



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

VICTOR FERNANDES CAMARGO

**INCÊNDIOS FOTOVOLTAICOS: QUAIS AS PRINCIPAIS
CAUSAS?**

UBERLÂNDIA

2023

VICTOR FERNANDES CAMARGO

**INCÊNDIOS FOTOVOLTAICOS: QUAIS AS PRINCIPAIS
CAUSAS?**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia - UFU - Campus Santa Mônica, como requisito para a obtenção do título de Graduação em Engenharia Eletricista, sob orientação do Prof. Dr. Gustavo Brito de Lima

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA UFU
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

UBERLÂNDIA

2023

VICTOR FERNANDES CAMARGO

**INCÊNDIOS FOTOVOLTAICOS: QUAIS AS PRINCIPAIS
CAUSAS?**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia - UFU - Campus Santa Mônica, como requisito para a obtenção do título de Graduação em Engenharia Eletricista.

Uberlândia, 06 de fevereiro de 2023

Banca Examinadora:

Gustavo Brito de Lima – Professor Droutor (UFU)

Osmar Felipe Alves Eleodoro – Especialista (UFU)

Vitor Fonseca Barbosa – Mestre (UFU)

UBERLÂNDIA

2023

Camargo, Victor.

Incêndios Fotovoltaicos: Quais as principais causas? /
Victor Fernandes Camargo. – **UBERLÂNDIA, 2023** –
60 p.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Brito de Lima

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de
Uberlândia – UFU Faculdade de Engenharia Elétrica. **2023**.

Energia Fotovoltaica, Incêndios, Normas Brasileiras.

- I. Orientador Prof. Dr. Gustavo Brito de Lima.
- II. Universidade Federal de Uberlândia.
- III. Faculdade de Engenharia Elétrica.
- IV. Engenharia Elétrica.

DEDICATÓRIA

Com muito carinho dedico este trabalho de conclusão de curso e toda a minha graduação à minha filha Isabela, que veio como um presente entre os meus estudos, mas que me fez enxergar toda a vida com outros olhos e buscar sempre alcançar os melhores resultados por mim, por ela e por nossa família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por me dar forças todos os dias, por estar presente em minha vida e me auxiliar sempre que eu precisar.

Agradeço aos meus pais e meu irmão, que sempre me apoiaram desde quando iniciei a faculdade e sempre me incentivaram a dar o meu melhor em todos os momentos de minha vida.

Também demonstro meu agradecimento à minha namorada que esteve comigo em cada noite de estudo, me auxiliando em cada passo para a finalização desta faculdade.

Demonstro gratidão aos meus colegas de trabalho, que me auxiliaram a entender cada vez mais sobre o sistema fotovoltaico e assim também na construção deste estudo.

E trago também um agradecimento especial aos meus professores do curso de Engenharia Elétrica que contribuíram com tantos conhecimentos que adquiri neste percurso e em especial ao Professor Gustavo Brito de Lima por toda ajuda e compreensão na construção deste trabalho.

“Você certamente conhecerá coisas melhores e piores, mas não é isso que importa. O mais importante é a mudança, o movimento, o dinamismo, a energia.”

(Edson Marques)

RESUMO

A busca por fontes de energias renováveis vem se intensificando nos últimos anos, pois, além de estarem disponíveis com abundância, também diminuem os impactos ambientais. Uma das fontes mais buscadas ultimamente é a de energia fotovoltaica. Trata-se de um processo de conversão da energia solar em energia elétrica utilizando-se células fotovoltaicas e suas usinas podem ser instaladas em diversos locais, como casas, empresas ou fazendas, levando a eletricidade também para locais com difícil acesso. Neste trabalho, buscou-se analisar a autenticidade e aplicabilidade das normas brasileiras que estão vigentes e direcionadas direta ou indiretamente à energia fotovoltaica, bem como o cruzamento destes dados com as referências bibliográficas sobre as principais causas e modos de combater incêndios ligados à este tipo de energia. Neste sentido, abarcou-se as seguintes normas brasileiras: NBR 5410, NBR 5419-1, NBR 16690, NBR IEC 61643-32, NBR 16612 e NBR 16274, sendo as duas primeiras normas gerais da engenharia elétrica e as quatro seguintes específicas da Energia Fotovoltaica. Foi identificado a partir das referências bibliográficas que as principais causas para os incêndios fotovoltaicos são o arco elétrico e a corrente reversa. Dessa forma, foi possível concluir que é de extrema importância que ocorram vistorias rigorosas ao final das instalações para averiguar se as normas foram realmente seguidas, além de utilizar equipamentos contra a corrente reversa e dispositivos que cortem os efeitos do arco elétrico. Minimizando os incidentes, há a necessidade de serem formuladas no Brasil normas específicas voltadas à segurança e a prevenção de incêndios que visem os sistemas fotovoltaicos, para que assim a utilização desta energia seja totalmente segura e vantajosa para seus consumidores finais.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica; Incêndios; Normas Brasileiras.

ABSTRACT

The search for renewable energy sources is increasingly intensifying, because besides being available with abundance, they also reduce environmental impacts. One of the most wanted sources of energy lately is photovoltaic energy. This is a process of converting solar energy into electric energy using photovoltaic cells, and its plants can be installed in several places, such as houses, companies, or farms, bringing electricity also to places with difficult access. This research analyzed the authenticity and applicability of the Brazilian norms that are in force and directed directly or indirectly to photovoltaic energy, as well as comparing this data with the bibliographic reference about the main causes and ways fighting fires connected to this type of energy. In this direction, the following Brazilian norms were covered: NBR 5410, NBR 5419-1, NBR 16690, NBR IEC 61643-32, NBR 16612 and NBR 16274, the first two being General Electric engineering norms and the following four specific to photovoltaic energy. It was identified from the references that main causes for photovoltaic fires are electric arcing and reverse current. Thus, it was possible to conclude that it is extremely important that rigorous inspections take place at the final of the installations to verify if the norms were really followed, in addition to using equipment against reverse current and devices that cut the effects of electric arc. Minimizing the incidents, there is a necessity to formulate specific norms in Brazil directed to security and fire prevention aimed at photovoltaic systems, so that the use of this energy is totally safe and advantageous to its final consumers.

Keywords: Brazilian norms; Fire; Photovoltaic Energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Utilização das fontes de energia em 2020 e 2021	13
Figura 2 – Variação da utilização das energias renováveis nos anos de 2020 e 2021..	15
Figura 3 – Composição do módulo fotovoltaico	17
Figura 4 – Largura de Pulso	18
Figura 5 – Inversor Fotovoltaico	19
Figura 6 – String Box.....	20
Figura 7 – Estrutura de fixação dos módulos	22
Figura 8 – Quadro de distribuição	23
Figura 9 – Queda de telhado com placas fotovoltaicas	37
Figura 10 – Falha ao dimensionar o suporte da estrutura	38
Figura 11 – Incêndio nas placas causados pela corrente reversa	39
Figura 12 – Instalação do inversor em uma casinha metálica com pouca ventilação	40
Figura 13 – Casinha do inversor fechada sem circulação de ar	40
Figura 14 – Aquecimento nas microfissuras causados pelos impactos	41
Figura 15 – Arco elétrico em série nas trilhas do módulo fotovoltaico	42
Figura 16 – Conectores MC4 com má instalação	43
Figura 17 – Emendas inadequadas	43
Figura 18 – DPS para proteção CA em uso em circuito de CC.....	44
Figura 19 – Manutenção inadequada da substituição do fusível	45
Figura 20 – Paralelismo de strings com diferentes quantidades de painéis ocasionando a corrente reversa.....	46
Figura 21 – Incêndio ocasionado por arco elétrico no circuito de corrente contínua com inversor	49
Figura 22 – Micro Inversor da Marca Apsystems	53
Figura 23 – Otimizador de Potência	54
Gráfico 1 – Dados de incêndios relacionados a usinas fotovoltaicas na Itália	50
Gráfico 2 – Componentes aonde deram a origem do incêndio	51

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

NBR	Normas Brasileiras
BEN	Balço Energético Nacional
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
MPPT	Maximum Power Point Tracking
Isc	Corrente de Curto Circuito
Voc	Tensão de Circuito Aberto
REN	Resolução Normativa
PRODIST	Regras e Procedimentos de Distribuição
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
IEC	International Electrotechnical Commission
TS	Technical Specification
V	Volts
Hz	Hertz
Wp	Watt Pico
STC	Standard Test Conditions
Vcc	Voltagem de Corrente Contínua
DPS	Dispositivo Contra Surtos
FV	Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFCI	Arc Fault Circuit Interrupter
GFDI	A detecção e interrupção de falta à terra

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Equipamentos Utilizados na Energia Fotovoltaica	16
1.1.1	Módulos Fotovoltaicos	16
1.1.2	Inversores	17
1.1.3	String box	19
1.1.4	Estrutura Para a Fixação Dos Módulos	20
1.1.5	Quadro de Distribuição	22
1.2	Realização do Projeto de uma Usina Solar	23
1.2.1	Homologação	23
1.2.2	Instalação	24
1.2.3	Aterramento	25
1.2.4	Monitoramento	25
1.2.5	Manutenção	26
1.3	Cuidados Necessários com as Usinas Fotovoltaicas	26
2	METODOLOGIA	28
3	DESENVOLVIMENTO	30
3.1	Normas Brasileiras que Baseiam os Sistemas Elétricos	30
3.1.1	NBR 5410:2004	30
3.1.2	NBR 5419-1:2015	31
3.2	Normas Brasileiras Específicas para os Sistemas Fotovoltaicos	32
3.2.1	NBR 16690:2019	32
3.2.2	NBR 16274:2014	32
3.2.3	NBR IEC 61643-32:2022	34
3.2.4	NBR 16612	35
3.3	Possíveis Riscos ao não Seguir as Referidas Normas	36

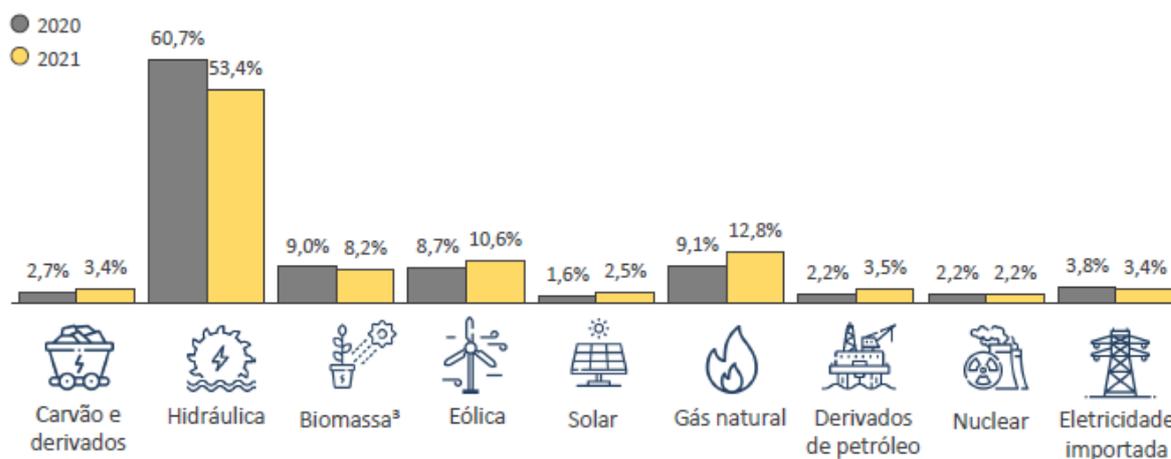
3.3.1 Falhas Estruturais	36
3.3.2 Falhas de Desempenho	38
3.3.3 Falhas Elétricas	45
3.3.4 Arcos Elétricos	47
3.4 Possíveis Soluções ou Formas de se Amenizar Riscos e Incêndios Fotovoltaicos	52
4 CONCLUSÃO	55
5 REFERÊNCIA.....	56

1 INTRODUÇÃO

A utilização de energia elétrica mudou toda a vida da humanidade, tornando-se primordial para a sobrevivência da população mundial. Contudo, com o desenvolvimento e crescimento da população a produção de energia obtida pelos meios comuns trazem incertezas e medos, gerados principalmente pela utilização de recursos não-renováveis e pela alta demanda de consumo em confronto com o que é fornecido pelo mundo (MAUAD, FERREIRA & TRINDADE, 2017).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética, no ano de 2020 as principais fontes de energia utilizadas no Brasil foram: Hidráulica, Gás Natural, Biomassa, Eólica, Eletricidade Importada, Carvão e Derivados, Nuclear, Derivados de Petróleo, Solar (BEN, 2022). No ano seguinte, em 2021, esta mesma matriz energética brasileira sofreu alterações significativas nas porcentagens de cada distribuição de energia como representados na figura 1, sendo possível comparar as fontes de energia utilizadas nestes dois anos.

