



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS IV-POLO SOUSA-PB  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E AGRÁRIAS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**RENATA SUELE MAIA PEREIRA CAVALCANTE**

**ANÁLISE DAS PRINCIPAIS FALHAS EM SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO  
DISTRIBUÍDA NO ALTO SERTÃO DO NORDESTE: UM ESTUDO DE CASO**

**SOUSA/PB  
2024**

RENATA SUELE MAIA PEREIRA CAVALCANTE

**ANÁLISE DAS PRINCIPAIS FALHAS EM SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO  
DISTRIBUÍDA NO ALTO SERTÃO DO NORDESTE: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Tecnologia em Energias Renováveis da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção de nota de disciplina TCC 2.

**Área de concentração:** Energia Solar Fotovoltaica

**Orientador:** Prof. Esp. Anderson Alberto Pinto Torres

**SOUSA/PB  
2024**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

C377a Cavalcante, Renata Suele Maia Pereira.  
Análise das principais falhas em sistemas de microgeração distribuída no alto sertão do nordeste [manuscrito] : um estudo de caso / Renata Suele Maia Pereira Cavalcante. - 2024.  
31 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Energias Renováveis) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Humanas e Agrárias, 2024.

"Orientação : Prof. Esp. Anderson Alberto Pinto Torres, Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Energias Renováveis - CCHA. "

1. Energia Solar Fotovoltaica. 2. Geração distribuída. 3. Falhas. I. Título

21. ed. CDD 621.47

RENATA SUELE MAIA PEREIRA CAVALCANTE

ANÁLISE DAS PRINCIPAIS FALHAS EM SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO  
DISTRIBUÍDA NO ALTO SERTÃO DO NORDESTE: UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Programa de Graduação em Tecnologia em  
Energias Renováveis da Universidade  
Estadual da Paraíba, como requisito à  
obtenção de nota de disciplina TCC 2.  
Área de concentração: Energia Solar  
Fotovoltaica

Aprovado em: 19 de junho de 2024

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Esp. Anderson Alberto Pinto Torres (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Prof. Ma. Gabrielly de Lucena Tiburtino  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Prof. Me. Thomas Tadeu de Oliveira Pereira  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho ao Deus vivo que habita minha vida e me inspira e me carrega todos os dias em busca dos meus sonhos. Aos meus Pais que sempre foram os ombros em que me apoiei para enxergar mais alto. As minhas filhas, por quem trabalho incansavelmente almejando não apenas um futuro melhor, mas em ser uma pessoa melhor. Ao meu esposo que esteve comigo em cada passo, ao longo desses 21 anos, me ajudando, apoiando e crescendo junto comigo. Aos meus mestres inspiradores; A meu orientador, professores e a todos os meus colegas que trilharam juntos comigo este curso até o fim, assim como áqueles que ficaram pelo caminho e que por algum motivo não puderam prosseguir . A todos, meus sinseros agradecimentos.

## RESUMO

A demanda por energias no Brasil e no mundo vem crescendo conforme as tecnologias vem invadindo a globalização. Neste cenário nasceu a necessidade de tornar sustentável os processos de geração de energia afim de garantir a sociedade a permanência deste recurso. A energia solar fotovoltaica vem crescendo vertiginosamente e com essa ascensão também vem nascendo um novo nicho de mercado que é análise e manutenção dos sistemas fotovoltaicos, deste modo este estudo visa analisar as principais falhas encontradas em sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede e assim confrontar com a literatura vigente buscando conhecer a realidade vivida no nordeste. Como método, utilizou-se a pesquisa documental extraída de banco de dados de uma empresa comercializadora de sistemas solares localizada no alto sertão Paraibano, contando com uma amostragem de 397 usinas instaladas e funcionando por um período mínimo de 1 ano. Excluíram-se usinas públicas assim como as que já tiveram intervenção de outra empresa e com tempo de operação inferior a um ano. Como resultado pode-se perceber que as falhas encontradas basicamente são referentes a diminuição de geração ocasionadas por sujidades, sombreamentos, ativação de sistema de proteção e falta de conexão com a internet, situação também muito descritas na literatura vigente. Em pequenas proporções foram vistas falhas por defeitos de fabricação e quebra de equipamentos no transporte. Em confronto literário, percebe-se um cenário análogo mostrando sistemas operantes e com falhas solucionáveis em tempo hábil o que mostra um tempo de operacionalização satisfatório e boa performance.

**Palavras – Chave:** Energia Solar Fotovoltaica; Geração Distribuída; Falhas.

## **ABSTRACT**

The demand for energy in Brazil and around the world has been growing as technologies invade globalization. In this scenario, the need to make energy generation processes sustainable was born in order to guarantee society the permanence of this resource. Photovoltaic solar energy has been growing rapidly and with this rise a new market niche has also been born, which is the analysis and maintenance of photovoltaic systems. Therefore, this study aims to analyze the main failures found in solar photovoltaic systems connected to the grid and thus confront the current literature seeking to understand the reality experienced in the northeast. As a method, documentary research was used, extracted from the database of a company that sells solar systems located in the high backlands of Paraibano, with a sample of 397 plants installed and operating for a minimum period of 1 year. Public plants were excluded, as well as those that had already had intervention from another company and with an operating time of less than one year. As a result, it can be seen that the faults found basically refer to the reduction in generation caused by dirt, shadows, activation of the protection system and lack of internet connection, a situation also widely described in current literature. In small proportions, failures were seen due to manufacturing defects and equipment breakdown during transport. In a literary comparison, an analogous scenario can be seen showing operating systems with faults that can be resolved in a timely manner, which shows a satisfactory operational time and good performance.

**Keywords:** Photovoltaic Solar Energy; distributed generation; Failures.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Boletim Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente contínua
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GD	Geração Distribuída
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
KW	Kilo Watts
MME	Ministério de Minas e Energia
MPPT	Maximum Power Point Tracking (Ponto de Máxima Potência)
MW	Mega Watts
PB	Paraíba
RN	Rio Grande do Norte
SIGA	Sistema de Informação de Geração da ANEEL

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> -	Caracterização da Amostra.....	22
<b>Figura 2</b> -	Localização das Unidades Geradoras.....	23
<b>Figura 3</b> -	Falhas na capacidade do sistema.....	25

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 -</b>	Levantamento de Falhas e Causas.....	18
<b>Quadro 2-</b>	Falhas na literatura x Falhas Pesquisa.....	26

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Falhas em Módulos Fotovoltaicos .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Falhas Relacionadas a Inversores e Sistema de Proteção.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3</b>	<b>Principais Tipos de Falhas Encontrados em Sistemas Fotovoltaicos.....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>22</b>
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>27</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>28</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A demanda por energia elétrica vem aumentando em todo o mundo. O crescimento vertiginoso das tecnologias e automações exige um potencial aumento de recursos energéticos que acompanhem todo esse novo cenário. No Brasil, o consumo de eletricidade na rede foi de 459 TWh em 2016 e estima-se que será de 654 TWh em 2026, o que representa uma taxa de crescimento médio anual de 3,6% (Ministério de Minas e Energia, 2017).

