

Investigação de Defeitos e Degradação em Sistemas Fotovoltaicos Através de Termografia e Inspeção Visual

Davi Ferreira Chianca ^[1], Romênia Gurgel Vieira ^[2], Maria Izabel da Silva Guerra ^[3]

^[1] Universidade Federal Rural do Semi Árido; davi.chianca@gmail.com

^[2] Universidade Federal Rural do Semi Árido; romenia.vieira@ufersa.edu.br

^[3] Universidade Federal Rural do Semi Árido; izabel.guerra@ufersa.edu.br

Resumo: Com a crescente evolução na utilização de fontes limpas e renováveis em nossa matriz energética, surgiram um grande potencial de implementação de geração de eletricidade por energia solar fotovoltaica no Brasil. A verificação da preservação dos equipamentos é essencial para o sistema apresentar um rendimento adequado. Portanto, realizar a investigação de defeitos e degradação do sistema se torna imprescindível, com o intuito de analisar as perdas temporárias ou permanentes de forma a obter um maior desempenho de geração. Este estudo tem como objetivo analisar e verificar os diversos tipos de defeitos ocorridos em 3 sistemas localizados na cidade de Caicó localizada no interior do estado do Rio Grande do Norte. As inspeções foram realizadas por métodos visual e termográficos, verificando em específico o sombreamento dos módulos, deposição de sujeira, degradação dos módulos e a aparição de *hotspots*. A partir das inspeções realizadas, foi possível verificar as falhas e defeitos, e em alguns casos obter os resultados da reanálise após a correção do agente causador do problema. O estudo foca na relevância da verificação das condições dos equipamentos da região e transmite as informações de cuidados para sistemas em operação.

Palavras-chave: Degradação; Hotspot; Termografia; Sistemas Fotovoltaicos

Abstract: With the growing evolution in the use of clean and renewable sources in our energy matrix, there is great potential for implementing photovoltaic solar power generation in Brazil. Checking the preservation of the equipment is essential if the system is to perform adequately. Therefore, investigating defects and degradation in the system is essential in order to analyze temporary or permanent losses so as to achieve greater generation performance. This study aims to analyze and verify the various types of defects that have occurred in 3 systems located in the city of Caicó, in the interior of the state of Rio Grande do Norte. The inspections were carried out using visual and thermographic methods, specifically verifying the shading of the modules, deposition of dirt, degradation of the modules and the appearance of hotspots. From the inspections carried out, it was possible to verify faults and defects, and in some cases to obtain the results of re-analysis after correcting the agent causing the problem. The study focuses on the importance of checking the condition of equipment in the region and provides information on how to take care of systems in operation.

Key-words: Degradation; Hotspot; Thermography; Photovoltaic systems.

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia provenientes de fontes limpas e renováveis fazem com que um novo aspecto seja implementado na sociedade, gerando renda, economizando na dependência de combustíveis fósseis e passando um legado para as novas eras que estão por vir. Nos últimos anos foi notório observar o crescimento exponencial de instalação de sistemas fotovoltaicos no Brasil e no mundo [1]. A expansão da potência instalada dos sistemas fotovoltaicos tem voltado a atenção de usuários e pesquisadores para as condições de qualidade de geração e eficiência dos sistemas fotovoltaicos, falhas e erros podem ocorrer em todas as partes dos sistemas, tais como cabeamentos, sistemas de controle, inversores, bateria e em específico os módulos fotovoltaicos [2]. Portanto é necessário que sejam inspecionados e avaliados periodicamente todos os componentes da planta fotovoltaica, a fim de garantir a segurança e confiabilidade do sistema de geração fotovoltaica.

Analisando especificamente os módulos fotovoltaicos, pode-se destacar como defeitos a ocorrência de defeitos como a quebra da camada protetora do vidro, falha nas conexões das células FV, rachaduras nas células, defeitos da caixa de junção, corrosão, e o surgimento de pontos quentes [2]. Tais defeitos podem diminuir a energia gerada pelo sistema, além de diminuir a vida útil do próprio módulo FV ou ainda colocar em risco todo o sistema fotovoltaico.

Buscando sanar isso é possível fazer inspeção realizando aos sistemas fotovoltaicos independentemente do tempo de implementação. As falhas apresentadas em alguns sistemas FV podem simbolizar uma redução anual de geração de 18,9%, isso faz com que seja necessário desenvolver análises mais específicas de tensão, corrente e potência de saída dos sistemas fotovoltaicos [3].

As análises de falhas e defeitos de sistemas fotovoltaicos são bem recentes e vem ganhando mais notoriedade após a implementação a nível comercial atingiu proporções maiores. Pesquisadores internacionais da universidade de Huddersfield [11], realizaram análise de degradação de módulos durante uma década localizados no reino unido e Austrália utilizando a técnica de degradação de ano a ano. Obtendo a partir disso taxas de degradações que variaram de -1,16% ao ano no reino unido e -1,35% de degradação nos sistemas localizados na Austrália. Além de verificar que devido as variações de temperatura na Austrália, a atuação dos diodos de by-pass é muito frequente, ocasionando danos aos módulos e evidenciando mais o surgimento de *hotspots* que em relação ao reino unido [11].

Dhimish e Bradan [12] apresentaram um estudo de defeitos e degradações em sistemas FV no reino unido através de aero termografia e eletroluminescência. A pesquisa demonstrou que ao ser analisado um sistema de mais de 3 milhões de módulos fotovoltaicos, obteve um percentual de 36,6% de módulos defeituoso por análise termográfica, além de mais 900 mil módulos contendo um ou mais *hotspots*.