Figura 1: Utilização das fontes de energia em 2020 e 2021.



Fonte: BEN, 2022.

Um fator importante que também deve ser levado em consideração para a comparação entre os anos de 2020 e 2021 é que:

“A escassez de chuvas em 2021 provocou uma redução do nível dos reservatórios das principais hidrelétricas do país e a consequente redução da oferta de hidreletricidade. Esta queda foi compensada pelo aumento da oferta de outras fontes, como o carvão (+47,2%), gás natural (+46,2%), eólica (+26,7%) e solar fotovoltaica (+55,9%)” (BEN, 2022, p. 34).

Contudo, por mais que estas sejam as mais utilizadas, muitas delas acarretam em alguns riscos e problemas ambientais sérios, principalmente em relação àquelas que não são renováveis, pois elas ocasionam sérios problemas ambientais. Por este motivo vem crescendo a busca por fontes renováveis em todo o planeta, para que assim sejam reduzidos os impactos ambientais e sociais que são provocados pela geração e distribuição de energia elétrica. Desta forma, as discussões sobre a verdadeira efetividade das implantações de energia elétrica renovável vêm se destacando cada vez mais, de forma a encontrar um equilíbrio entre o meio ambiente e o fornecimento de energia elétrica (MAUAD, FERREIRA & TRINDADE, 2017).

Para que seja possível entender de forma clara sua importância, apresenta-se aqui as descrições prévias de fontes de energia renováveis, energias limpas ou ainda energias alternativas. Tratam-se de fontes de recursos naturais que são renováveis naturalmente com o tempo e disponíveis com abundância no meio ambiente. As vantagens deste tipo de energia é que geram uma diminuição na emissão de gases poluentes e a diminuição dos impactos ao meio ambiente em comparação com certas usinas elétricas (VOTORANTIM, 2022).

As principais energias renováveis utilizadas atualmente seriam a Hidráulica, de Biomassa, Eólica e a Solar. Uma das fontes renováveis mais comuns no mundo é a energia solar, ela vem sendo utilizada desde o final da década de 1950 para a energização dos satélites e estações espaciais. Com o avanço das buscas de energias renováveis ocorreu também um grande aumento na busca de energia solar em diversos setores da comunidade. Um estudo feito pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) realizou o Balanço Energético Nacional (BEN) no ano de 2021 e constatou que de 2020 para 2021 ocorreu um aumento de 55,9% na procura por energia solar no Brasil, sendo este o maior aumento de energias renováveis contabilizado na pesquisa, como é percebido na figura 2. (BEN, 2022).

Figura 2: Variação da utilização das energias renováveis nos anos de 2020 e 2021.

Outras renováveis (10 ³ tep)	2020	2021	Δ 21/20
Lixívia	9.576	10.128	5,8%
Eólica	4.906	6.217	26,7%
Biodiesel	5.300	5.570	5,1%
Outras biomassas ¹	1.139	1.347	18,3%
Solar Térmica	867	930	7,3%
Solar FV	924	1.441	55,9%
Biogás	311	376	20,9%
Gás industrial de carvão vegetal	85	159	87,0%
Total	23.108	26.168	13,2%

Fonte: BEN, 2022.

A energia solar fotovoltaica é um processo de conversão da energia solar em energia elétrica utilizando as células fotovoltaicas, as quais são compostas por materiais semicondutores, em que o mais utilizado é o silício. Elas são constituídas por duas camadas, uma é do tipo-N (carga negativa) e a outra camada inferior do tipo-P (carga positiva). Quando a luz solar incide sobre as células, os elétrons do material semicondutor ficam em movimento e assim é gerada a energia elétrica.

Algumas características principais da energia solar são:

- Energia limpa em que não se emite gases poluentes;
- Energia sustentável, pois é uma fonte renovável;
- Energia gratuita produzida pela irradiação do sol; e
- As tecnologias utilizadas demandam pouca manutenção e possuem longa vida útil.

Além disso, as usinas fotovoltaicas podem ser mais baratas para o consumidor final do que as usinas convencionais e ao contrário das hidrelétricas com reservatório, porque não precisam de grandes áreas de terra para serem construídas, sendo possível ainda gerar eletricidade em áreas de difícil acesso. Outro ponto da energia solar fotovoltaica é que, atualmente, a tecnologia para a sua aplicação tem evoluído muito e a tendência é que o custo de investimento caia cada vez mais (SCHERER, SESSEGOLO, BARCAROLO & EDLER, 2015).

Apesar de tantos pontos favoráveis, ela ainda apresenta algumas características a serem consideradas, pois trata-se de uma fonte de energia que não é constante e que depende do tempo atmosférico para funcionar bem. A chuva, por exemplo, pode diminuir a eficiência das células fotovoltaicas. Além disso, esse tipo de energia não é produzido durante a noite, o que significa que os consumidores de energia solar fotovoltaica precisam de outras fontes de energia para suprir suas necessidades durante este período (SCHERER, SESSEGOLO, BARCAROLO & EDLER, 2015).

Outra questão é que a sua tecnologia ainda está em evolução e, por isso, o custo de investimento é alto, além de que as células fotovoltaicas contêm materiais tóxicos que podem ser prejudiciais para o meio ambiente, os quais não possuem formas adequadas de se realizar seu despojo (SCHERER, SESSEGOLO, BARCAROLO & EDLER, 2015).

Apesar destes contratempos ou desvantagens, os benefícios que este tipo de energia possui são maiores e mais eficientes, promovendo inclusive o aumento da busca de novas instalações de energia solar em diferentes formas.

1.1 Equipamentos Utilizados na Energia Fotovoltaica

Para que seja possível realizar as instalações de usinas fotovoltaicas é necessário obter determinados equipamentos para sua plena funcionalidade, sendo eles módulos fotovoltaicos, inversores, *String box*, estruturas para a fixação dos módulos e o quadro de distribuição. Estes serão descritos a seguir.

1.1.1 Módulos Fotovoltaicos

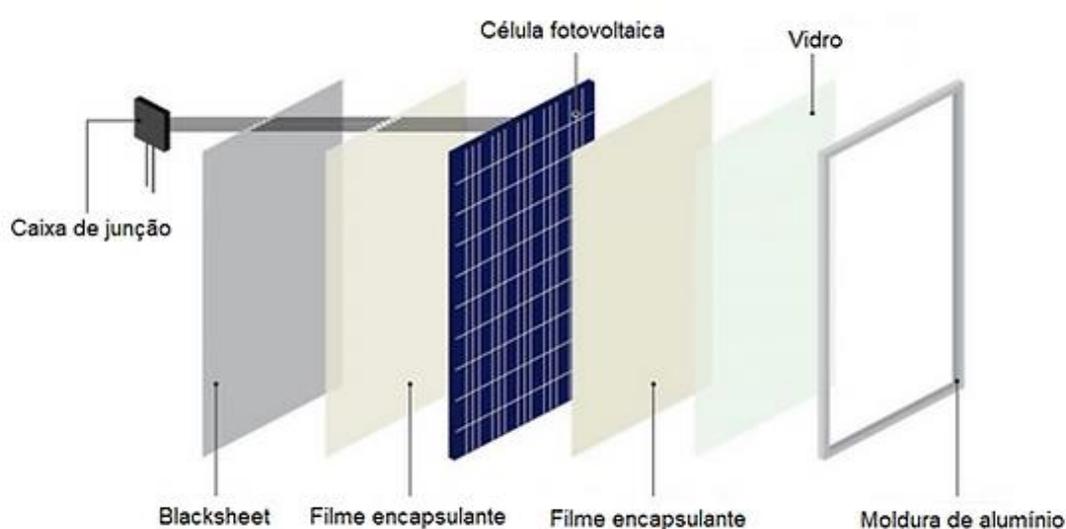
Módulos fotovoltaicos, ou placas solares, possuem um funcionamento simples: quando a luz incide sobre as células, elas absorvem a energia eletromagnética, gerando elétrons livres que aproveitam a energia para atravessar a célula. Estes elétrons são conectados em circuito interno, gerando uma corrente elétrica (CONRADO, 2021).

O módulo fotovoltaico é composto por vários elementos, como uma camada de vidro de proteção, encapsulamento, *backsheet* (papel de proteção) e conectores elétricos. O vidro de proteção protege as células de fatores externos, como vento, chuva e poeira, enquanto o encapsulamento mantém as células seguras e evita a entrada de umidade. O *backsheet* impede que a corrente elétrica seja influenciada por

fatores externos, como chuva e vento, enquanto os conectores elétricos são usados para conectar os módulos ao sistema de energia (CONRADO, 2021).

A potência do módulo fotovoltaico depende da quantidade de luz incidente e da eficiência das células. Quanto maior a quantidade de luz incidente, maior será a eficiência e, por consequência, quanto maior a eficiência das células fotovoltaicas, maior será a potência gerada. A seguir a figura 3 representando a composição do módulo fotovoltaico (CONRADO, 2021).

Figura 3: Composição do módulo fotovoltaico.



Fonte: NEVES, CAMARGO E COTA, 2020.