Embora a matriz energética Brasileira, divergindo do resto do mundo, seja predominantemente renovável, nota-se uma predominância na fonte hidrelétrica. Quando se fala em matriz elétrica no cenário Brasileiro, mantém-se a predominância de fontes renováveis ainda em maiores percentuais chegando a 82,9% de fontes renováveis contra apenas 17,1% de fontes não renováveis (Empresa de Pesquisa Energética, 2022).

Ainda segundo os mesmos autores, das fontes renováveis, a que mais cresce no Brasil é a fonte eólica, praticamente em uma velocidade duas vezes superior a solar, mesmo com clima bastante propício a geração fotovoltaica, porém deve-se salientar que a produção de energia eólica sempre acontece em grandes proporções em comparação a energia solar que cresce bastante em geração distribuída no nosso País.

A capacidade instalada no Brasil (centralizada + Geração Distribuída GD) é de 206.871 MW, sendo a solar fotovoltaica responsável por 11,8% deste total, o que a coloca como a segunda maior fonte renovável no país, atrás apenas da fonte hídrica (ANEEL/SIGA, 2023; ANEEL/Geração GD, 2023).

Em setembro de 2016, após a assinatura do processo de retificação do acordo de Paris e o compromisso de aumentar a participação de bioenergia na matriz energética sustentável, a energia solar vem sendo vista como forte alternativa tendo em vista o seu alto potencial de produção devido ao clima e assim vem surgindo incentivos financeiros que impulsionam a aquisição de sistemas solares fotovoltaicos (Brasil, 2016; Timilsina *et al.*, 2012).

O sol que castiga o nordeste também representa uma grande oportunidade para o destaque em produção de energia renovável. Em diversos meios de comunicações nacionais a Paraíba já foi destaque em matérias com tema cidades solares confrontando o seu pequeno tamanho com seu grande potencial em geração. Sousa, uma cidade que representa apenas 10% da população da capital (70 mil habitantes) é responsável por gerar 2,5 vezes mais energia que a capital João Pessoa, tendo também sido pioneira com a primeira suina solar do estado (Bio3, 2021).

Com esse crescimento vertiginoso em pouco mais de uma década vem surgindo também

novos mercados e novas indagações quanto ao funcionamento, eficiência energética, problemas relacionados ao uso ou mal uso, instalações, garantias. Os sistemas solares conectados à rede são produtos de grande vida útil e com poucas probabilidades de danos, mas será que na prática a teoria se confirma?

No intuito de responder essa indagação realizou-se um estudo documental visando analisar usinas já instaladas observando seu percentual de falhas e suas causas, assim como a resolutividade desses problemas em tempo hábil. Para alcance dos objetivos serão utilizados registros de falhas e danos de uma empresa comercializadora de sistema solar no alto sertão Paraibano.

A posteriori, os dados e informações coletadas serão confrontadas a luz da literatura vigente para que assim se consiga inferir se o cenário Brasileiro também se reflete no sertão nordestino ou se existe alguma peculiaridade nesta região.

Também será possível avaliar se as informações fornecidas pelos fabricantes são fidedignas e o suporte ofertado é satisfatório tendo em vista a grande distância dos centros de distribuição.

## **2 OBEJTIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

- Analisar através da plataforma de monitoramento, principais falhas existente em sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede;

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Extrair da plataforma fatores que diminuam a performace das usinas;
- Identificar o quantitativo de usinas nas quais algum componente apresente defeito de fábrica no momento da instalação;
- Estimar o tempo de pausa de geração devido à tais problemas.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

A energia solar fotovoltaica surge em um cenário onde a crescente demanda por energia elétrica exige um modelo mais sustentável e potencialmente renovável. Embora seja justo afirmar todas as vantagens deste tipo de energia, vale salientar que fatores intrínsecos ao ambiente são decisivos tanto para uma boa geração como também para o pleno funcionamento dos equipamentos (Maia, 2019).

A capacidade de geração de energia elétrica através de módulos fotovoltaicos está intrinsecamente relacionada aos níveis de irradiação de cada país, visto que o nível de irradiação solar determina o quanto de energia elétrica os módulos fotovoltaicos podem gerar.

A temperatura é outro fator importantíssimo para a eficiência do sistema solar fotovoltaico. Diferentemente do que se pensa, altas temperaturas não são benéficas aos módulos fotovoltaicos. Temperaturas mais amenas permitem um melhor funcionamento dessa estrutura tendo em vista que o efeito fotovoltaico está mais ligado a luz do que ao calor propriamente dito (Skoplaki; Palyvos, 2009).

Conforme Mekhilef *et al.*, (2012), massas de ar também podem influenciar na geração assim como sombras e tolerância elétrica. As manutenções quando realizadas de maneira correta estão ligadas a um melhor desempenho do sistema .

As falhas presentes no sistema fotovoltaico podem acontecer em diferentes partes do sistema, seja nos módulos fotovoltaicos, dispositivos elétricos, MPPT (Rastreamento do ponto de máxima potência), inversor etc. Como citamos acima, estas falhas podem ser decorrentes de fatores externos ou internos. Elas também podem ser identificadas como falhas permanentes ou temporárias. Um exemplo de falha permanente seria uma fiação elétrica desconectada e uma falha temporária seria o acúmulo de poeira nos módulos fotovoltaicos (MoraEs; Pontes, 2022).

#### 3.1 Falhas em Módulos Fotovoltaicos

A energia solar fotovoltaica, tal como sugere sua denominação, é a energia elétrica obtida pela conversão da luz solar por meio do efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839 por Alexandre Edmond Becquerel e resume-se no aparecimento de uma corrente elétrica contínua em materiais semicondutores quando expostos à luz (Zaidi, 2018).