Portanto, o objetivo do trabalho é averiguar defeitos e degradações em sistemas fotovoltaicos através de termografia e inspeção visual, em três usinas fotovoltaicas localizadas no município de Caicó/RN e identificar quais são os principais problemas encontrados nesta região. O trabalho será feito através da análise de ocorrência de defeitos e degradação em sistemas fotovoltaicos, identificação dos tipos de defeitos e degradações em sistemas fotovoltaicos, e dos principais problemas encontrados na região de Caicó/RN.

Este estudo está estruturado em 4 seções. Na primeira seção está a introdução, contendo análise geral do tema abordado, estudos específicos na área da pesquisa e caracterização de elementos estudados. A seção 2 está a metodologia que informa o método de avaliação em que a pesquisa se baseou. E, por fim, a conclusão que faz referência aos resultados encontrados e uma análise geral deste artigo.

2. Faltas em Sistemas Fotovoltaicos

Os defeitos que podem ocorrer na geração dos sistemas fotovoltaicos, em foco aos módulos, podem ser variados e ocorrer em simultâneo. Qualquer situação que possa variar a potência de saída dos módulos pode ser caracterizada como um defeito, podendo ser classificados como temporários ou permanentes [3]. A relevância da identificação de defeitos presentes nos sistemas FV servem para preservar futuros problemas que possam ser desencadeados a partir de um defeito inicial, desta forma o ajuste corretivo pode ser realizado enquanto o problema está em sua etapa de defeito temporário e manter os sistemas com características de operação e geração que foram projetados para funcionar.

2.1. Sombreamento

Um dos principais defeitos apresentados nos sistemas fotovoltaicos é a aparição de sombreamento sobre as células dos módulos fotovoltaicos. Quando ocorre, o sombreamento sobre a célula, ela atua como uma carga, dissipando assim uma corrente de entrada. Se a célula não absorver a iluminação solar irradiada do sol, pode vir a desencadear os pontos quentes. A influência do sombreamento sobre uma célula em que está sendo sombreada e uma outra célula em seu estado normal pode ser exemplificada de acordo com a Figura 1.

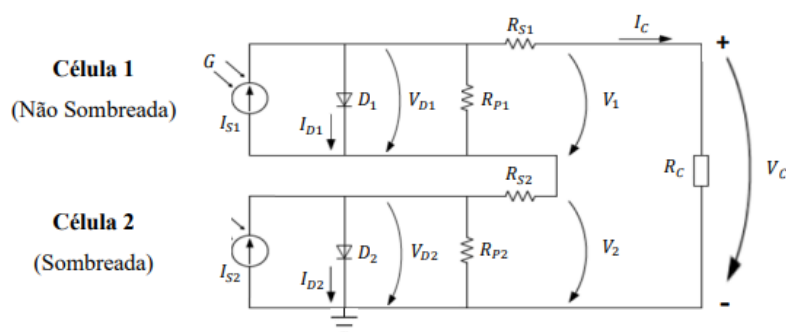


FIGURA 1. ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE UMA CÉLULA NÃO SOMBREADA COM UMA CÉLULA SOMBREADA [9]

Analisando a Figura 1, ao acontecer o sombreamento sobre uma célula, ela tende a gerar uma corrente correspondente a I_c , que tem valor diferente da corrente do restante das células não sombreadas. No entanto a associação em série das células faz com que o conjunto de células sombreadas operem de forma reversamente polarizada, obrigando a corrente das células sombreadas ser igual a corrente nas células completamente iluminadas. Ou seja, se caso a célula estiver totalmente sombreada a corrente que passa por ela será nula [9]. A ocorrência do sombreamento parcial atinge diretamente a energia gerada pelo módulo FV devido as perdas

oriundas das células sombreadas [4]. Isso faz com que ocorra uma queda de tensão em V_c ignorando o resistor R_c . No acontecimento deste fenômeno se faz necessário a ação dos diodos de *bypass*. Tais dispositivos estão instalados nas caixas de junção dos módulos FV com o objetivo de mitigar o efeito causado pelo sombreamento parcial.

Os diodos são conectados de forma antiparalela entre a uma cadeia de células, e fará com que o fluxo de corrente encontre um caminho de desvio das células comprometidas. Em caso da remoção do sombreamento a célula sai do seu estado temporário defeituosa e retorna para o estado de polarização normal, voltando o diodo para o estado de polarização invertida. No entanto a utilização do diodo faz com que ocorra uma queda de tensão e consuma parte da energia da geração do módulo, afetando a potência total de geração estimada [10].

2.2. Deposição de sujeira

Quanto maior a irradiância captada pelos módulos FV maior será a potência gerada. Em casos em que os painéis podem apresentar uma camada encrostada de sujeira, a geração tende a reduzir. Isso pode ser ocasionado por camadas de poeira, folhas de árvores, pequenos fragmentos de pedra acumulada devido a exposição a atmosfera e até mesmo a excreções derivadas de animais voadores.

O efeito da poeira tende a variar as características da curva de corrente e tensão dos módulos, dependendo essa da espessura da camada que se aglomera sobre os painéis. O estudo realizado por Soleimami *et al.* [13], conclui que em alguns casos a camada de sujeira pode reduzir em até mesmo 60% a geração do sistema. Entretanto quando há as manutenções periódicas da limpeza dos módulos FV, este problema pode ser restaurado, não ocasionando uma falta permanente ao módulo [5].

Outro fator que faz com que ocorra o acúmulo de sujeira sobre os módulos é a necessidade de inclinação de instalação para uma maior incidência da radiação é importante ressaltar que nos casos dos sistemas FV instalados no estado do Rio Grande do Norte as normas vigentes determina uma inclinação de 15° [14].