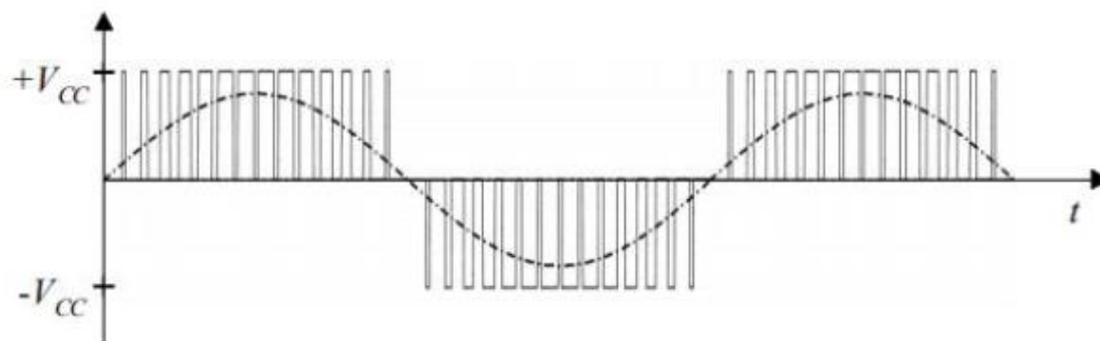
1.1.2 Inversores

São os “cérebros” da usina solar que irão receber a energia em Corrente Contínua (CC) e transformá-la em Corrente Alternada (CA). No caso dos inversores para sistemas fotovoltaicos, é necessário que a corrente gerada pelas células seja regulada de forma a manter a tensão na saída constante (CONRADO, 2021).

Para isso, os inversores utilizam um circuito de controle que mede a corrente gerada pelas placas e ajusta a largura de pulso de saída de modo a manter a tensão eficaz na saída constante, com forma de onda senoidal de acordo com a figura 4 abaixo. Além disso, é necessário que a potência gerada seja mantida, de modo a permitir que a energia gerada seja injetada na rede com estabilidade. Os inversores modernos utilizam a tecnologia MPPT (*Maximum Power Point Tracking* - Rastreamento do Ponto de Potência Máxima) para ajustar as condições de operação

do inversor de forma a garantir que a potência gerada seja a máxima possível (CONRADO, 2021).

Figura 4: Largura de Pulso.



Fonte: CONRADO, 2021.

Portanto, o MPPT é essencial para otimizar o desempenho dos geradores fotovoltaicos e obter a maior potência possível do sistema. O dispositivo é capaz de acompanhar o ponto de máxima potência variável da *string*. Os valores de I_{sc} e V_{oc} dos geradores fotovoltaicos são também importantes para se determinar qual inversor adequar ao sistema, pois estes valores determinam qual a maior potência de operação que o sistema pode alcançar (CONRADO, 2021).

Além disso, é importante que as *strings* sejam conectadas em paralelo ao inversor, pois isso permite que o sistema se ajuste às mudanças na irradiação solar e nas condições climáticas. Dessa forma, se uma *string* conectada a um MPPT receber menos luz do que as outras, ela não comprometerá a produção de energia do sistema, pois as outras *strings* continuarão produzindo energia (CONRADO, 2021). A figura 5 mostra o inversor como a interligação das *strings*.

Figura 5: Inversor Fotovoltaico.

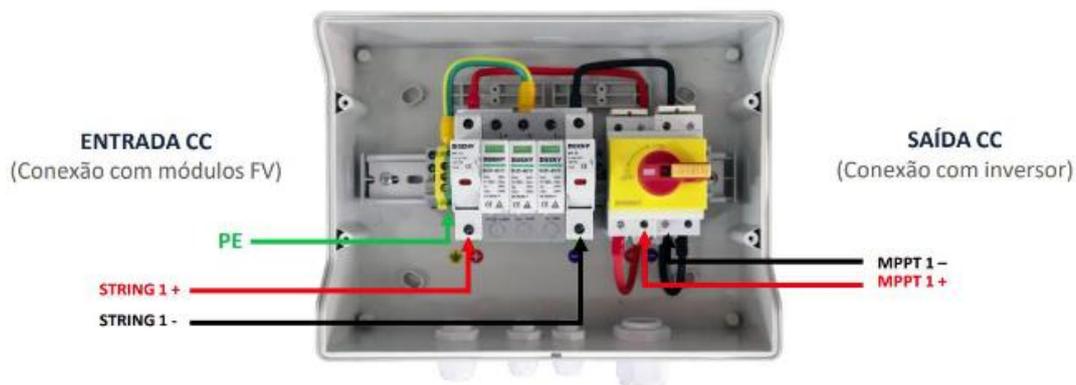


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

1.1.3 String box

São caixas de metal que se conectam às células fotovoltaicas para proteger os sistemas contra surtos elétricos. Eles têm a capacidade de absorver grandes quantidades de energia em um curto período de tempo permitindo que o sistema fotovoltaico seja protegido contra descargas elétricas, eletricidade estática, influências de terceiros e outras influências externas. Elas também são usadas como um meio de proteção contra curto-circuito, protegendo a instalação fotovoltaica contra falhas elétricas. A figura 6 mostra como é uma *string box*.

Figura 6: String Box.



Fonte: CONRADO, 2021.

1.1.4 Estrutura Para a Fixação Dos Módulos

Estruturas para a fixação dos módulos fotovoltaicos para que os módulos tenham sustentação nos telhados e locais instalados e para a determinação do ângulo das placas que influenciam diretamente na geração de energia. Alguns elementos das estruturas de fixação:

Trilhos ou Perfis: São estruturas metálicas para a acomodação dos módulos fotovoltaicos (CONRADO, 2021);

Parafuso estrutural ou Hooks: eles têm o objetivo de prender os trilhos sobre o telhado, existem diferentes tipos de parafusos para cada tipo de telhado (CONRADO, 2021);

Grampos Intermediários: são usados em sistemas de painéis solares e permitem o encaixe de vários módulos solares para criar um sistema maior. Os grampos intermediários também podem ajudar a garantir que os módulos sejam instalados corretamente e evitam que eles sejam danificados durante a instalação. Além disso, os grampos intermediários ajudam a evitar problemas de segurança, como curto-circuito, pois eles permitem uma conexão elétrica segura entre os módulos (CONRADO, 2021);

Grampos Terminadores ou Laterais: são essenciais para garantir um bom aproveitamento da energia solar e são projetados para enfrentar os elementos ao ar livre e para garantir a estabilidade do sistema. Eles são feitos de material resistente,

geralmente aço inoxidável ou alumínio, e são projetados para segurar firmemente o módulo de painel solar no trilho (CONRADO, 2021);

Jumpers de Aterramento: são cabos utilizados para interligar os trilhos entre si, permitindo que o aterramento seja feito de maneira uniforme para toda a instalação. Esses jumpers são conectados aos grampos de aterramento, que por sua vez estão conectados ao cabo de aterramento (CONRADO, 2021);

Clips de Aterramento: Os clips de aterramento são colocados entre os grampos intermediários para garantir que os dois elementos estejam conectados eletricamente. A parte inferior dos clips de aterramento é fixada na parte inferior do trilho e a parte superior do clip é conectada à parte inferior da moldura. O clip de aterramento é importante para garantir que todos os componentes estejam adequadamente aterrados e mantenham assim a segurança da estrutura (CONRADO, 2021);

Cabeamento e Eletrodutos: O eletroduto ideal para o sistema fotovoltaico deve apresentar resistência mecânica, resistência ao calor, resistência a intempéries, isolamento elétrico e proteção contra raios ultravioleta. O eletroduto deve ser de material resistente às intempéries, como PVC rígido, para que não seja danificado com o tempo. Além disso, o eletroduto deve possuir mecanismos de vedação eficientes para garantir a segurança dos cabos, evitando o contato com a água e a poeira (CONRADO, 2021).

Os cabeamentos são responsáveis pela conexão dos componentes do sistema fotovoltaico e deve ser realizada com cabos específicos para uso externo que possuem duas camadas de isolação, uma para proteção contra intempéries e outra para resistência elétrica. Os cabos devem ser capazes de suportar as variações de temperatura e pressão, assim como a irradiação solar, para garantir a operação correta do sistema (CONRADO, 2021).

A seguir a figura 7 mostra os equipamentos que compõem a estrutura da fixação dos módulos:

Figura 7: Estrutura de fixação dos módulos.

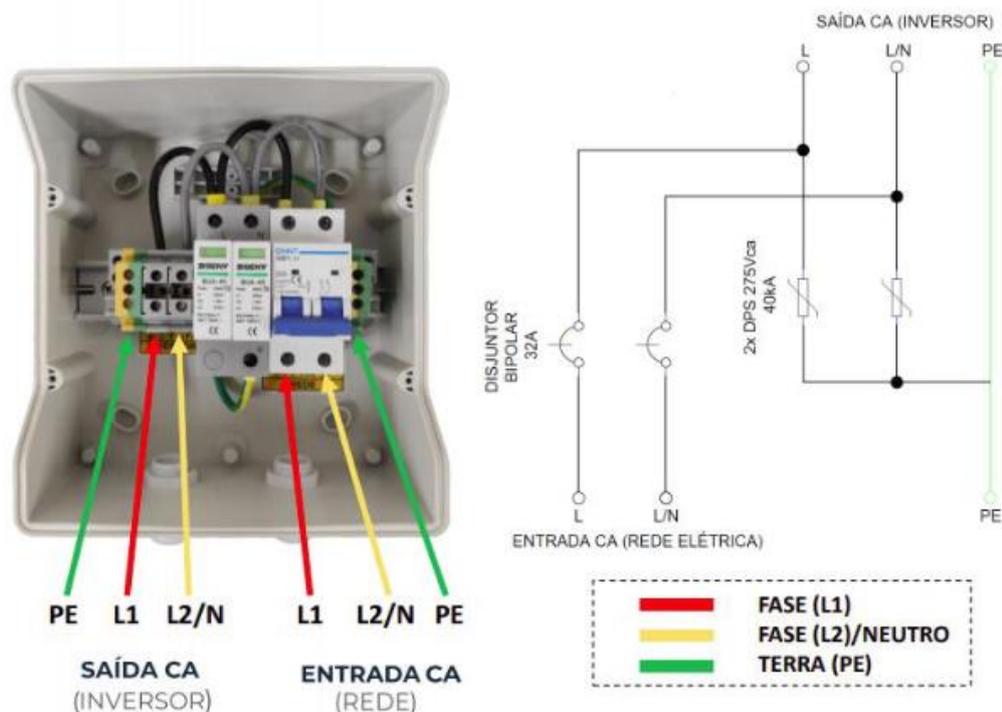


Fonte: CONRADO, 2021.

1.1.5 Quadro de Distribuição

O Quadro de Distribuição CA é responsável por garantir a segurança do sistema fotovoltaico e proteger os equipamentos contra sobrecargas, curtos-circuitos e surtos de energia. O Quadro de Distribuição CA também oferece proteção contra choque elétrico, permitindo que as pessoas consigam manusear o equipamento de forma segura. Além disso, o Quadro de Distribuição CA também protege o sistema de energia solar contra sobrecargas, curtos-circuitos, surtos de energia, conexões incorretas e problemas de isolamento (CONRADO, 2021). A seguir a figura 8 mostra o quadro de distribuição e seus componentes.

Figura 8: Quadro de distribuição.



Fonte: CONRADO, 2021.

1.2 Realização do Projeto de uma Usina Solar

Para uma instalação efetiva das placas solares é fundamental seguir alguns passos que serão descritos de forma detalhada a seguir, sendo eles: Homologação, Instalação, Aterramento, Monitoramento e Manutenção.

1.2.1 Homologação

Para se ter uma usina fotovoltaica é necessário realizar um projeto da geração distribuída, o qual é enviado para concessionária de distribuição de energia local para que seja possível realizar uma análise da rede e o mesmo ser homologado.