Os módulos fotovoltaicos são as estruturas responsáveis pela geração propriamente dita. Por se tratar do equipamento que mais está exposto a intempéries ambientais também se configura como o que mais apresenta falhas durante todo o período de geração que varia de

cada fabricante (Urbanetz, 2019).

Os módulos fotovoltaicos são estruturas influenciadas diretamente pelo clima e temperatura, ou seja, se há pouca luz, há pouca energia, principalmente pelo fato da corrente produzida ser proporcional ao nível de luz incidente. No caso da temperatura, a situação torna-se diferente. A temperatura é inversamente proporcional à geração de energia, ou seja, quando mais quentes os módulos fotovoltaicos, menor será a produção de energia (Lopes, 2020).

Falhas em sistemas de geração de energia elétrica podem ser identificadas através de quedas “anormais” na produção da central. Em relação a sistemas fotovoltaicos, considerando perdas de eficiência em função da temperatura, bem como os efeitos de degradação natural dos módulos, é esperado que o sistema mantenha uma determinada condição ambiental (Kumar ; Kumar, 2017).

Considera-se falha qualquer perda acima de um valor crítico pré determinado. As falhas podem estar relacionadas tanto a defeitos do equipamento, como a erros em instalação quanto agravos ambientais a que os mesmos estão expostos (Durand; Bowling, 1993).

Perruci, *et al.* (2022), em seu estudo acerca de falhas, analisando uma central solar fotovoltaica em Petrolina - PE, relataram poucas falhas referentes aos módulos fotovoltaicos, algumas citações referenciando problemas quanto a irradiância, sombreamentos e temperatura dos módulos interferindo na potencia do sistema.

A grande maioria dos fabricantes oferecem uma garantia em módulos fotovoltaicos para defeitos de fábrica de 10 a 12 anos e 25 anos para garantia de geração, respeitando as perdas graduais em função do tempo. As células fotovoltaicas precisam estar íntegras assim como os dispositivos, conectores e cabeamentos rigidamente dimensionados . Falhas nessas estruturas não são consideradas defeitos de fábrica mas sim erros de instalação. Equipamentos instalados com danos em sua estrutura física também podem prejudicar o funcionamento de todo o sistema.

### **3.2 Falhas Relacionadas a Inversores e Sistema de Proteção**

Os inversores constituem-se de equipamento responsável pela conversão da energia gerada em corrente contínua (CC), transformando em senóide, ou seja, corrente alternada (CA). A energia em CA é aquela que alimenta as cargas (Rampinelli; Krezinger; Romero, 2010).

Para Plínio e Galdino (2014), O inversor é um dos equipamentos mais críticos do sistema fotovoltaico, sendo ele o responsável pela inteligência do sistema. Ele é um dispositivo eletrônico responsável pela conversão da C.C em C.A. A energia elétrica em C.C. é proveniente

dos módulos fotovoltaicos. A tensão C.A. de saída deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados as cargas a serem alimentadas. No caso de sistemas conectados à rede elétrica a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede

Neste estudo consideraremos apenas os inversores comutados pela rede, tendo em vista que a análise se destina a sistemas fotovoltaicos on grid. Os inversores comutados pela rede são pontes retificadoras baseados em tiristores e só podem funcionar quando a tensão alternada da rede está presente. Esses inversores operam normalmente com baixo fator de potência e apresentam um alto nível de distorção harmônica em seu sinal de saída. Entretanto são mais baratos que os inversores autocomutados de alta frequência utilizados em sistemas off grid e híbridos (Rampinelli; Krezinger; Romero, 2010).

Existem no mercado inúmeras marcas de inversores, assim como potências, alimentações e entradas. Em análise de estudos anteriores, podemos ver que as falhas encontradas dependem muito dessas variáveis e como elas são agrupadas na composição da amostragem. No geral, as falhas no funcionamento do inversor implicam na perda da geração dos módulos fotovoltaicos, tendo em vista o não aproveitamento desta energia em corrente contínua já que o sistema on grid não possui acumuladores.

Ainda segundo o autor supracitado em seu estudo direcionado a inversores, os principais fatores que culminam em falhas estão relacionados a tensões, fatores de potência e conexões com a internet.

De acordo com os ensaios de equipamentos fotovoltaicos do INMETRO, a eficiência do inversor isolado deverá ser superior a 80% na faixa de operação entre 10 e 50% da potência nominal e igual ou superior a 85% na faixa entre 50 e 100% da potência nominal (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, 2011).

Os sistemas de proteção também podem apresentar falhas que implicam diretamente na perda de geração e normalmente são problemas de simples resolução. Como o próprio nome diz, os sistemas de proteção visam proteger o sistema de danos maiores e mais onerosos.

Para Carmargo (2017), as proteções utilizadas são muito importantes para garantir o funcionamento de maneira segura do sistema instalado. Rotineiramente, para a proteção do lado CC são utilizados disjuntores e dispositivos de proteção contra surto denominados DPS.

Disjuntores são dispositivos de manobra que têm finalidade de interromper o circuito elétrico sobre condições normais, para desligamento proposital, e interromper em condições específicas, como um curto circuito. (Sampaio, 2012).

O DPS é conectado em paralelo com o circuito a ser protegido para proteções em caso de transientes de sobretensão. Essa sobretensão normalmente está relacionada a uma descarga

atmosférica, uma vez que esta causa um surto na rede em um curto espaço de tempo (Schneider, 2015).

É bem comum e usual que estes dispositivos sejam acionados e cumpram sua função de proteger o sistema servindo de alerta para erros que possam estar surgindo. Lopes (2020), cita este tipo de falha, inclusive erros como junção das duas proteções na mesma caixa como existentes e relacionadas a instalações de baixa qualidade.

### **3.3 Principais Tipos de Falhas Encontrados em Sistemas Fotovoltaicos**

O departamento de energia elétrica do Estado do Rio de Janeiro publicou em 2022 um estudo acerca dos principais fatores que influenciam à geração em usinas fotovoltaicas listando os seguintes tipos de agravos que acometem os sistemas solares conectados a rede:

As falhas por incompatibilidade acontecem quando pelo menos um módulo fotovoltaico apresenta parâmetros elétricos diferentes dos demais, podendo ser classificada como falha temporária ou permanente. Classifica-se como temporária no caso de sombreamentos que podem ser revertidos e permanente no caso da degradação dos módulos fotovoltaicos.