2.3. Degradação dos Módulos

Os painéis fotovoltaicos estão submetidos a variações climáticas decorrentes da temperatura local. Este tipo de exposição pode levar o módulo FV ao desgaste do tipo dilatação do material e, consequentemente, ocasionar alguns problemas ao sistema FV. Desgastes devido à má instalação estão sujeitos de danos permanentes ao módulo. Entretanto o envelhecimento do material é cabível de surgimentos de mais falhas que podem vir a se tornar permanentes como pontos quentes e mismatch [6].

2.4. Hotspots

A identificação de um *hotspot* a olho nu é imperceptível, no entanto é um tipo de defeito recorrente e que diz muito sobre o funcionamento de um módulo fotovoltaico. Os fatores que comprovam o surgimento de um *hotspot* são diversos. Porém quando ocorrem, provocam uma inversão da polarização das correntes elétricas geradas nas células [7]. Devido a isso a célula FV pode superaquecer, e no caso de não atuar proteção, a falha do *hotspot* surge, e em casos extremos para se torna um dano permanente ao módulo FV [1], a temperatura de um ponto de aquecimento se destaca em relação a temperatura das outras áreas do módulo.

O superaquecimento ocasionado na célula pode atingir temperaturas muito elevadas quando a tensão inversa da célula atinge o valor de ruptura. Quando a temperatura do *hotspot* atinge proporções extremas é possível presenciar os efeitos apresentados na Tabela 1

Temperatura	Efeitos provocados na Célula FV em ponto quente	Consequências para o Módulo FV
< 150 °C	Sem defeitos visuais	Desempenho normal
≥ 150 °C	Fusão do material de encapsulamento (EVA)	Delaminação e redução do material condutor térmico
≥ 170 °C	Descoloração da <i>Backsheet</i>	Mitigação do efeito de isolamento elétrico do módulo FV
≥ 200 °C	Destruição permanente da junção P-N	Perda de desempenho do módulo FV quando está em normais condições de funcionamento sem sombreamento

TABELA 1. Efeitos provocados pelo aumento da temperatura do ponto quente [7]

A Tabela 1 demonstra que, ao serem atingidos valores superiores a 150°C, é possível observar a degradação física do material do módulo FV, e em casos de temperaturas iguais ou superiores a 200°, este dano se caracteriza como permanente.

Como forma de prevenção de proteção dos módulos para os *hotspots* existem os diodos de by-pass, que impede o aparecimento de tensões inversas elevadas. O diodo é instalado de forma a não conduzir corrente quando a célula está em condições normais de funcionamento. Quando operando, o diodo de by-pass pode criar vários pontos máximo de potência nos módulos, isso dificulta o rastreamento do ponto de máxima potência global, [10].

O estudo a ocorrência de falhas em módulos fotovoltaicos permitiu o desenvolvimento da pesquisa cuja metodologia é discutida na Seção 3.

3. METODOLOGIA

As análises realizadas ocorreram em três sistemas fotovoltaicos. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram realizadas visitas técnicas para inspeção e avaliação de possíveis defeitos serem por meio de investigação visual e termográfica dos sistemas. A inspeção seguiu o fluxograma ilustrado da Figura 2 e buscou problemas físicos em todos os componentes do sistema, com maior ênfase nos módulos. Os defeitos avaliados foram: a condição de dilatação dos módulos, deposição de sujeira na superfície dos módulos, sombreamentos, pontos de aquecimento dos módulos, cabeamento e inversores, possíveis danos imperceptíveis a olho nu nos inversores e disjuntores.

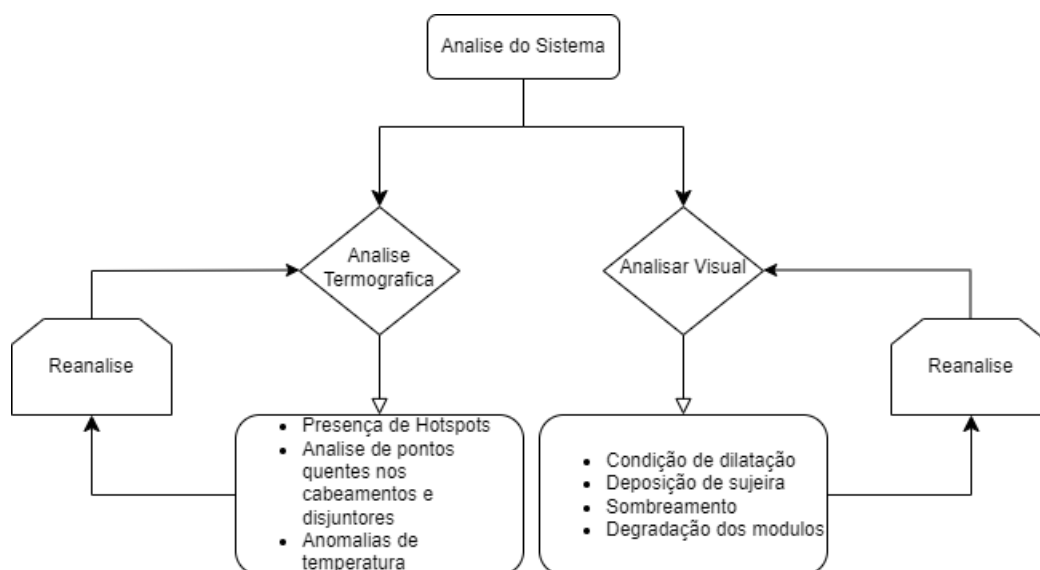


FIGURA 2. Metodologia de análise dos sistemas FV

Obedecendo esses parâmetros, esta configuração de análise se estendeu para todos os sistemas FV inspecionados.