Para a homologação é realizado um diagrama unifilar, que segue as normas de cada concessionária de modo que a equipe de instalação consiga executar o projeto de forma adequada e de acordo com as normas de segurança. Toda a documentação é realizada dentro das regulações da Lei nº14.300 de 2022, que tem o objetivo de controlar o setor de geração distribuída, e pelo PRODIST módulo 3, que estabelece os procedimentos de acesso à rede de distribuição, definindo critérios de projetos e proteção, visando a melhor qualidade do sistema elétrico.

Para a concessionária CEMIG, por exemplo, é necessária uma ART feita pelo responsável técnico da empresa, que contenha um formulário de solicitação de acesso do cliente, contendo as informações do cliente, do sistema fotovoltaico projetado para a residência, os dados da obra, o registro da central geradora (informações do sistema fotovoltaico), o diagrama unifilar, o memorial descritivo e o diagrama de blocos contendo as informações do sistema e também da instalação.

Assim que é aprovado é possível realizar as instalações das usinas, que podem ocorrer em residências, comércios, indústrias e fazendas, a depender da necessidade de cada contratante. Após esta etapa é solicitada uma vistoria da concessionária local, para que possa ser analisado o sistema instalado e ainda verificar se os equipamentos instalados condizem com o que foi homologado, de forma a garantir que tudo esteja de acordo com as normas estabelecidas para a segurança do consumidor e para que não ocorra danos na rede da concessionária.

1.2.2 Instalação

Para a instalação dos equipamentos é feita uma análise do local em que os módulos ocuparão, onde a equipe desenha um layout dos lugares que serão colocados os módulos e também fica responsável por realizar a limpeza no local, para que possa prepará-lo para receber a estrutura de forma correta. Para finalizar, são colocados os trilhos para a fixação dos módulos fotovoltaicos, que devem ser inseridos corretamente para que as placas não sofram problemas com encaixes e torções (BANCO BV, 2022).

Após a instalação dos módulos nos trilhos, são conectados os cabos CC nos módulos que vão até a *string box* do sistema, que são fixados na parede junto com o inversor. Vale ressaltar que o inversor e *string box* deve estar em um local coberto para evitar chuvas e danos ao equipamento. Assim que os módulos são conectados à *string box*, é feita a conexão ao inversor e a conexão ao quadro de distribuição de energia do imóvel, com todos os componentes de proteção. Após toda verificação da parte de proteção elétrica é feita a conexão à rede da concessionária (sistema *on-grid*) (BANCO BV, 2022).

As usinas em solo seguem basicamente a mesma configuração em relação a parte elétrica. Contudo, para a instalação dos módulos, é planejado o local da usina

onde serão fixadas as estruturas, buscando-se sempre a orientação para o ponto cardeal Norte para uma geração mais efetiva.

Nas fazendas solares ocorrem o mesmo planejamento, porém é realizada a análise ampliada da rede da concessionária, visando o uso de subestações e transformadores exclusivos para aquela usina. Nesse processo é feito o projeto da usina e encaminhado para a concessionária analisar se a rede irá suportar a carga que será gerada ou se será necessário implementar melhorias em sua rede para a injeção de energia (BANCO BV, 2022).

1.2.3 Aterramento

Os aterramentos das estruturas metálicas, módulos fotovoltaicos e *string boxes* deverão ser conectados em malha TT com três hastes de 2,44m de seção de 5/8" enterradas no solo, de forma a garantir uma resistência de aterramento inferior a 10Ω. Para conectar as estruturas metálicas e as *strings boxes* à malha de aterramento, deverão ser utilizados cabos de 6mm² (BID, 2019).

Para conectar os módulos fotovoltaicos à malha de aterramento deverão ser utilizados cabos apropriados para instalação externa, além de clips de aterramento, jumpers entre os perfis e grampos terminadores específicos para aterramento. Além disso, é importante que sejam tomadas medidas de segurança e que sejam seguidas as normas vigentes, como a NBR 5410:2004 e a IEC/TS 62548:2013 (BID, 2019).

1.2.4 Monitoramento

O monitoramento da usina solar envolve a medição do desempenho da usina solar e a verificação de sua saúde. Monitorar a usina solar é importante para garantir o funcionamento adequado da usina e para identificar possíveis problemas antes que eles causem danos ao equipamento ou prejudiquem o rendimento da usina, além de maximizar a eficiência de produção.

O monitoramento da usina solar pode ser realizado de várias maneiras, incluindo a medição de dados de produção, a verificação de potência, a verificação de tensão da carga, a inspeção dos painéis solares, a verificação da temperatura do equipamento, a verificação da condição de todas as conexões elétricas o monitoramento da área da usina solar, o monitoramento dos níveis de radiação solar e a verificação dos dispositivos de proteção elétrica. Além disso, o monitoramento da

usina solar também pode incluir a verificação da quantidade de energia gerada ou consumida.

1.2.5 Manutenção

É de extrema importância que ocorra a manutenção e acompanhamento do funcionamento, para que o mesmo seja eficiente e evite as perdas de energia que podem ser provocadas por diferentes fatores. Esta manutenção é subdividida em: Preditiva, Preventiva e Corretiva.

A manutenção preditiva tem o objetivo de acompanhar, através do monitoramento do sistema, se existe alguma falha ou causa que gere perda de desempenho, analisando assim toda a infraestrutura elétrica por parte das conexões na string box e também no inversor, verificando toda parte elétrica e estrutural para evitar danos ao sistema e gastos com manutenções (VOTORANTIM, 2022).

A manutenção preventiva tem o objetivo de realizar as higienizações dos sistemas, como por exemplo sujeira nos módulos causados por poeiras, fezes de pássaros, arranhões nos módulos e outros fatores que também ocasionam em mal desempenho. O ideal é que a manutenção preventiva seja realizada no mínimo duas vezes ao ano para garantir o máximo de desempenho. Ela deve ser feita por profissionais qualificados para evitar acidentes e aumentar a segurança do sistema, realizando-se também testes regulares para garantir que o sistema está funcionando corretamente (VOTORANTIM, 2022).

A manutenção corretiva é realizada somente quando há alguma falha no sistema, ou seja, alguma queda brusca na geração do proprietário. É importante lembrar que esta manutenção não é realizada periodicamente e nem sempre é necessária, pois a maioria dos sistemas fotovoltaicos possuem baixa manutenção, sendo a limpeza dos painéis solares e a verificação de seus componentes a única atividade necessária (VOTORANTIM, 2022).

1.3 Cuidados Necessários com as Usinas Fotovoltaicas

Existem sistemas que são necessários um cuidado maior com os equipamentos, com as instalações e com outros aparelhamentos, principalmente

quando estão expostos ao sol ou chuva. Por estes e outros motivos existe uma necessidade de que estes equipamentos estejam aptos a desempenhar suas funções durante o maior tempo possível, o que gera grandes esforços elétricos, mecânicos, térmicos, entre outros, e que acarretam desgastes que prejudicam o funcionamento desses equipamentos e diminuem sua vida útil (DRABACH, SHATALOFF & SACARIN, 2019).

Algumas medidas costumam ser tomadas para que os sistemas sejam os mais eficazes possíveis, como mantê-los disponíveis na maior parte do tempo produtivo, realizar paradas para as limpezas e/ou manutenções programadas. É possível realizar as manutenções com um conjunto de ações técnicas e administrativas, que permitem manter ou reestabelecer um bem dentro de um estado específico (DRABACH, SHATALOFF & SACARIN, 2019).

Desta forma, o objetivo da manutenção deve ser manter os elementos componentes dos equipamentos para que não percam suas características, de forma a buscar o aumento de sua disponibilidade. Para além das normativas definidas para as manutenções, também se faz necessário normas para regulamentar todo o sistema fotovoltaico, desde seus estudos até as implantações e manutenções (DRABACH, SHATALOFF & SACARIN, 2019).

Como uma forma de evitar erros e acidentes vinculados ao sistema fotovoltaico existem algumas normas atuais que buscam principalmente regulamentar a utilização, manuseio e avaliações dos equipamentos e do sistema utilizado como um todo nas usinas solares. Elas serão aqui discutidas e também apresentados seus principais fatores e apontamentos sobre as usinas e a prevenção de incêndios causados pelas mesmas.

2 METODOLOGIA

O presente estudo teve como objetivo analisar a aplicabilidade das normas vigentes direcionadas à geração de energia fotovoltaica, para que assim possa-se discutir sobre as novas normas que estão em processo de criação para impedir incêndios em usinas solares. Além disso, tem-se como objetivos específicos: analisar os pontos falhos identificados na execução destas normas que tenham relação com acidentes e incêndios causados pelas usinas; argumentar sobre questões não discutidas na regulamentação e que deveria ser regulamentado; e apontar quais características podem compor uma nova norma, visando principalmente a prevenção de imprevistos e incêndios ligados à geração fotovoltaica.

Para que fosse possível abarcar todas as informações possíveis, o trabalho segue uma pesquisa explicativa quanto aos seus objetivos, pois busca identificar os fatores que estão correlacionados para a ocorrência dos incêndios em usinas solares (GIL, 2008).

Já em relação aos procedimentos técnicos utilizados, trata-se de uma pesquisa bibliográfica, ao ponto que se busca cruzar referências teóricas na literatura existente sobre o tema apresentado e também uma pesquisa documental, visto que se vale de normas originais e que ainda podem ser reelaboradas de acordo com as pesquisas e práticas relacionadas às mesmas (GIL, 2008).

Com a parte da pesquisa documental, optou-se por realizar um estudo sobre as seguintes Normas Brasileiras: NBR 5410, NBR 5419-1, NBR 16690, NBR IEC 61643-32, NBR 16612 e NBR 16274, pois estas são as que estão vigentes relacionadas direta ou indiretamente aos sistemas fotovoltaicos e aos incêndios que podem ser causados pelos mesmos. Realizar um estudo desta forma acrescenta uma visibilidade e um entendimento maior do fenômeno estudado.

Em uma primeira etapa, foi necessário identificar quais normas estariam relacionadas ao tema de estudo, quais seriam aquelas que informam diretamente sobre os sistemas fotovoltaicos (sendo elas NBR 16690, NBR IEC 61643-32, NBR 16612 e NBR 16274) e quais seriam aquelas que complementam o entendimento do tema, mas que não necessariamente se detêm à regulamentação específica de sistemas fotovoltaicos (sendo elas NBR 5410 e NBR 5419-1).

Ocorreu também uma classificação em blocos, identificando-se semelhanças e diferenças nas normas e agrupando-as em temas. As categorias a serem analisadas foram: apresentação de cada norma e suas inferências, falhas gerais identificadas nas execuções destas normas e quais fatores podem ser melhorados nas aplicabilidades destas normas já existentes ou que podem ser direcionados para a criação de um novo regulamento específico para prevenção de incêndios em usinas fotovoltaicas.

Por fim, foi realizada a interpretação dos dados recolhidos de forma a relacioná-los com a teoria estudada, identificando inferências sob a aparente realidade, questões e apontamentos importantes para a área e ainda as melhorias e ampliações que podem ser pensadas e realizadas a partir deste estudo, de forma a avançar nas conclusões da pesquisa.

3 DESENVOLVIMENTO

Para que seja possível entender de forma aprofundada não somente o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos, mas também suas normativas e falhas de aplicações é necessário que se conheça tanto as normas brasileiras paralelas que baseiam os funcionamentos dos sistemas elétricos, como também as normas brasileiras que são específicas para os sistemas fotovoltaicos.