As falhas por aterramento está presente quando condutores de transporte de não corrente (como trackers, estrutura dos módulos PV etc.) são expostos a um condutor de transporte de corrente. Essa exposição pode acontecer devido o derretimento de isolamento, corrosão, corte de um fio ou fiação deficiente.

A falha linha a linha é decorrente de curtos não intencionais entre dois potenciais de um arranjo fotovoltaico podendo ocorrer na mesma string ou em strings adjacentes.

Também foram citadas pelos autores falhas chamadas de falhas de arco. Este tipo de falha promove um alto risco de incêndio sendo imperioso a sua detecção e correção. O rompimento de isolamentos e junções presentes no sistema fotovoltaico.

As falhas de diodo podem acontecer em curto ou circuito aberto prejudicando a compensação de perdas e potências e corrente reversa de proteção.

As caixas de junção também são passíveis de falhas, tendo como função proteger as fiações elétricas entre as strings fotovoltaicas e um terminal externo. Neste cenário, falha humana, fixação solta, fiação deficiente, montagem inadequada, corrosão, umidade nos conectores são as principais causas.

Os pontos quentes estão relacionados ao aumento de temperatura e afeta o desempenho e o ciclo de vida dos módulos fotovoltaicos. A reversão da polarização das células afetadas funcionam como uma carga e acabam por consumir a energia gerada.

Lopes (2020), em um trabalho análogo a este estudo, elencou as principais falhas encontradas em sistemas fotovoltaicas conforme tabela abaixo:

**Quadro 1:** Levantamento de Falhas e Causas

<b>CAUSAS</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>
Acúmulo de Sujeira	Quando Instalado em Local de poucas chuvas, com pouca inclinação e com material particulado no ambiente, os módulos podem acabar sujos de pó e de poeira;
Andar Sobre os Módulos	Embora as placas suportem inclusive o granizo, andar sobre elas pode ocasionar danos irreversíveis e provavelmente invisíveis a olho nu.
Arranhão na Parte Trazeira	A falta de cuidado na hora de embalar, transportar ou instalar, poderá causar o rompimento da vedação, resultando na penetração da umidade;
Associação, Inclinação e orientação dos módulos	Em telhados com diferentes orientações, muito recortados, os se os módulos estiverem em direções e inclinações diferentes, ligados em uma mesma entrada de MPPT, haverá uma perda de geração de energia considerável, fazendo com que o MPPT não consiga trabalhar em seu ponto de máxima potência;
Baixa Qualidade das Partes do Sistema	Além da falta de segurança, a baixa qualidade dos equipamentos envolvidos na geração de energia será responsável pela baixa produção.
Baixa Qualidade do Vidro	Pouca resistência a elementos externos;
Condutores	Visto que são elementos sujeitos a grandes intempéries, devem ter proteção UV além de boa isolamento para evitar fulgas de energia;
Corrosão na Caixa de Conexão	A umidade pode vir a danificar as conexões e cabecamentos
Dimensionamento do Inversor	Quando um inversor é conectado a mais painéis que sua capacidade, sua eficiência cai consideravelmente;
Dioso by-pass	É um dispositivo responsável pelo desvio da corrente quando surgem pontos de sombreamento, criando um caminho de menor resistência para a corrente fluir;
Estrutura Inadequada	É preciso que a estrutura seja adequada para aguentar todas as intempéries, degradação ou qualquer problema ao longo dos 25 anos garantidos
Falta de Equipotencialização ou aterramento	Segundo a NBR 5410, todas as partes metálicas como frame de módulos, estruturas de fixação, carcaça de transformadores e do inversor, devem ser equipotencializadas, ou seja, interligadas por condutores de proteção, de modo que não haja diferença de potencial entre elas;
Falta de Monitoramento	Será a forma mais rápida para descobrir problemas no sistema, a falta de acompanhamento causará falta de eficiência;
Falta de Segurança	Conforme NR10 e NR35
Ferramentas Inadequadas	Uso de Ferramentas inadequadas na hora da instalação pode gerar sérios problemas como a isolação do cabeamento precário, fugas de corrente, entre outras;
Fusíveis/Aterramento	São empregados para proteger o sistema, ou parte dele, contra sobre correntes que podem ser resultado de faltas a terra ou de cortrentes de curto circuito em algum equipamento do sistema, principalmente quando se liga strings e subarranjos em paralelo;
Impacto de Objetos	Sejam acidentais ou premeditados
Microfissuras	Pressão Sobre os Painéis, ou tempo de uso geralmente são as causas. Nem sempre são visíveis nem fáceis de encontrar;

Insetos	Tanto nas Placas quanto nas caixas de conexão podem vir a causar curtos-circuitos, pontos quentes, dentre outros;
Moldura Amassada	Poderá ocasionar em perda de insolação, permitindo umidade ou entrada de insetos;
Pontos Quentes	Elevação de Temperatura em determinados pontos, ocasionando a perda da placa solar;
Proteção CC e CA na mesma caixa de junção	Segundo a NBR 5410, os cabos de duas alimentações diferentes não podem compartilhar o mesmo espaço;
Separação das Camadas	A delaminação, causando perdas de isolamento nas partes da placa, permitindo assim a umidade entre as partes;
Soldas	Todas as soldas estão diretamente relacionadas com a eficiência. Pontos quentes podem surgir quando não devidamente feitas;
Sombreamento	A exposição ao Sol está diretamente relacionada à sua eficiência.

**Fonte:** Lopes, 2020

## 4 METODOLOGIA

O presente estudo tratar-se de uma pesquisa documental em banco de dados a qual utiliza plataforma de monitoramento de usinas instaladas e acompanhadas, buscando elencar os principais fatores que diminuem a performance de usinas fotovoltaicas conectadas à rede no nordeste Brasileiro.

A análise documental favorece a observação do processo de maturação ou de evolução de indivíduos, grupos, conceitos, conhecimentos, comportamentos, mentalidades, práticas, entre outros (Cellard, 2008). Para Figueiredo (2007), o documento como fonte de pesquisa pode ser escrito e não escrito, tais como filmes, vídeos, slides, fotografias ou pôsteres e base de dados. Esses documentos são utilizados como fontes de informações, indicações e esclarecimentos que trazem seu conteúdo para elucidar determinadas questões e servir de prova para outras, de acordo com o interesse do pesquisador.

