoritmo “Análise”, logo, a tabela é enviada automaticamente para o e-mail da empresa de O&M. Essa etapa do algoritmo é executada apenas uma vez no final do dia, após a última execução diária do algoritmo “Coleta”. Essa abordagem permite uma identificação eficaz dos inversores com mau funcionamento, garantindo que sejam tomadas as medidas necessárias para resolver os problemas com os sistemas fotovoltaicos o mais rápido possível.

Diante dessas limitações, surge a necessidade de desenvolver um algoritmo de monitoramento fotovoltaico para o FusionSolar. Mesmo com sua disponibilidade de dados restrita, o FusionSolar é uma ferramenta e possui um custo operacional já incluso na compra do inversor. A implementação de um sistema de relatórios automatizados é uma solução eficaz para auxiliar empresas que desejam realizar serviços de O&M.