3.1 Normas Brasileiras que Baseiam os Sistemas Elétricos

3.1.1 NBR 5410:2004

A NBR 5410 foi desenvolvida no Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT / CB – 03), pela Comissão de Estudo de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (CE – 03:064.01), e foi publicada em 30/09/2004. Porém, entrou em vigor no dia 31/03/2005, e foi baseada na norma internacional IEC 60364, voltada às instalações de baixa tensão (NUNES, 2016).

A norma ABNT NBR 5410:2004 estabelece critérios para o projeto, montagem, inspeção, operação e manutenção de instalações elétricas em edificações destinadas a uso doméstico, comercial, industrial e agrícola. De forma geral, a norma trata de aspectos relacionados à segurança das pessoas, aos equipamentos e às instalações elétricas (NBR 5410, 2004).

O estudo realizado por Nunes (2016) apontou que a norma não se aplicava aos seguintes itens:

- Circuitos elétricos que são alimentados a uma tensão menor ou igual a 1000V em corrente C.A., com frequências inferiores a 400 Hz, ou uma tensão até 1500V em corrente C.C;
- Instalações públicas;
- Redes públicas de distribuição de energia;
- Instalações em cercas eletrificadas e em minas;
- Instalações em embarcações e também em aeronaves;
- Instalações em tração elétrica e de veículos automotores; e
- Equipamentos para diminuir perturbações radioelétricas.

Nela são apresentados os requisitos e as áreas de aplicação, bem como os critérios de projeto, montagem e verificação das instalações elétricas. Entre suas principais diretrizes estão a definição dos procedimentos para proteção contra choques elétricos, as condições de segurança para o uso de equipamentos elétricos, as condições de acesso e manuseio dos materiais, os critérios para a montagem de cabos e condutores e as condições de isolamento (NBR 5410, 2004).

Além disso, ela estabelece normas para a instalação de dispositivos de proteção contra sobrecargas, curtos-circuitos e contra descargas atmosféricas. Também aborda questões como a correta identificação dos circuitos elétricos, o dimensionamento e os parâmetros de funcionamento dos dispositivos de segurança, a proteção contra incêndio e a proteção contra interferências eletromagnéticas (NBR 5410, 2004).

3.1.2 NBR 5419-1:2015

A norma NBR 5419 estabelece requisitos para a documentação dos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, incluindo a identificação de pontos críticos e a identificação de equipamentos. Também fornece orientações para a realização de testes de descarga atmosférica e os critérios que definem se um dispositivo de proteção contra descargas atmosféricas está funcionando corretamente (NBR 5419-1, 2015).

Ela pontua as responsabilidades de todos os envolvidos na instalação, manutenção, operação e teste de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. Estas responsabilidades incluem o desenvolvimento de planos de manutenção, a realização de testes periódicos e a verificação da conformidade dos dispositivos de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419-1, 2015).

A norma se aplica a todos os tipos de instalações, incluindo aquelas que usam fontes elétricas, telefonia, sinalização ou outros sistemas de comunicação, bem como aquelas que usam fontes de energia elétrica, como geradores, sistemas de distribuição de energia e redes de transmissão de energia. E também aplica a outras instalações, como usinas, postos de combustíveis e instalações industriais (NBR 5419-1, 2015).

3.2 Normas Brasileiras Específicas para os Sistemas Fotovoltaicos

3.2.1 NBR 16690:2019

A norma NBR 16690 estabelece os requisitos de segurança para instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos. Ela abrange as regulamentações dos condutores, dispositivos de proteção elétrica, dispositivos de manobra, dispositivos de armazenamento de energia, aterramento e equipotencialização—e a conexão dos arranjos fotovoltaicos à rede. Também aborda as práticas recomendadas para a instalação elétrica, para a parte mecânica e também para a manutenção de arranjos fotovoltaicos conectados à rede (NBR 16690, 2019).

O objetivo desta Norma é especificar os requisitos de segurança para instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, garantindo a proteção contra choques e falhas elétricas. Ela também visa garantir que os arranjos fotovoltaicos sejam instalados de forma segura, eficiente e eficaz, permitindo o melhor aproveitamento da energia solar (NBR 16690, 2019).

Os requisitos de segurança abrangidos incluem: a seleção adequada de dispositivos de proteção, como disjuntores ou fusíveis; o dimensionamento adequado dos condutores; o uso de aterramento e equipotencialização; a utilização de equipamentos de qualidade e certificados em conformidade com as normas internacionais; e a verificação de todos os dispositivos de manobra e proteção (NBR 16690, 2019).

Uma informação importante sobre essa norma é que “esta norma não se aplica aos arranjos fotovoltaicos menores que 100 Wp (nas STC) ou com tensão de circuito aberto menor que 35 Vcc ou maior que 1500 Vcc (nas STC).” (NBR 16690, 2019, p. 1).

3.2.2 NBR 16274:2014

Esta norma é um documento importante para garantir que os sistemas fotovoltaicos conectados à rede sejam instalados de forma segura e eficiente. Além disso, garante que os usuários possam verificar e monitorar seus sistemas fotovoltaicos de forma adequada.

A documentação mínima que deve ser compilada após a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede inclui:

- Uma descrição do sistema, ou seja, deve incluir a localização, os componentes principais, a topologia e as especificações técnicas;
- Uma lista de equipamentos e materiais;
- Um diagrama de ligação elétrica (diagrama unifilar);
- Os resultados de ensaio de comissionamento e/ou testes de aceitação;
- Os resultados das inspeções periódicas e/ou testes de aceitação;
- Uma lista de equipamentos de proteção e dispositivos de segurança utilizados;
- Informações do Projeto Mecânico;
- Os cálculos necessários para avaliar o desempenho e a eficiência do sistema; e
- Uma lista de procedimentos de manutenção recomendados.

Além disso, os ensaios de comissionamento e os critérios de inspeção não devem ser negligenciados. Estes incluem verificar se:

- Os componentes estão conectados corretamente;
- Os disjuntores estão dimensionados corretamente;
- Os cabos estão conectados corretamente;
- Os cabos têm a capacidade correta;
- O sistema é compatível com a rede elétrica;
- O sistema tem as proteções necessárias;
- O sistema tem os dispositivos de segurança necessários;
- Há proteção contra sobrecarga;
- A eficiência do sistema está dentro dos limites aceitáveis;
- O sistema está funcionando corretamente na presença de chuva, neblina, etc.

A avaliação do desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede deve incluir testes de medição de eficiência, medição de produção de energia, medição do fator de potência e medição do custo de energia. Estas medidas são necessárias para avaliar adequadamente o desempenho do sistema ao longo do tempo.

Por fim, a implementação desta norma torna obrigatória a documentação adequada, o ensaio de comissionamento e os critérios de inspeção mínimos para

sistemas fotovoltaicos conectados à rede, e ajuda na garantia da segurança e do desempenho destes sistemas.

Uma informação importante sobre essa norma é que “Esta norma se aplica à instalação C.C. e à instalação C.A. em baixa-tensão, esta norma se aplica apenas à instalação em baixa - tensão.” (NBR 16274, 2014, p. 1).

3.2.3 NBR IEC 61643-32:2022

A seleção e instalação dos DPS para sistemas fotovoltaicos devem incluir a avaliação de todos os riscos que possam afetar o sistema, como a descarga atmosférica, a corrente de curto-circuito, a sobrecarga, a sobreintensidade, a sobrevelocidade de manobra e o efeito de surtos. A coordenação dos DPS deve assegurar uma proteção adequada para todos os componentes do sistema, assim como para os usuários (NBR IEC 61643-32, 2022).

A seleção dos DPS deve levar em conta a segurança, a confiabilidade, a qualidade, a eficiência, a economia, a aparência e outros fatores, como a polarização da carga, as exigências de manutenção, a facilidade de instalação e a compatibilidade eletromagnética. A instalação dos DPS deve ser realizada de acordo com as diretrizes de segurança e instalação fornecidas pelo fabricante (NBR IEC 61643-32, 2022).

A coordenação dos DPS deve levar em conta as características de tempo de disparo e as características de defeito de cada dispositivo, incluindo os circuitos de alimentação, os condutores e os dispositivos associados. O nível de tensão mínimo de disparo dos DPS deve ser estabelecido de acordo com a tensão nominal do sistema. Em sistemas de aterramento em malha, é necessário utilizar uma combinação de DPS, como disjuntores, diferenciais e relés de sobreintensidade, para garantir a proteção adequada (NBR IEC 61643-32, 2022).

Estes dispositivos devem ser coordenados de forma a garantir que as correntes de fuga sejam limitadas a níveis seguros para o pessoal e os equipamentos. Em sistemas de aterramento em malha, é necessário também prever a proteção de linha de alimentação, com disjuntores ou relés diferenciais, para assegurar a proteção contra descargas atmosféricas, curtos-circuitos e sobrecargas (NBR IEC 61643-32, 2022).

Os DPS utilizados em sistemas FV devem ser testados de acordo com os padrões de segurança apropriados para assegurar que eles funcionem de forma consistente e segura. A instalação dos DPS deve ser avaliada periodicamente para garantir que eles estejam em conformidade com as diretrizes de segurança e instalação.

Além disso, é importante observar que os sistemas fotovoltaicos são projetados para operar em ambientes extremos, como altas temperaturas e grandes variações de luminosidade. Portanto, é necessário selecionar os DPS de acordo com as condições ambientais e com as características de operação dos sistemas fotovoltaicos (NBR IEC 61643-32, 2022).

3.2.4 NBR 16612

A norma NBR 16612 especifica os requisitos de qualidade e de desempenho para cabos de condutores flexíveis singelos, incluindo:

- Diâmetro nominal externo e comprimento;
- Condutores - Isolação e revestimento;
- Testes para resistência elétrica e resistência dielétrica;
- Testes para flexibilidade e resistência mecânica;
- Testes de inflamabilidade;
- Compatibilidade química;
- Testes de envelhecimento acelerado;
- Testes de resistência ao calor;
- Testes de resistência à umidade;
- Instalação; e
- Requisitos de marcação e embalagem.

Além disso, a norma especifica os procedimentos de qualificação e aceitação dos cabos singelos e apresenta diretrizes para a instalação dos cabos. Foi formulada para estabelecer os padrões e requisitos mínimos para a fabricação e uso dos cabos singelos de condutores flexíveis em instalações de energia fotovoltaica de corrente contínua (NBR 16612, 2020).

Esta norma visa assegurar que os cabos singelos de condutores flexíveis para uso em energia fotovoltaica de corrente contínua possuam as características

necessárias para o seu desempenho e funcionamento adequado nas instalações. É importante destacar que cabos singelos que não satisfaçam os requisitos especificados na norma NBR 16612, não devem ser utilizados para a instalação de energia fotovoltaica de corrente contínua (NBR 16612, 2020).

Com a utilização de cabos de qualidade, é possível garantir a segurança e a eficiência da instalação, além de evitar possíveis danos ao equipamento e às pessoas. Sendo assim, ela é fundamental para garantir a qualidade e a eficiência dos cabos utilizados em instalações de energia fotovoltaica de corrente contínua. Por este motivo é importante que os profissionais que trabalhem com cabos de condutores flexíveis para aplicação em energia fotovoltaica estejam familiarizados com os requisitos especificados na norma (NBR 16612, 2020).