As inspeções termográficas para verificação de *hotspots* são imperceptíveis ao olho nu, pois exige uma identificação de espectro infravermelho emitido pela temperatura dos módulos, com isso o estudo foi amparado pela câmera térmica Flir TG167. Este equipamento age com a tecnologia MSX (*Multi - Spectral Dynamic Imaging*) que adiciona detalhes de luz visível as imagens térmicas em tempo real deixando a imagem com maior nitidez [8]. Na Figura 3 é possível observar os detalhes de layout da câmera com os indicativos do que é demonstrado na tela, como o espectro de cor de temperaturas da área de captura, a temperatura em °C do local apontado na mira, além do horário e carga do equipamento e a emissividade.

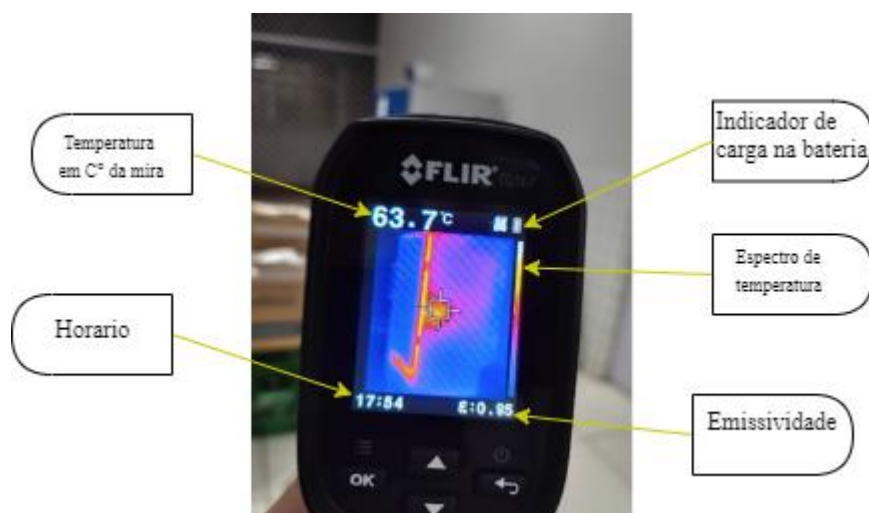


FIGURA 3. Câmera Termográfica Flir TG167

3.1 Caracterização dos Sistemas Fotovoltaicos Estudados

Os sistemas possuem especificações e características distintas no que se refere a tempo de operação, potencial de geração, local de instalação, estrutura de instalação e componentes do sistema como mostrado na Tabela 2.

Características técnicas dos sistemas estudados	
Sistema FV 1	4,4 kWp
	Telhado cerâmico colonial
	15 Meses de operação
	Zona Urbana
Sistema FV 2	41,58 kWp
	Estrutura metálica de solo
	17 Meses de operação
	Zona Rural
Sistema FV 3	5,94 kWp
	Estrutura de solo
	108 Meses de operação
	Zona Urbana

TABELA 2. Características técnicas dos sistemas estudados

3.1.1 Características do Sistema FV 1

Esta usina possui 15 meses de operação, está localizada em uma região central e alta da cidade de Caicó. O sistema ilustrado na Figura 4 foi projetado para produzir em média de 600 kWh por mês, está conectado a rede de distribuição da COSERN e é composto por 10 módulos de 440 W_p de potência. O modulo utilizado é do fabricante AE Solar. O Inversor do sistema é de 5 kW de potência e é fornecido pelo fabricante Deye. As análises foram realizadas a partir de inspeção visual, termográfica e comparativa a partir dos dados fornecidos pelo inversor.

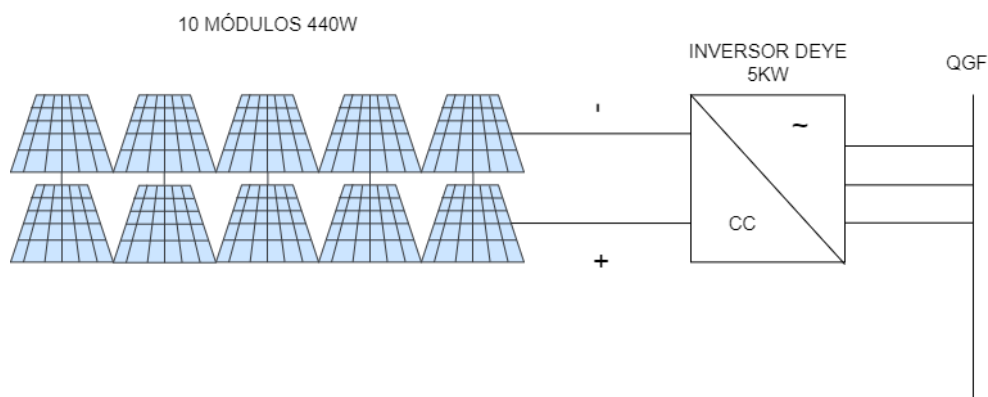


FIGURA 4. Esquema de geração Sistema FV 1

3.1.2 Características do Sistema FV 2

Esta usina é a maior e mais antiga entre os sistemas fotovoltaicos analisados, consequentemente também é o estudo onde é possível observar mais a fundo as evidências de falhas devido a todo o contexto em que se encontra. Em operação desde o ano de 2014, situada na zona rural da cidade de Caicó, mais especificamente em um celeiro de criação de porcos. Este sistema é composto por duas plantas como pode ser observado na Figura 5, onde inicialmente foram instalados uma parte dos módulos, e meses após foi realizado a expansão desta usina. É composto por 66 módulos fotovoltaicos de 270 W_p e 72 módulos de 330W_p do fabricante Trina Solar e Inversores de 12 kW e 15 kW de potência do fabricante da Weg e está conectada à rede de distribuição da COSERN.