O estudo foi realizado na cidade de Sousa no alto sertão Paraibano, cidade com 67.259 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, 2022) e com uma grande capacidade de geração de energia por fonte fotovoltaica.

A extração dos dados partiu do acesso à plataforma de monitoramento de uma empresa de comercialização e manutenção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, onde todas as informações dos sistemas podem ser retiradas em tempo real ou baseando-se em alguma parcela de tempo.

A amostragem foi composta por todas as usinas cadastradas que se enquadrarem nos seguintes critérios de inclusão: Ter mais de um ano de performance, estar em monitoramento por todo esse período, Ser residencial, industrial ou comercial, estarem corretamente homologadas junto a concessionária de energia e enquadradas na legislação atual ou antiga. Excluem-se usinas com tempo de operação inferior e aquela onde o cliente fez alguma alteração em seu sistema com outra empresa devido a impossibilidade de geração de dados fidedignos. Também não serão computadas usinas de setores públicos.

Após aplicados os critérios de inclusão e exclusão, 397 usinas foram analisadas individualmente e avaliados os principais problemas apresentados no decorrer do seu tempo de funcionamento conforme apresentado nos resultados.

A confiabilidade dos dados é garantida pelo sistema de segurança da plataforma que não permite edição de nenhum dado funcionando de acordo com a real performance das usinas a ela conectada. O sigilo das informações será mantido de forma a não divulgação dos dados dos clientes assim como endereços e valores investidos.

Após a coleta dos dados, foram gerados gráficos e quadros no intuito de melhor visualização das informações. Posteriormente o confronto literário possibilitou a exposição dos resultados possibilitando a discussão dos mesmos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

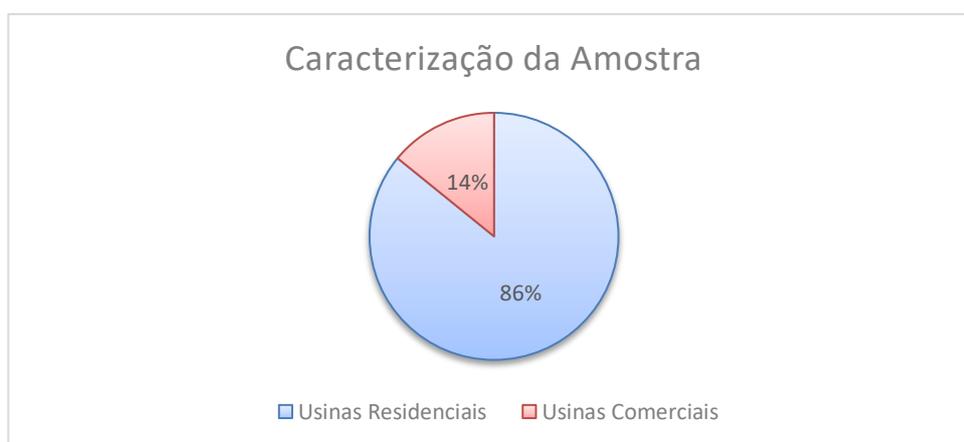
Tendo em vista a necessidade de análise minuciosa das usinas em operação no espaço de tempo proposto e utilizando-se das tecnologias oferecidas na plataforma de monitoramento outrora citada, pode-se observar a performance dos sistemas solares fotovoltaicos instalados, operantes e fora de funcionamento assim como diagnosticar possíveis erros e falhas que minimizam a geração contratada.

A bibliografia expõe uma performance de excelência para sistemas fotovoltaicos conectados à rede, com pouquíssimas falhas e uma ampla garantia que assegura ao cliente baixas perdas e excelente resolutividade.

A realidade vivenciada no que tange os sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede confronta uma gama de equipamentos com tecnologias diversas mostrando performances diferentes e que podem se comportar divergentemente a depender de fatores ligados à instalação, manutenção e operação do sistema.

Analisando as usinas que se enquadraram nos critérios de inclusão propostos, percebe-se que em torno de 86% (341) são sistemas residenciais e apenas 14% (56) comerciais. Não foi encontrados sistemas industriais cadastrados na plataforma, conforme figura 1 abaixo. Todas as usinas tem tempo de operação superior a um ano, porém a média de funcionamento no geral é de 1,8 anos.

**Figura 1-** Caracterização da Amostra



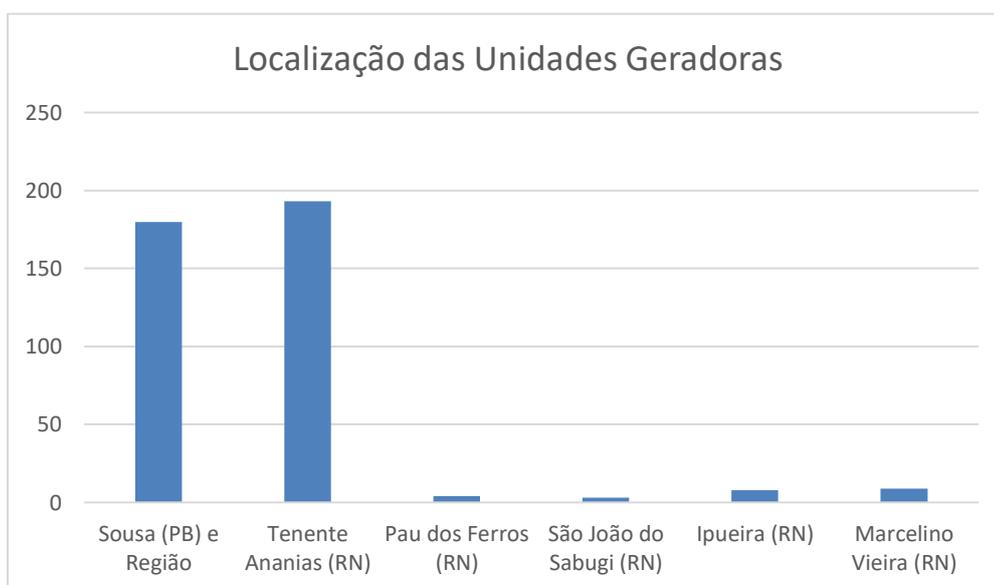
**Fonte:** Autores (2024)

Dados do atlas solarimétricos da Paraíba (PB) evidenciam também usinas residenciais e comerciais como mais prevalentes como geração distribuída, porém não destacam diferenças numéricas importantes entre elas estando praticamente em mesma quantidade. As instalações estão concentradas principalmente nas classes comercial e residencial com 40,9% e 40,8%

respectivamente.