3.3 Possíveis Riscos ao não Seguir as Referidas Normas

Como já abordado anteriormente, vem ocorrendo um grande aumento para a utilização da energia fotovoltaica em diversos setores. Apesar deste crescimento, é possível observar que muitas falhas ainda são cometidas, mesmo com as normas estruturadas e citadas acima, em relação aos projetos e suas execuções. Essas falhas podem ser definidas como: estruturais, elétricas e de desempenho (SANTOS, COSTA, MOTTA & PIMENTEL, 2022).

3.3.1 Falhas Estruturais

Os problemas estruturais referem-se à instalação física do sistema, incluindo a montagem e fixação do sistema no telhado ou no solo, bem como a resistência desses elementos às condições climáticas adversas. O projeto inadequado de um sistema fotovoltaico pode levar ao envelhecimento prematuro dos equipamentos e à falha das conexões elétricas, o que pode acarretar em prejuízos econômicos para o proprietário (SANTOS, COSTA, MOTTA & PIMENTEL, 2022).

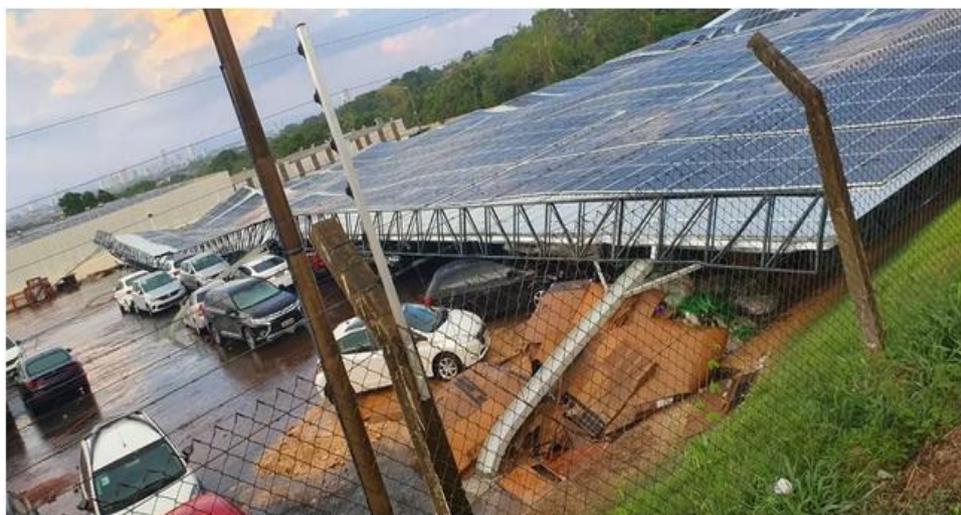
Para garantir a qualidade da instalação e evitar possíveis danos, é importante que sejam consideradas algumas etapas antes de iniciar a montagem da estrutura. De acordo com a norma NBR 16690 é importante que a escolha do material seja adequada para suportar a estrutura, levando em consideração a quantidade de painéis, o material utilizado na fabricação e a quantidade de vento e chuva que o sistema deverá suportar. Além disso, é importante certificar-se de que a estrutura possui um sistema de fixação seguro, capaz de resistir aos ventos e contratempos.

Outra etapa importante é o dimensionamento da estrutura. Neste caso, é necessário analisar fatores como a inclinação, a orientação e a carga de vento e chuva que será suportada pelo sistema. Dessa forma, é possível dimensionar a estrutura de forma segura e evitar acidentes. (NBR 16690, 2019).

Por último, é importante verificar se todos os materiais utilizados na fabricação da estrutura possuem certificação de qualidade e se estão de acordo com as normas técnicas vigentes. Isso garante que o projeto será seguro e eficaz, garantindo que o sistema fotovoltaico será instalado corretamente e que sua performance será a melhor possível (NBR 16690, 2019).

A seguir algumas imagens de mau dimensionamento das estruturas e que acarretaram em danos que podem levar a ruptura de cabos acarretando em arcos elétricos e gerando incêndio. Na Figura 9 pode-se verificar que a estrutura não suportou o peso das placas fazendo com que a mesma cedesse e na Figura 10 podemos identificar que a instalação não foi planejada suficiente para suportar os fortes ventos, fazendo com que a estrutura caísse junto com o arranjo fotovoltaico.

Figura 9: Queda de telhado com placas fotovoltaicas.



Fonte: CREA-PR, G1, 2019.

Figura 10: Falha ao dimensionar o suporte da estrutura.



Fonte: SANTOS, COSTA, MOTTA & PIMENTEL, 2022.

3.3.2 Falhas de Desempenho

Os problemas de desempenho são aqueles que podem afetar a quantidade de energia produzida pelo sistema. Isso pode acontecer quando os módulos fotovoltaicos são mal dimensionados, inadequadamente instalados ou expostos a sombreamentos ou sujeira. Isso pode resultar de forma simples em uma produção insuficiente de energia, ou de uma forma mais complexa em causas de incêndios ou grandes danos (SANTOS, COSTA, MOTTA & PIMENTEL, 2022).

Os principais problemas de desempenho que estão relacionados a possíveis causas de incêndio são:

- Problemas de instalação: A instalação incorreta dos painéis solares, bem como a falta de manutenção, pode levar a problemas de desempenho. Estes podem ser causados por má colocação dos painéis no telhado, má orientação, problemas de ligação à rede elétrica, entre outros. Um exemplo comum seria quando ocorre uma configuração inadequada ou a ocupação dos módulos com diferentes orientações e inclinações dentro de uma mesma MPPT. Outro

exemplo seria a junção de *strings* com diferentes números de módulos na mesma MPPT, causando corrente reversa e podendo gerar um incêndio, como o que ocorreu na Figura 11 abaixo.

Figura 11: Incêndio nas placas causado pela corrente reversa.



Fonte: VINTURINI, 2019.

- Desgaste dos componentes: o desgaste dos componentes do sistema fotovoltaico, como cabos, inversores, etc., pode levar à redução da produção de energia. Um exemplo seria uma instalação do inversor em um local com altas temperaturas ou com pouca ventilação durante o dia, fazendo com que limite a geração do inversor por conta do superaquecimento e até mesmo causando um incêndio no inversor. As Figuras 12 e 13 mostram exemplos de uma instalação de inversor com pouca ventilação, fazendo com que ele sobreaqueça e limite sua geração.

Figura 12: Instalação do inversor em um abrigo metálico com pouca ventilação.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA..

Figura 13: Abrigo do inversor fechada sem circulação de ar.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA..

- Produção e instalação dos painéis solares: A má produção dos painéis fotovoltaicos pode gerar incêndios. Isso ocorre quando os painéis são instalados incorretamente, expostos a uma fonte de alta tensão, ou com falhas

de fabricação. Quando isso acontece, as células fotovoltaicas podem sobreaquecer, causando curtos-circuitos que podem desencadear um incêndio. Além disso, os cabos usados para conectar os painéis também podem sobreaquecer e causar incêndios.

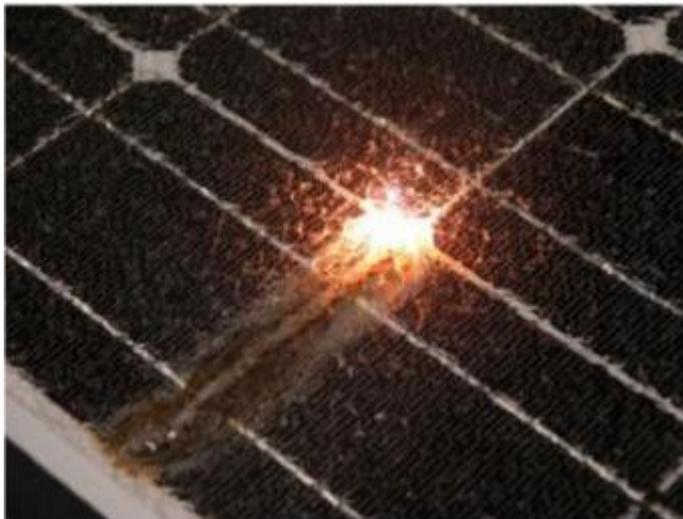
Se quaisquer problemas forem encontrados, é importante resolvê-los imediatamente para evitar possíveis incêndios. Um exemplo desse tópico seria na fabricação do módulo em que as soldas foram mal feitas ou até mesmo por conta dos responsáveis pela instalação ao subir nos módulos, causando uma quebra dos condutores internos ou enfraquecendo-os. Se isso ocorrer, têm-se um risco de gerar um arco elétrico interno e eventualmente um incêndio. A seguir, a Figura 14 mostra o aquecimento na microfissura causada pelo impacto nos módulos e a Figura 15 mostra um arco elétrico em série causado pelos danos os condutores internos.

Figura 14: Aquecimento nas microfissuras causados pelos impactos.



Fonte: BADRA, 2020.

Figura 15: Arco elétrico em série nas trilhas do módulo fotovoltaico.



Fonte: BADRA, 2020.

- Problemas de conexão à rede elétrica: Os problemas de conexão à rede elétrica também podem afetar a produção de energia de um sistema fotovoltaico. Problemas como a má qualidade dos cabos, defeitos de instalação e problemas de medição podem reduzir a produção de energia.

Um exemplo seria a má crimpagem dos conectores MC4 fazendo com que cause uma resistência na região, um sobreaquecimento e até mesmo derretendo-os, sendo importante utilizar os alicates corretos para realizar a crimpagem de conectores MC4 e terminais. Outro exemplo seria por erros de projeção dos cabos que deveriam ser calculadas de acordo com a seção do cabo e a queda de tensão aceitável para o projeto.

A corrente máxima de cabos CA deve ser calculada de acordo com a seção do cabo, a temperatura do ambiente, a temperatura máxima permitida para o cabo, e a queda de tensão aceitável para o projeto. Recomenda-se que a corrente máxima dos cabos CA e CC seja sempre calculada com base em seções de cabos de alta qualidade e que suportem as temperaturas do ambiente.

O dimensionamento correto dos cabos é importante para garantir a eficiência e a segurança da instalação de acordo com a NBR 16612. A seguir a Figura 16 mostra uma falha da crimpagem do conector MC4, que gerou até mesmo o derretimento do conector. Já a Figura 17 mostra emendas inadequadas que não oferecem isolação

elétrica e também não proporcionam um bom contato elétrico, em que o ideal seria realizar uma emenda com conectores MC4.

Figura 16: Conectores MC4 com má instalação.



Fonte: SANTOS, COSTA, MOTTA & PIMENTEL, 2022.

Figura 17: Emendas inadequadas.



Fonte: SANTOS, COSTA, MOTTA & PIMENTEL, 2022.

- Dimensionamentos do DPS: O DPS foi desenvolvido para atender às necessidades de proteção das instalações elétricas. Ele é um dispositivo útil que oferece segurança e confiabilidade para as instalações elétricas, evitando que elas sejam danificadas por surtos de tensão. Além disso, o DPS é muito prático, pois pode ser instalado em qualquer instalação elétrica, independentemente de seu tamanho ou tipo. Por isso, é importante que as instalações elétricas sejam equipadas com um dispositivo de proteção contra surtos adequado.