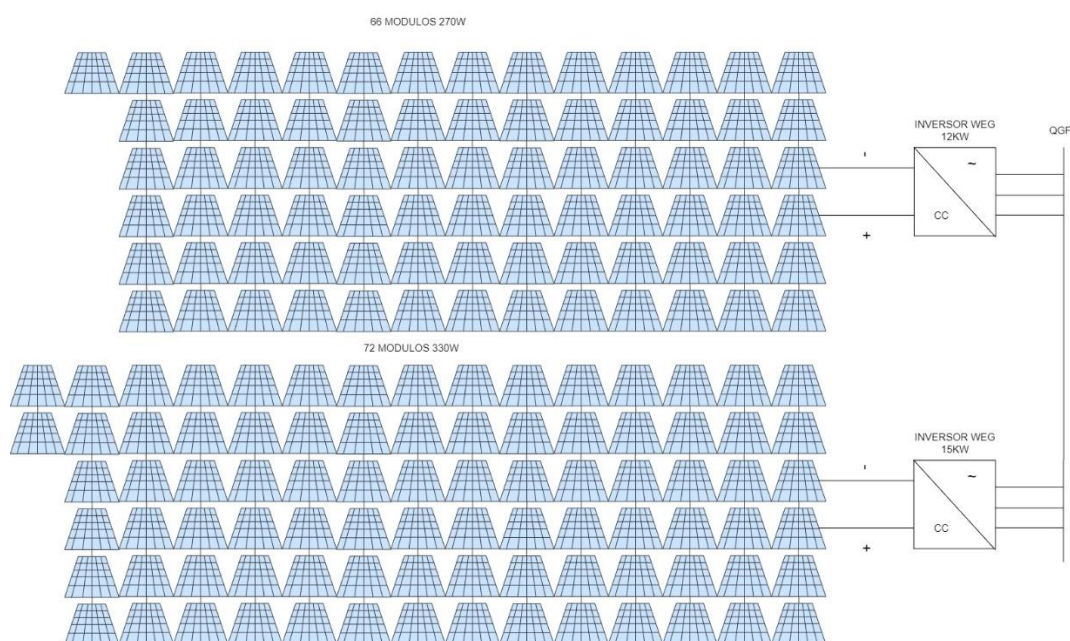


FIGURA 5. Esquema de geração Sistema FV 2

3.1.3 Características do Sistema FV 3

Este sistema FV é uma usina de 5,94 kW_p, que entrou em operação aproximadamente a 18 meses, situada em uma residência em frente a uma das avenidas mais movimentadas do município de Caicó. Analisada e projetada para proporcionar uma geração média de 1000 kWh por mês, e é composto por 18 módulos de 330 W_p de potência instalados no telhado cerâmico colonial da residência. O módulo utilizado é do fabricante Jinko Solar. O inversor do sistema é de 6 kW de potência e é fornecido pelo fabricante Growatt como ilustrado na Figura 6.

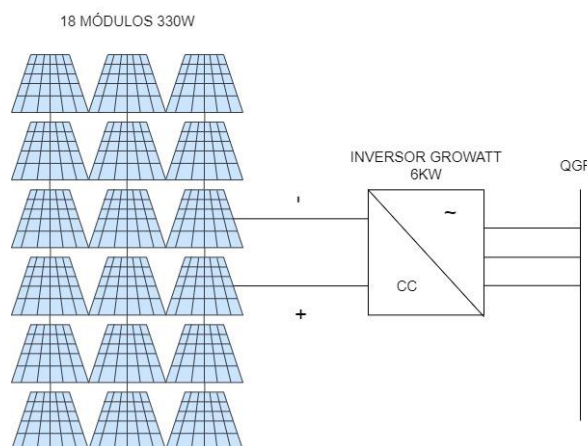


FIGURA 6. Esquema de geração Sistema FV 3.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após realizada a visita para inspeção visual e termográfica nos 3 sistemas FV estudados, foi possível apontar a ocorrência de algumas faltas, discutidas nas Seções 4.1, 4.2 e 4.3.

4.1 Sistema FV 1

Analisando os aspectos físicos, o sistema apresenta boa condição dos módulos, não apresentando riscos, marcas ou até mesmo trincas ao vidro temperado. No entanto foi possível observar pela imagem da Figura 7 uma antena receptora de sinal instalada próximo ao local de instalação dos módulos, ao longo do dia o objeto gera sombreamento parcial nos módulos. O sombreamento parcial afeta a potência gerada pelo sistema e ainda possibilita o surgimento de *hotspots*. Ainda foi observada uma grossa camada de sujeira na superfície dos módulos. O sistema está localizado em uma região de clima semiárido, desta forma a participação das chuvas não é suficiente para garantir a limpeza dos módulos. Vale ressaltar que este sistema está localizado em uma residência de 3 andares, a uma altura de mais de 10 metros em relação ao nível da calçada, o que dificulta a realização da limpeza dos módulos.



FIGURA 7. Vista superior do sistema FV 1.

Em relação a análise termográfica dos módulos, foi possível averiguar que o sistema apresenta alguns *hotspots* como ilustrado pela Figura 8 (a), foi evidenciado os instaladores andando por cima dos painéis e arremessando ferramentas em sua superfície e possivelmente a má preservação dos módulos em sua instalação, no entanto esses fatores não foram motivos causadores desses problemas em específico. O que demonstra uma evidência clara dos pontos quentes é a decorrência do sombreamento parcial provocado pela antena.