Ainda buscando caracterizar a amostra, optou-se por dividir as usinas pela sua localização geográfica tendo em vista que a irradiância influencia substancialmente na geração e que a mesma varia de acordo com a localização e coordenadas geográficas. As unidades geradoras em sua totalidade estão localizadas nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte (RN), sendo 40% localizadas em Sousa, no alto sertão paraibano e 60% distribuídas no interior norte-rio-grandense. Na capital Paraibana apenas uma usina instalada e nenhuma na capital Potiguar, o que mostra uma predominância no interior do estado conforme gráfico abaixo:

**Figura 2** - Localização das Unidades Geradoras



**Fonte:** Autores (2024)

A predominância na Grande Região de Sousa e o Interior do Rio Grande do Norte é marcante na amostragem selecionada. Segundo o atlas solarimétrico da Paraíba, o estado reúne condições de assumir maior protagonismo na geração de energia elétrica considerando o potencial disponível dos recursos solar. Com relação ao potencial de geração solar fotovoltaica, estudos anteriores mostram que o estado da Paraíba está localizado dentro do cinturão solar (Pereira et al., 2017), apresentando elevados índices de radiação solar fato que gera grande influência no estado. (Agência Nacional de Energia Elétrica/ Boletim Energético Nacional, 2022).

O estado do Rio Grande do Norte há tempos vem se destacando na produção eólica do Brasil. Bastante conhecido pela beleza do seu litoral incrementado com aerogeradores também vem ganhando destaque na produção de energia solar fotovoltaica. Pela sua localização

próximo a linha do equador possui irradiância satisfatória tendo em vista que a linha do equador é a região que mais recebe irradiação solar no globo (Atlas Solar e Eólico do Rio Grande do Norte, 2022).

As duas regiões predominantes no estudo possuem uma excelente localização com altos níveis de geração solar fotovoltaica e possibilitando uma eficiência energética muito satisfatória e rápido *payback* do investimento fato que pode justificar a grande adesão aos sistemas solares fotovoltaicos na região.

Tendo conseguido uma boa caracterização da amostragem selecionada, partiu-se para a análise de falhas propriamente ditas. Ao elencar as principais falhas encontradas nos sistemas operantes, percebe-se que a falta de conexão com a rede é sem dúvida o motivo principal dos chamados cadastrados na plataforma. Embora não se configure como conceito de falha, pois não há a perda de geração acima dos critérios pré-estabelecidos, a perda da conexão com o servidor de internet impossibilita um monitoramento de geração e gera um contato por parte do cliente com a empresa. Neste cenário, 60% (238) dos clientes registraram ocorrência por falha na geração onde na verdade, após análise técnica foi constatado operacionalização satisfatória e dificuldade na transmissão dos dados à plataforma.

Sabe-se que os sistemas de proteção em corrente contínua e alternada evitam danos ao sistema e possibilitam resolução rápida, eficaz e de baixo custo quando instaladas corretamente. Devido à conexão com a rede da concessionária, as tensões que chegam na unidade consumidora podem gerar falhas e desligamentos nos equipamentos. Chamados neste sentido também são comuns e somam até 27% (99) dos sistemas instalados. No momento da homologação, os dados de carga instaladas são compartilhados e muitas vezes solicitado aumento, porém a tensão que vem da rede pode sofrer oscilações que ativam os sistemas de proteção e podem chegar à causar interrupção do funcionamento do sistema em períodos de ponta devido cargas elétricas

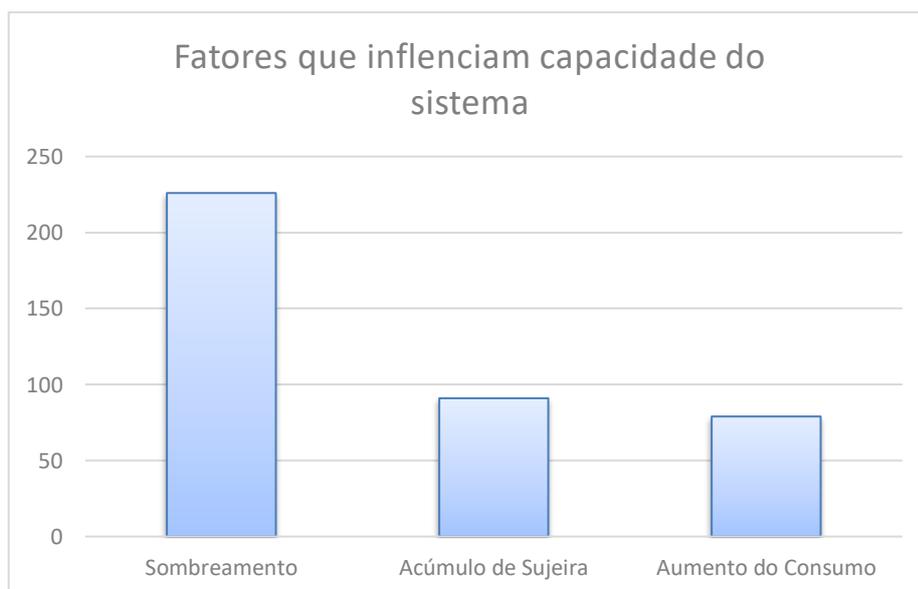
Diagnósticos em falhas em módulos fotovoltaicos são extremamente raros e estão quase sempre relacionados à defeitos de fabricação ou avarias relacionados ao transporte. Em todas as usinas analisadas, menos de 10 unidades de módulos fotovoltaicos apresentaram avarias no momento do recebimento prontamente identificados e substituídos. Este número é irrisório tendo em vista o quantitativo superior a 20 mil módulos recebidos para estes sistemas.

Os pontos quentes ou hot spots em módulos solares também aparecem de maneira tímida e ocorrem quando uma célula do painel opera em temperatura anormal gerando degradação do equipamento. Chen et al. (2019) já descreveu este evento como fator predisponente inclusive a incêndios correlacionando a ocorrência dos mesmo a sombreamentos. Este evento pode ser

percebido normalmente em manutenções ou baixa geração constatada em monitoramento. A análise realizada também encontrou poucas falhas neste sentido, sendo diagnosticados 8 painéis com este problema. Um fato interessante que pode mascarar este problema é que muitas vezes a falta de manutenção esconde este problema assim como a dificuldade que alguns clientes tem em monitoramentos de geração o que pode gerar dados fora da realidade.