Os dispositivos próprios para corrente contínua não são projetados para funcionar em circuitos de corrente alternada, pois seu desempenho pode ser prejudicado. Por exemplo, a corrente de pico da corrente alternada pode ser maior do que a corrente contínua, o que pode causar danos aos componentes.

Portanto, é importante certificar-se de que os dispositivos utilizados são adequados para a aplicação pretendida. A Figura 18 mostra o DPS de corrente alternada sendo usado em circuitos de corrente contínua, fazendo com que ele perdesse a isolação e levando ao arco elétrico.

Figura 18: DPS para proteção CA em uso em circuito de CC.



Fonte: VINTURINI, 2019.

- Problemas com disjuntores e com fusíveis: os disjuntores e fusíveis também ajudam a garantir a proteção elétrica. Eles se desconectam automaticamente

quando ocorre curtos circuitos e sobrecargas. Dessa forma, eles evitam que ocorram acidentes e previnem que os equipamentos sejam danificados devido à sobrecarga.

A manutenção desses dispositivos é essencial para garantir sua eficiência e segurança. Deve-se conferir periodicamente se os disjuntores e fusíveis estão em boas condições de funcionamento e substituí-los caso eles estejam danificados ou desgastados. Isso garante que a instalação continue sendo segura e que os equipamentos possam funcionar corretamente. A Figura 19 a seguir apresenta o resultado de uma manutenção inadequada em que foi feita a troca de dois fusíveis por duas barras de cobre, causando um risco de sobreaquecimento podendo levar a um incêndio.

Figura 19: Manutenção inadequada da substituição do fusível.



Fonte: SANTOS, COSTA, MOTTA & PIMENTEL, 2022.

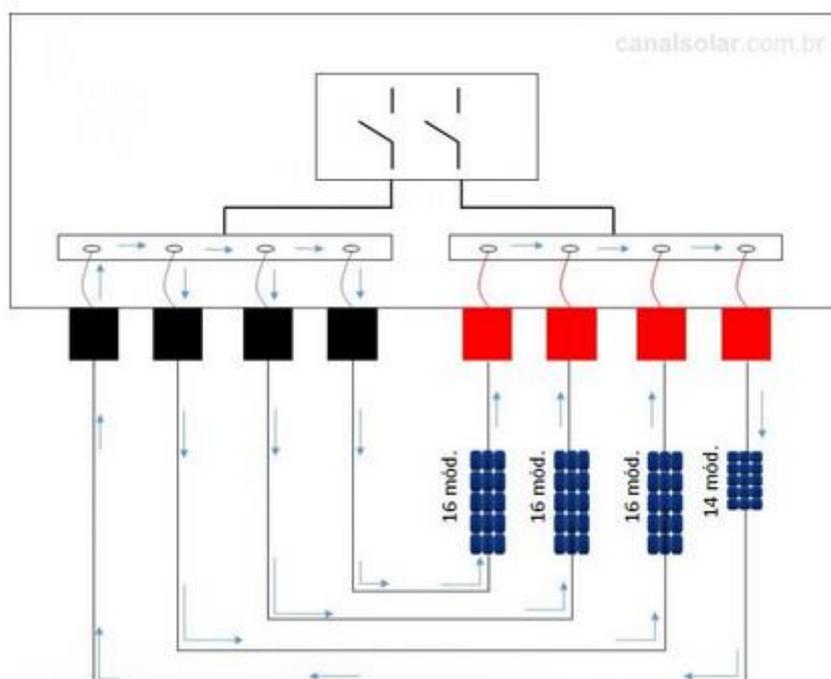
3.3.3 Falhas Elétricas

Os problemas elétricos referem-se à segurança e confiabilidade do sistema, assim como à sua eficiência. Um projeto inadequado pode levar ao uso de equipamentos inadequados, ao risco de choque elétrico, incêndios, além de reduzir a eficiência do sistema (SANTOS, COSTA, MOTTA & PIMENTEL, 2022).

Outro ponto a ser comentado que pode ser uma das condições para os incêndios fotovoltaicos é a ocorrência da corrente reversa. A corrente reversa é um efeito indesejado que pode acontecer em sistemas fotovoltaicos devido a diferenças de tensão de circuito aberto (V_{oc}) causadas por sombreamento. Quando ela ocorre faz com que haja um fluxo de corrente ao contrário do fluxo de corrente de operação normal de um painel fotovoltaico, o que pode causar superaquecimento do módulo e redução da eficiência das células.

É importante que os sistemas fotovoltaicos sejam bem dimensionados e monitorados para evitar o surgimento de corrente reversa. Além disso, há dispositivos, como o diodo *bypass*, que são usados para bloquear a passagem da corrente reversa e evitar os problemas de superaquecimento, redução de eficiência e degradação dos componentes, garantindo a segurança e a eficiência do sistema. A Figura 20 a seguir mostra um esquemático de um paralelismo de *strings* com quantidades diferentes de painéis causando a corrente reversa na menor.

Figura 20: Paralelismo de *strings* com diferentes quantidades de painéis ocasionando a corrente reversa.



Fonte: CARVALHO, 2019.

A Figura 20 acima mostra um exemplo de paralelismo de quatro *strings* com MPPT, em que três *strings* apresentam a mesma quantidade de módulos enquanto a

quarta *string* apresenta uma quantidade menor de módulos, tendo uma tensão menor que as outras três *strings*. A partir desse momento, o arranjo de três *strings* vai ver a quarta *string* como uma carga. Logo as três *strings* irão alimentar a quarta *string* com uma corrente no valor das três *strings* somadas, causando um sobreaquecimento nas placas e provocando um incêndio.

A norma NBR 16690 fala que para sistemas fotovoltaicos de três ou mais *strings* é obrigatório ter um fusível de *string* ou um diodo de bloqueio. O diodo de bloqueio e o fusível de *string* possuem os mesmos objetivos do diodo de *bypass*.

3.3.4 Arcos Elétricos

Outra situação comum das causas de incêndio fotovoltaico são os arcos elétricos. Na Alemanha um estudo realizado por Laukamp e colaboradores (2013) apontam-no como risco fundamental para os incêndios fotovoltaicos. O arco elétrico é um fenômeno de eletricidade que se caracteriza por uma descarga luminosa e calorífica entre dois condutores, ou entre um condutor e um material isolante, provocada pela passagem de corrente elétrica.

Ele é gerado devido à descontinuidade ou à falha de isolamento entre dois condutores ou entre um condutor e um material isolante. Quando ocorre o arco elétrico, o condutor descarrega corrente elétrica no ar, o que provoca a eletrização do ar ao seu redor, o que resulta na formação de um “flash”, que é a liberação rápida de energia, causando o superaquecimento do ar, transformando em plasma com temperaturas superiores de 35.000°F, o que equivale entorno de 19.427°C. Este arco elétrico acontece somente em tensões superiores a 120V (SOUZA, 2021).

O arco elétrico pode ser ou de corrente contínua ou de corrente alternada, sendo que a diferença entre os arcos elétricos é principalmente devido à forma como a corrente atravessa o arco. Na primeira a corrente flui constantemente, enquanto que na outra a corrente é periódica, ou seja, ela cresce e decresce periodicamente.

Esta diferença tem várias implicações práticas para o uso dos arcos elétricos. Por exemplo, os arcos elétricos em corrente contínua necessitam de uma corrente constante para mantê-los acesos. Se a corrente for muito baixa, o arco se apagará. Por outro lado, os arcos em corrente alternada não necessitam de uma corrente constante para mantê-los acesos, pois a corrente é periódica, o que significa que eles serão reacendidos periodicamente (SOUZA, 2021).

Outra diferença significativa entre os arcos elétricos é a duração. Em corrente contínua tende a durar mais tempo do que em corrente alternada. Isso se deve ao fato de que a corrente contínua não tem cruzamento por zero, o que significa que o arco não será interrompido periodicamente. Por outro lado, os arcos elétricos em corrente alternada são interrompidos periodicamente, o que reduz o tempo de duração (SOUZA, 2021).

Finalmente, os arcos elétricos em corrente contínua são mais difíceis de controlar do que os arcos em corrente alternada. Isso se deve ao fato de que a corrente contínua não tem cruzamento por zero, o que significa que a corrente não pode ser facilmente cortada para interromper o arco. Em contraponto, os arcos em corrente alternada podem ser facilmente interrompidos cortando a corrente, sendo assim ocorre o contrário da corrente contínua (SOUZA, 2021).

Nos sistemas fotovoltaicos, o arco elétrico ocorre devido ao resultado de uma intensa descarga elétrica entre os terminais de um circuito fotovoltaico. Eles podem ser causados por conexões soltas, materiais defeituosos ou maus contatos. Um estudo aponta que existem quatro causas principais para a incidência de um arco elétrico, sendo elas (LAUKAMP; BOPP; GRAB; WITWER; HABERLIN; HEECKEREN; PHILLIP; REIL; SCHMIDT; SEPANSKI; THIEM & VAANSSEN, 2013):

1. Erros em projetos mecânicos;
2. Erros de projetos elétricos;
3. Mão de obra desqualificada; e
4. Influências externas.

O arco elétrico pode causar danos significativos ao sistema fotovoltaico, incluindo a destruição de componentes, fogo e choque elétrico. Por essa razão, é importante realizar uma inspeção regular do sistema, para garantir que esteja livre de arcos elétricos (SOUZA, 2021). Na Figura 21 é possível verificar um incêndio que foi gerado devido ao arco elétrico do circuito de corrente contínua.

Figura 21: Incêndio ocasionado por arco elétrico no circuito de corrente contínua com inversor.



FONTE: SOUZA, 2021

Há três tipos de arcos elétricos em sistemas fotovoltaicos, que são:

1 – Arco em série: é um arco elétrico que ocorre quando os terminais de um dispositivo elétrico, como um interruptor, fusível ou outro componente, são conectados em série com a fonte de alimentação. Quando isso acontece, pode haver um curto-circuito que libera uma grande quantidade de energia elétrica. Isso pode danificar os componentes elétricos conectados e criar uma chama elétrica.

O arco em série também pode danificar os cabos e conectores usados para conectar os dispositivos, bem como outros componentes elétricos próximos. Para evitar arcos em série, é importante assegurar que todos os dispositivos elétricos estejam corretamente conectados e que os cabos e conectores estejam em boas condições de funcionamento. Além disso, é importante manter todos os componentes elétricos limpos e livres de sujeira para reduzir o risco de arcos.

2 - Arco em paralelo: ocorre quando dois condutores de polaridades opostas entram em contato, o que resulta em danos significativos, causando sobrecarga nos condutores e levando aos incêndios. Para evitar esse tipo de arco deve-se usar materiais isolantes para prevenir o contato entre os dois condutores de polaridades opostas e também projetar o sistema fotovoltaico de modo que não haja tensões elevadas nos condutores.