Após um espaço de tempo de aproximadamente 30 dias aconteceu uma nova avaliação termográfica ao local dos módulos defeituosos e foi constatado que os *hotspots* encontrados anteriormente desapareceram, isso determina que eram apenas danos temporários, causados provavelmente por algum curto na célula como demonstrado na Figura 8 (b)

A imagem da Figura 8 (a) não está com a mira focalizada no local em específico do ponto quente, mostrando estar com uma temperatura mais amena que a da Figura 8 (b), no entanto é nitidamente possível identificar a existência do hotspot analisando a variação do espectro da temperatura.

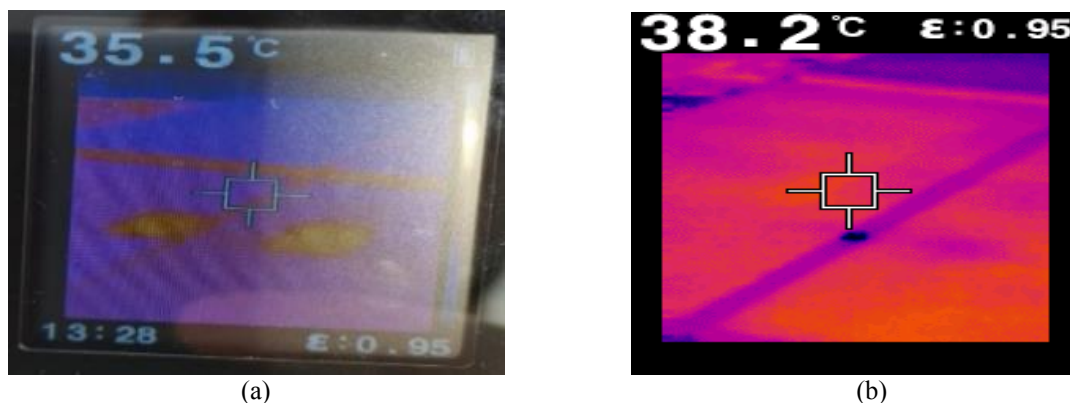


FIGURA 8. (a) Captura de *hotspots* dos módulos a partir da câmera termográfica; (b) Imagem térmica do desaparecimento dos *hotspots*.

4.2 Sistema FV 2

A princípio, em uma breve inspeção visual, foi nítido constatar os danos causados aos anos de instalação em uma zona rural. O sistema fotovoltaico sofre pela falta de manutenção no local onde está instalado. O crescimento da vegetação provoca sombreamento nos módulos como é possível observar na Figura 9. Além disso, ainda pode ser observado uma grande quantidade de sujeira acumulada sobre os painéis.



FIGURA 9. Sistema FV 2

Outro ponto relevante é a deformação que alguns módulos se apresentam. Essa deformação pode ser oriunda da estrutura inadequada ou decorrência do módulo FV ter sido submetido a grandes variações de temperatura, que acarreta em problemas de dilatação do material dos módulos FV. Na Figura 10 é possível observar uma deformação e desalinhamento dos módulos FV se comparados com sua montagem original.



FIGURA 10. Deformação de módulos fotovoltaicos.

Ao realizar a de análise termográfica da usina é possível observar que o sistema apresenta *hotspots* por toda a sua extensão em decorrência de sombreamentos e até mesmo maus cuidados, podendo ter sido ocasionado até mesmo por animais que venham a subir nos painéis. No entanto a evidência mais nítida para o surgimento dos *hotspots* é o sombreamento parcial causado pela vegetação que cresce nos espaços entre os painéis e fazendo com que o sistema venha a perder eficiência em sua geração.

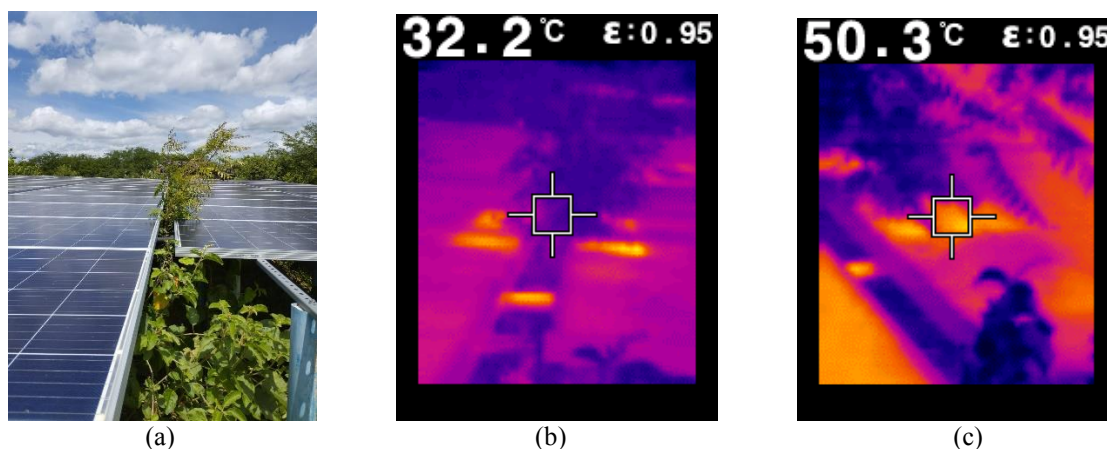


FIGURA 11. (a) Imagem real da vegetação crescente entre os módulos; (b) Imagem térmica do modulo sombreado; (c) Temperatura da célula que sofre o aquecimento.