O dimensionamento dos sistemas solares fotovoltaicos permite garantir a geração média em um ano. A plataforma analisada recebe os sistemas dimensionados também em plataforma digital *PVsol*® o que permite maior confiabilidade. Além dessa ferramenta é incluído sempre um valor de perda de 20% para garantir a geração que muitas vezes é superior ao contratado. No sentido de falhas referentes a geração inferior podemos identificar problemas não referentes a instalação mas sim a sombreamento por vegetação, acúmulo de sujeira, assim como meses com baixa irradiação e muitas chuvas o que não interfere na média anual. No período analisado 30% (117) dos clientes apresentaram alguma queixa quanto a geração, sendo que deles mais da metade (57%), estava relacionado a acúmulo de sujeira, 23% sombreamentos por vegetação ou alvenaria construída e 20% relacionado a aumento do consumo e diminuição da energia injetada conforme figura 3 a seguir:

**Figura 3 - Falhas na capacidade do sistema**



**Fonte:** Autores (2024)

Os inversores quando comparados aos módulos fotovoltaicos, apresentam maior número de falhas, porém se baseando no quantitativo de 397 (100%) usinas operantes, temos

apenas 5 (1.2%) inversores que apresentaram defeito de fabricação necessitando de substituição e 20 unidades (5%), que apresentaram outros tipos de falhas resolvidas de maneira remota ou relacionadas à parametrização. O tempo de substituição quando necessário é longo, chegando a 2 anos em um dos casos o que pode comprometer substancialmente a geração da usina.

Problemas em estruturas de fixação elevação podem acontecer quando não são bem indicados à estrutura do telhado. Na amostragem estudada apenas 1 sistema solar apresentou defeito em fixação de 1 painel, fato que estava relacionado à deterioração da madeira do telhado o que ocasionou o desprendimento parcial do módulo solar felizmente não causando danos, apenas perda de geração pelo tempo de substituição do mesmo.

A previsibilidade de falhas também é um fator que evita a perda de geração por motivos já conhecidos. A inclinação e posicionamento dos telhados são avaliados visando corrigir ou aumentar a potência do sistema e assim evitar as falhas que geram diminuição da geração contratada. Neste sentido não consideramos falha por apresentar uma solução antes da instalação e tampouco apresentar desvio dos parâmetros esperados.

De maneira geral, percebe-se que os dados consultados em bibliografia existente corroboram com as informações extraídas da plataforma analisada. As falhas comparadas ao número de instalações são pequenas e com pouco prejuízo na geração, porém este fato deve ser visto criteriosamente tendo em vista que o tempo de funcionamento é pequeno quando se compara a garantia de geração do sistema de 25 anos.

A tabela a seguir expõe um confronto literário entre a literatura consultada e a pesquisa documental realizada:

**Quadro 2** -Falhas na literatura x Falhas Pesquisa

<b>AUTOR/ANO</b>	<b>FALHA ABORDADA</b>	<b>PESQUISA DOCUMENTAL</b>	<b>FALHAS ENCONTRADAS</b>
<b>Perruci et. Al (2002)</b>	irradiância, sombreamentos e temperatura	Autores (2024)	Sombreamento Acúmulo de Sujidades
<b>Rampinelli; Krezinger; Romero, (2010)</b>	Tensões, Fatores de potência e Conexões com a internet.	Autores (2024)	Sobretensões, Subtensões, Conexões com a internet
<b>Lopes (2020)</b>	Fusível; Aterramento; Estrutura Inadequada; Equipamento Danificado	Autores (2024)	Sistema de Proteção; Equipamento Danificado; Parametrização.

**Fonte:** Autores (2024)

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a pesquisa realizada, percebe-se um percentual muito baixo de falhas não evitáveis no que tange os sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Trabalha-se com a limitação referente ao tempo, tendo em vista que os sistemas solares tem duração alta e a pesquisa analisou em um curto espaço de tempo.

A bibliografia para consulta é pequena devido ao pouco tempo que os sistema solares ganharam de fato o mercado, desta maneira este estudo vem para complementar este acervo literário onde não foram encontrados estudos que demonstrem a realidade do nordeste Brasileiro.

As falhas encontradas estão intrinsecamente relacionadas a execução, manutenção e monitoramento dos sistemas, fato que justifica um investimento neste nicho de mercado visando garantir a fidelidade dos clientes, boa operacionalização do sistema, performance e acompanhamento.

A questão que se relaciona ao processo de troca de equipamentos danificados ser mostra lento na maioria dos distribuidores, tendo gerado uma indagação como forma de garantir a geração dos clientes frente a essa problemática.

Os serviços de manutenção de equipamentos também se configura entrave nas regiões mais distantes pois dificultam muito a operacionalização de equipamentos fora de garantia. Este cenário pode abrir portas para um novo nicho de mercado em curto prazo assim como gerar discussão para novos estudos buscando melhor operacionalização desta demanda.

Em suma, conseguiu-se através deste estudo, perceber que as demandas em sistema solares conectados a rede são praticamente as mesmas no País. Os equipamentos apresentam majoritariamente falhas de fácil resolução tanto com ações preventivas como correções, fato que garante a manutenção da geração desde que cumprido as recomendações do fabricante.

Fica como incentivo aos pesquisadores o direcionamento de estudos destes mesmos objetivos porém com um tempo maior de análise para verificar a posteriori este comportamento a longo prazo.

## REFERÊNCIAS

BRASIL, MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Brasília: MME/EPE, 2017. Disponível em: <http://https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2026#:~:text=O%20Plano%20Decenal%20de%20Expans%C3%A3o%20de%20Energia%202026,de%20uma%20vis%C3%A3o%20integrada%20para%20os%20diversos%20energ%C3%A9ticos>. Acesso em 23 out. 2023.

BRASIL. Contribuição Nacionalmente Determinada - NDC. **Convenção-quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**, 2016. Disponível em: [http://www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf](http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf). Acesso em: 7 nov. 2023.

BIO3. Na Paraíba, o sol que castiga o sertão é realidade como fonte de energia. **Bio3**. Disponível em: <https://bio3consultoria.com.br/sol-energia-na-paraiba/> Acesso em 18 de jun 2024

CAMARGO, L. T. **Projeto de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Universidade Estadual de Londrina, UEL, PR, 2017, 34. Disponível em: <https://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/493.pdf>. Acesso em 10 de jun. 2024.