A temperatura em algumas regiões é de aproximadamente mais de 50 °C como demonstra a Figura 11(c). Em alguns casos estes pontos quentes podem ser temporários, desaparecendo quando o sombreamento parcial é eliminado. Para avaliar se o ponto quente observado neste caso seria temporário ou permanente, a vegetação que causava o sombreamento foi retirada e realizada uma nova análise termográfica, ilustrada na Figura 12.

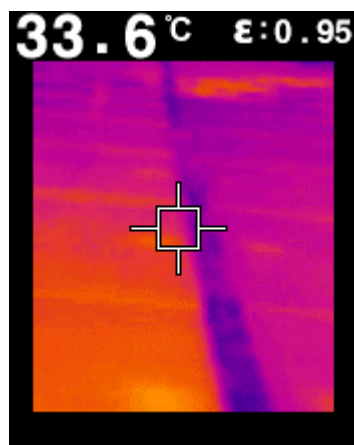


FIGURA 12. Imagem termográfica da célula após a retirada do sombreamento.

Analizando a Figura 12, é possível observar que, com a eliminação do sombreamento parcial, o módulo fotovoltaico não apresentou mais o *hotspot*. Isto comprova que sistemas com defeitos temporários podem ser avaliados e estudados para uma readaptação com fins eliminar defeitos e restabelecer a capacidade de geração de planta.

Ainda realizando as avaliações termográficas em relação ao sistema, foi possível observar um ponto quente no disjuntor localizado no quadro de energia CA conectado ao inversor. Tal problema pode ser desencadeado por uma fuga de corrente, causado por folgas, danos dos componentes de proteção ligados ao inversor e limitação de parâmetros de análise do sistema como exemplificado na Figura 13.

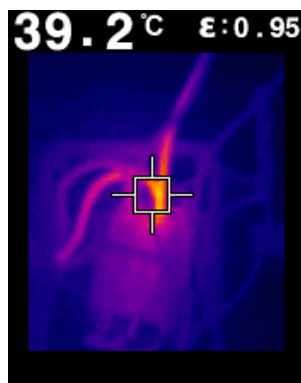


FIGURA 13. Ponto quente do disjuntor conecta ao sistema de geração.

4.3 Sistema FV 3

Em uma primeira visita ao sistema FV 3 para realização da vistoria foi uma boa preservação da condição física dos painéis, não sendo encontrado rachaduras, trincas ou qualquer outra degradação que venha a atrapalhar o potencial de geração. É possível observar uma antena receptora de sinal que poderia afetar o sistema com sombreamento, como ilustrado na Figura 14. Entretanto a projeção da sombra ocasionada pela antena não se desloca em direção da instalação dos painéis. Os módulos não apresentam uma deposição de sujeira devido a periódica manutenção de limpeza preventiva, fazendo com que o sistema apresente uma boa condição de geração.

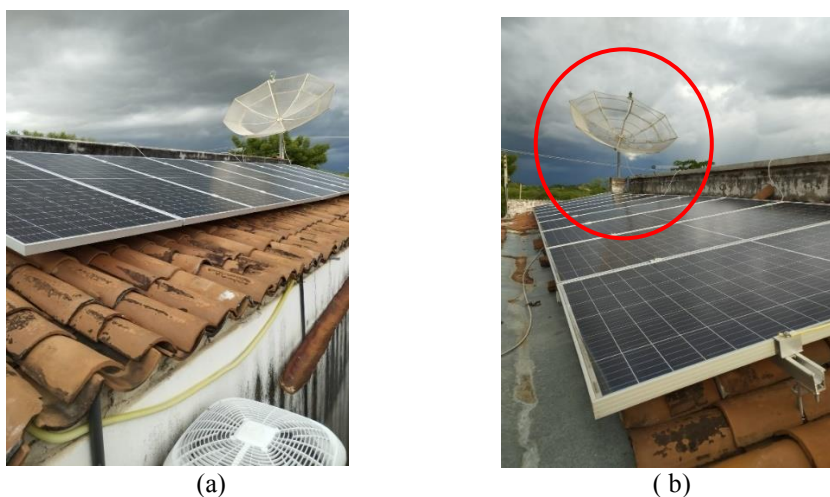


FIGURA 14. (a) Instalação dos módulos para lado a do telhado; (b) Instalação dos módulos para lado b do telhado.

Para análise de pontos quentes foi utilizado a termografia, como demonstrado na figura 15. Em geral, não foram encontrados variações de temperatura ou pontos quentes ao longo da extensão dos módulos FV, demonstrando que a manutenção preventiva do sistema é de total importância para manter uma boa saúde do sistema de geração.

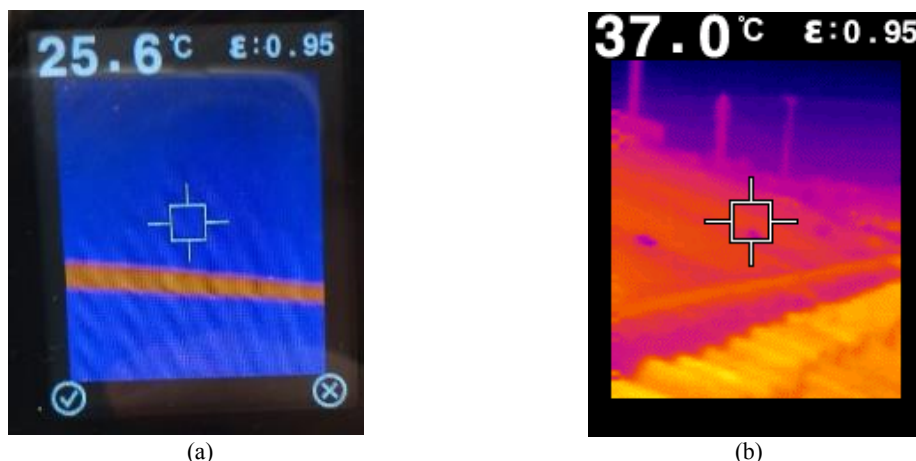


FIGURA 15. (a) Análise termográfica do Sistema FV 3; (b) Captura térmica dos módulos após reanálise

Após um período de 1 mês da primeira visita foi realizado mais uma análise para comprovação dos dados. Neste momento foi identificado uma camada de sujeira sobre os módulos, no entanto não foi identificado o aparecimento de *hotspots* de temperatura nas células. O acúmulo de poeira sobre os módulos, consequentemente ocasionando uma redução de geração total do sistema.

4. CONCLUSÃO

O estudo abordou uma análise de identificação de defeitos e danos para todos os sistemas fotovoltaicos a partir de meios visuais e termográfico, demonstrando quais os tipos de defeitos são mais evidenciados na região de Caicó e suas causas, seja ela sombreamentos, deposição de sujeira, degradação do material ou *hotspots*. Foi observado nas análises e reanálises que em todos os sistemas apresentou um ou mais defeitos que impactaram diretamente na geração de energia do sistema. Os principais defeitos apresentados por todas as plantas estudadas foram em primeiro lugar a deposição de sujeira nos módulos que afeta na geração de energia, seguido pelos *hotspots*, ocasionados por sombreamento ou outra finalidade. Também se verifica que os defeitos temporários existentes podem ser corrigidos facilmente como no caso do sistema da Seção 4.2, ou aparecerem em casos de não manutenção como no caso da deposição de sujeira no sistema apresentado da Seção 4.3.

Além disso é evidenciado no sistema mais antigo defeitos que surgiram no dispositivo de proteção e deformação da estrutura dos módulos, sendo esses defeitos mais distintos dos demais. Considerando os resultados obtidos das análises realizadas é possível afirmar que os sistemas localizados no município de Caicó apresentam defeitos individualistas de cunho estrutural, de localização e planejamento por meio da empresa instaladora. Com isso é possível projetar em um futuro próximo uma prospecção de novos sistemas no município com a necessidade e importância da realização de verificação de diagnóstico detalhado no mercado solar.

REFERÊNCIAS

- [1] R. G. Vieira, Aplicação de Técnicas de Inteligência Artificial para Identificação de Falhas em Módulos Fotovoltaicos, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.
- [2] IEA, Review on Failures of Photovoltaic Modules, Brussels, 2013. [Online]. Available: http://iea-pvps.org/fileadmin/dam/intranet/ExCo/IEAPVPS_T1301_2014_Review_of_Failures_of_Photovoltaic_Modules_Final.pdf.
- [3] N. Ghaffarzadeh and A. Azadian, A Comprehensive Review and Performance Evaluation in Solar (PV) Systems Fault Classification and Fault Detection Techniques, Journal of Solar Energy Research, vol. 4, no. 4, pp. 252272, 2019.
- [4] Lopes, Ricardo Jorge Cabral. “EFEITO DO SOMBREAMENTO NOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS”, 2013.
- [5] ADINOYI, M. J.; SAID, S. A. M. Effect of dust accumulation on the power outputs of solar photovoltaic modules. Renewable Energy, v. 60, p. 633–636, 2013.

- [6] KUX, Erika da Rocha Andrade et al. Análise Estrutural dos Esforços Sofridos por um módulo fotovoltaico submetido à velocidade média real do vento em Belo Horizonte usando o Método dos Elementos Finitos. Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia, v. 2, n. 23, p. 165-177, 2016.
- [7] URBANETZ, Isabela Valpecovski. Diagnóstico de falhas em módulos fotovoltaicos. 2021. Tese de Doutorado. Instituto Politecnico de Braganca (Portugal).
- [8] “Câmera termográfica FLIR TG165-X MSX®; | Teledyne FLIR”. Acesso em: 1º de outubro de 2023. [Online]. Disponível em: <https://www.flir.com.br/products/tg165-x?vertical=condition+monitoring&segment=solutions>.
- [9] “Dissertação.pdf”. Acesso em 1º de outubro de 2023. <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/6746/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>.
- [10] VIEIRA, Romênia G. et al. Uma revisão abrangente sobre a aplicação de diodos de bypass em módulos fotovoltaicos. Energias, v. 13, n. 10, pág. 2472, 2020.
- [11] DHIMISH, Mahmoud; ALRASHIDI, Abdullah. Taxa de degradação fotovoltaica afetada por diferentes condições climáticas: um estudo de caso baseado em sistemas fotovoltaicos no Reino Unido e na Austrália. Eletrônica, v. 4, pág. 650, 2020.
- [12] DHIMISH, Mahmoud; BADRAN, Ghadeer. Investigating defects and annual degradation in UK solar PV installations through thermographic and electroluminescent surveys. npj Materials Degradation, v. 7, n. 1, p. 14, 2023.
- [13] Asl-Soleimani, E, S Farhangi, e M.S Zabihi. “The Effect of Tilt Angle, Air Pollution on Performance of Photovoltaic Systems in Tehran”. Renewable Energy 24, no 3–4 (novembro de 2001): 459–68. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(01\)00029-5](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(01)00029-5).
- [14] admin. “INCLINAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS: ENTENDA”. Energy Brasil Solar (blog), 17 de dezembro de 2021. <https://energybrasilsolar.com.br/novo/2021/12/17/inclinacao-dos-paineis-fotovoltaicos/>.