CELLARD, ANDRÉ. A análise documental. In: POUPART, JEAN. et al. **A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos**. Petrópolis, Vozes, 2008.

DURAND S., BOWLING, D. Field experience with photovoltaic systems: Ten-year assessment. Final report (No. EPRI-TR-102138). **Electric Power Research Inst.**; Southwest Technology Development Inst., United States. 1993 Disponível em: <https://www.osti.gov/biblio/10173810> Acesso em 13 nov. 2023.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em 04 jun. 2024.

FIGUEIREDO, NÉBIA MARIA ALMEIDA DE. **Método e metodologia na pesquisa científica**. 2a ed. São Caetano do Sul, São Paulo, Yendis Editora, 2007.

GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA. **Atlas Solarimétrico da Paraíba**. João Pessoa – PB.2020. Disponível em: <https://atlassolar.pb.gov.br/atlas-pt/estado-pt.html>. Acesso em 04 jun. 2024.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. **Atlas Solar e Eólico do Rio Grande do Norte**. – Natal : ISI-ER, 2022 . Disponível em:

<https://hwww.sedec.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=298260&ACT=&PAGE=&PARM=&LBL=MAT%C9RIA>. Acesso em 04 jun 2024.

KUMAR, MANISH, KUMAR, ARUR, 2017. Performance assessment and degradation analysis of solar photovoltaic technologies: **A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 78, pp. 554-587. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117305919>. Acesso em 23 nov. 2023.

LOPES, GIOVANNA HAYSSA MOLINARI. **Identificação De Defeitos Em Instalações Fotovoltaicas E Desenvolvimento De Planos De Ação Para Eventuais Manutenções**.

Trabalho de Conclusão de Curso. Monografia. Graduação em Engenharia Elétrica. 2020.52f. Ponta Grossa – PR, 2020. Disponível em:

<https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/26026/1/defeitosinstalacoesfotovoltaicas.pdf>. Acesso em 13 nov 2023.

MAIA, FLÁVIO COUTO TEIXEIRA. **Estudo de modelos e técnicas de detecção e diagnóstico de falhas aplicados a sistemas fotovoltaicos**. Dissertação Mestrado em Energia Elétrica. 2019. 122 f. Universidade Federal de Sergipe, 2019. Disponível em:

[https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/12317/2/FLAVIO\\_COUVO\\_TEIXEIRA\\_MAIA.pdf](https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/12317/2/FLAVIO_COUVO_TEIXEIRA_MAIA.pdf). Acesso em 30 out 2023.

MARQUES, HENRIQUE SILVEIRA ALVES et al. Influencia de pontos quentes na curva característica em módulos fotovoltaicos.. **VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar**. Fortaleza, 01 a 05 de junho de 2020. Disponível em:

[https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/download/825/825#:~:text=O%20ponto%20quente%20ocorre%20quando,et%20al.%2C%202019\).](https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/download/825/825#:~:text=O%20ponto%20quente%20ocorre%20quando,et%20al.%2C%202019).>)> Acesso em 17 mai. 2024

MEKHILEF, SAAD.; SAIDUR, RAHMAN; KAMALISARVESTANI, MASOUD. Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier Ltd, v. 16, n. 5, p. 2920–2925, 2012. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032112001050> Acesso em 12 nov. 2023.

MORAES, CAROLINA VASCONCELOS DA SILVA; PONTES, ISABEL CRISTINA. **Boas Práticas de Operação e Manutenção em Usinas Fotovoltaicas para uma maior eficiência e confiabilidade**. Departamento de engenharia elétrica. TCC. Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em:

<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/60573/60573.PDF> . Acesso em 01 nov. 2023.

PEREIRA, ENIO BUENO et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2a ed. São José dos Campos, INPE. 88p. 2017. Disponível: [https://labren.ccst.inpe.br/atlas\\_2017.html](https://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html). Acesso em 18 de jun. 2024.

PERRUCCI, VALENTIN PASCHOAL et al. Modelagem de comportamento livre de falhas com vistas à detecção de falhas em central solar fotovoltaica localizada em Petrolina – PE *In IX Congresso Brasileiro de Energia Solar*, 2022. **Anais**. Florianópolis -SC. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1220> Acesso em 18 de jun. 2024

RAMPINELLI,GIULIANO ARNS; KREZINGER, ARNO ; ROMERO, FAUSTINO CHENO. Análise de características de inversores para sistemas fotovoltaicas conectadas a rede em função da tensão de entrada. **III Congresso Brasileiro de Energia Solar** - Belém, 21 a 24 de setembro de 2010. Disponível em: [https://nteelsolar.paginas.ufsc.br/files/2020/10/IIICBENS\\_2010.pdf](https://nteelsolar.paginas.ufsc.br/files/2020/10/IIICBENS_2010.pdf). Acesso em 01 nov 2023.

SAMPAIO, ANDRE LAWSON PEDRAL. **Consolidação de Material Didático Para a Disciplina de Equipamentos Elétricos – Disjuntores**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 2012, 10

SCHNEIDER, E. **Electrical Installation Guide**. The Surge Protection Device. Estados Unidos, 2015.

SIGA. **Sistema de Geração de Informação/ ANEEL**, 2023. Disponível em <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>> Acesso em 04 jun 2024.

SKOPLAKI, E.; PALYVOS, J. A. Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations. **Renewable Energy**, v. 34, n. 1, p. 23–29, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148108001353> Acesso em 01 nov. 2023.

TIMILSINA GOVINDA.; KURDGELASHVILI, LADO; NARBEL PATRÍCOI. Solar energy: Markets, economics and policies, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Washington, n. 16, p.449-465, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032111004199>. Acesso em 12 nov. 2023.

URBANETZ, ISABELA VALPECOVISC. **Diagnóstico de Falhas em módulos fotovoltaicos**. Dissertação (Mestrado em energias renováveis e eficiência energética). Universidade Federal Tecnológica do Paraná. Bragança, 2019. Disponível em:< <https://www.proquest.com/openview/39513e2e56b7e1b166adf984f2545caa/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em 361 out 2023.

ZAIDI, BEDDIAF. Solar Panels and Photovoltaic Materials. In: **Solar Panels and Photovoltaic Materials**. .: Intech, 2018. cap. 1. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/6691> Acesso em 13 nov. 2023.