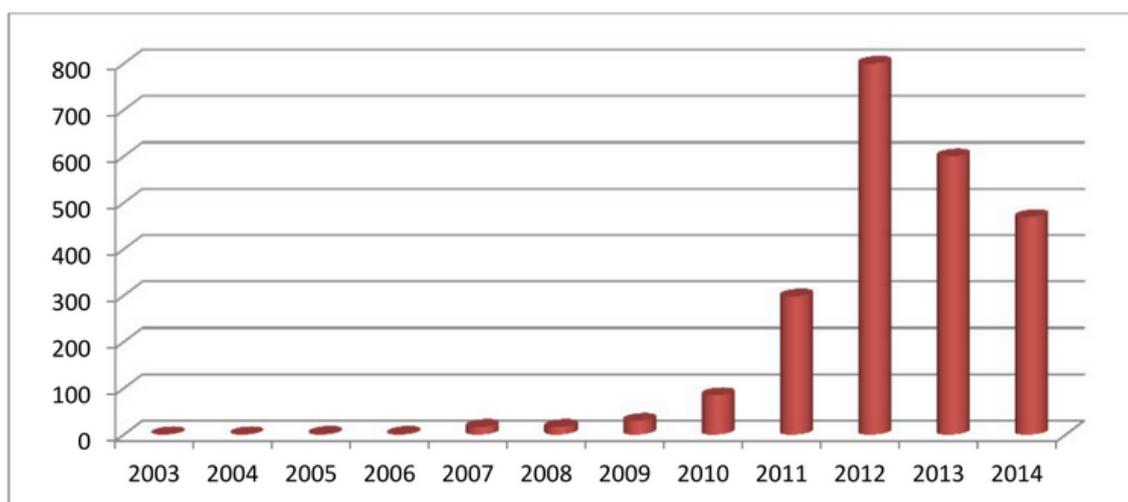
3 – Arco para a terra: para evitar arcos para a terra, os sistemas fotovoltaicos devem ser aterrados apropriadamente para fornecer um caminho para a descarga

segura da corrente. As faltas à terra são aterradas usando fios de conexão de aterramento de alta qualidade instalados ao longo do sistema. Quando uma falta à terra ocorre, a corrente flui pelo fio de aterramento que direciona a corrente para um ponto de aterramento seguro. Se o sistema não estiver aterrado adequadamente, o arco poderá se formar, o que pode resultar em danos aos equipamentos e ferimentos a trabalhadores.

Os riscos de segurança em sistemas fotovoltaicos são: a alimentação dos módulos fotovoltaicos que não podem ser desligadas, pois os módulos ficam gerando enquanto estiver com sol; quando se trabalha com inversores tradicionais em que uma *string* pode gerar mais de 1000V em c.c, resultando em um risco de arco elétrico levando a um incêndio fotovoltaico; a falta de qualificação de funcionários ao operar com circuitos de corrente contínua, pois além de haver riscos de eletrocussão devido ao contato com parte energizadas, também existe risco de queda dos telhados em que se está realizando a instalação do sistema fotovoltaico.

Na Itália, no ano 2012 a quantidade de casos de incêndios fotovoltaicos foram de quase 800, e com este elevado número foi necessário que as instituições do país solicitassem e criassem novas normas para conter tais ocorrências. Foi observado que no ano 2014, a quantidade de incêndios diminuiu para pouco mais de 400 incêndios, conforme ilustrado no Gráfico 1 que se segue (SOUZA, 2021).

Gráfico 1: Dados de incêndios relacionados a usinas fotovoltaicas na Itália.

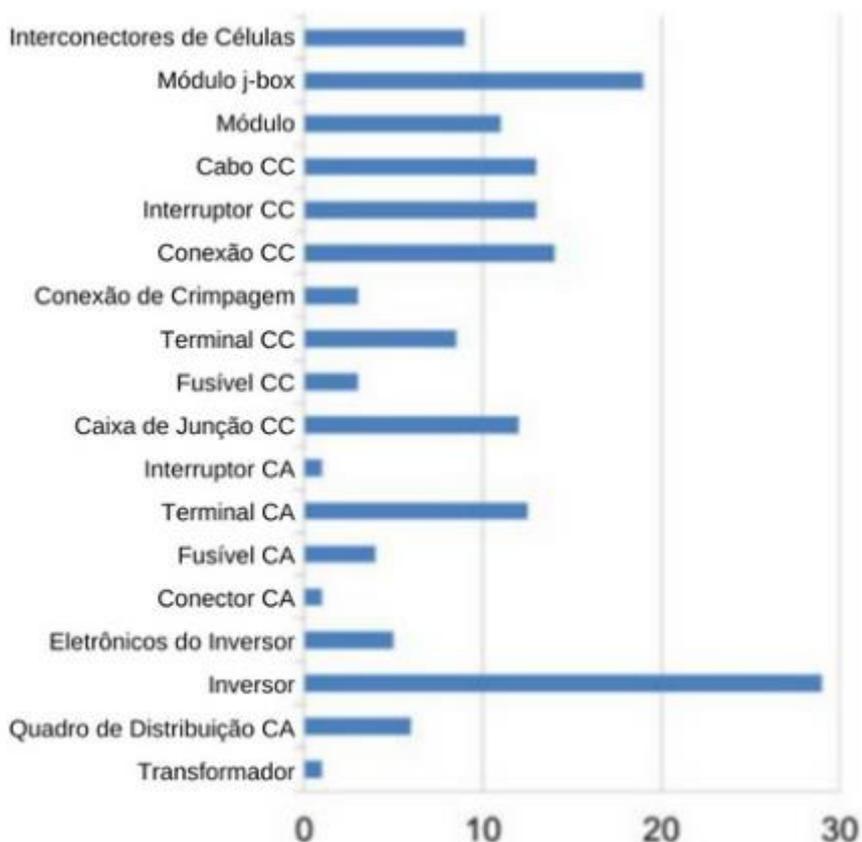


Fonte: SOUZA, 2021.

Além disso, o estudo de Fiorentini, Marmo, Danzi, e Puccia (2016, citado por Souza, 2021) apontou que os incêndios em usinas fotovoltaicas geralmente ocorrem em caixa de conexão, em apenas alguns módulos ou até mesmo incêndios em grande proporção, que geralmente iniciam-se nos telhados dos edifícios com usinas fotovoltaicas.

Na Alemanha, foi identificado que entre 400 incêndios que ocorreram no país no período de 1995 a 2012, 45% (180 casos) foram por conta dos sistemas fotovoltaicos. Além disso, foi apresentado que a maior quantidade dessas situações teve como principal causador os inversores dos sistemas. O Gráfico 2 mostra os principais causadores dos incêndios deste estudo.

Gráfico 2: Componentes aonde deram a origem do incêndio.



Fonte: SOUZA,2021 (TRADUZIDO).

No Brasil a ANEEL contabilizou em 2022 mais de 1 milhão usinas de gerações próprias de energia fotovoltaica. Com esse grande número, há de se entender a preocupação do corpo de bombeiros com esses sistemas e o motivo que os levaram

a apresentar para a ABNT um pedido para que seja elaborado uma norma de segurança, diminuindo os riscos de incêndios pelo país.

3.4 Possíveis Soluções ou Formas de se Amenizar Riscos e Incêndios Fotovoltaicos

Conforme apresentadas as normas existentes auxiliam em um bom desempenho dos sistemas fotovoltaicos. Contudo, ainda se faz necessária novas normas brasileiras direcionadas a segurança desses sistemas e a prevenção de incêndios.

Nos países com o mercado mais maduro de sistemas fotovoltaicos, são solicitadas diferentes medidas de segurança, dentre elas:

- GFDI (Circuito de Detecção e Interrupção de Falta Terra) que seria o arco elétrico entre um condutor carregado e o terra;
- AFCI (Circuito de Detecção e Interrupção de Arco Elétrico) são equipamentos inseridos dentro ou fora do inversor;
- Redução da energia potencial do arco; e
- Proteção contra choque elétrico.

Dentre estas medidas alguns equipamentos já atendem esses requisitos, que são:

- Micro inversores; e
- Otimizadores de Potência.

Esses equipamentos já são equipados com dispositivos contra correntes reversas nos módulos, atendem os requisitos contra o arco elétrico e utilizam a tecnologia MPLE (*Module Level Power Electronics* – “Módulos de Maiores Potências”).

Os micros inversores são instalados abaixo dos módulos fotovoltaicos, transformando a corrente contínua em corrente alternada. Os módulos são conectados em pares ou individualmente, fazendo com que a tensão fique em torno de 40V – 45V individualmente ou em torno de 90V quando ligados dois módulos, atendendo a faixa de tensão de segurança de 120V citados na NBR 5410 e na NBR 16690.

Já os otimizadores de potência são conectados em um ou dois módulos fotovoltaicos em série. Cada otimizador é ligado em série até o inversor e são equipamentos que trabalham somente com inversores *strings*. A tecnologia dos otimizadores atendem a faixa de tensão de segurança e são equipados com diodo de *bypass*, uma proteção contra sobrecorrente e contra a corrente reversa, mitigando os riscos de surgir a corrente reversa nas *strings*.

Os dois equipamentos têm a função de desligamento rápido; assim que for desligado o disjuntor do quadro de distribuição, a tensão do sistema permanece em 1V, aumentando apenas quando ligado o disjuntor da usina fotovoltaica ou a chave do inversor. As Figuras 22 e 23 mostram um otimizador de potência e um micro inversor.

Figura 22: Micro inversor da marca *Apsystems*.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA..

Figura 23: Otimizador de potência.



Fonte: SOLAREEDGE TECHNOLOGIES, 2021.

Com todos estes fatos, reforça-se a importância de se ter cuidado tanto com as instalações quanto manutenção dos painéis fotovoltaicos, para que seja possível evitar diferentes incidentes. Outra forma de prevenir incêndios é certificar-se de que os painéis fotovoltaicos são instalados e mantidos de acordo com as normas e regulamentos aplicáveis. É sempre válido estar alinhado e atualizado com os novos equipamentos que venham a surgir para prevenir qualquer contravenção. Além disso, é importante verificar periodicamente o sistema para garantir que ele está funcionando corretamente.

4 CONCLUSÃO

Com base nessas informações, é possível concluir que para garantir um bom desempenho do sistema fotovoltaico e evitar qualquer risco de incêndio, é necessário realizar uma boa instalação e manutenção, além de garantir que os painéis solares sejam de boa qualidade. É de extrema importância que sejam avaliadas e seguidas as normas vigentes para que qualquer equívoco seja evitado.

Percebeu-se que as referidas normas nos trazem muito conteúdo acerca de quais equipamentos utilizar nos sistemas fotovoltaicos em si, quais os procedimentos a serem seguidos e seguem determinados objetivos técnicos direcionados aos projetos elétricos, equipamentos a serem utilizados, vistorias que devem ocorrer, monitoramento dos sistemas, entre outros.

Contudo, pouco abordam em relação aos melhores métodos de realmente se prevenir contra arcos elétricos, que como mostrado no estudo é uma das principais causas para os incêndios em usinas fotovoltaicas. Com o aumento cada vez maior da busca e instalações desta fonte de energia, é primordial que ocorram estes estudos e o estabelecimento destas novas normativas.

Além disso, uma sugestão de trabalho futuro que não pode ser abordado neste texto, mas que também é válido analisar, seria em relação ao descarte correto das placas e células fotovoltaicas. Estes materiais são tóxicos para o meio ambiente e a população, e ainda não existe um protocolo em normas relativas sobre como executar este descarte de maneira adequada.

5 REFERÊNCIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 61643 - 32:** Dispositivos de Proteção Contra Surtos de Baixa Tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410:** Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419:** Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16274:** Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede – Requisitos Mínimos Para Documentação, Ensaios Para Comissionamento, Inspeção e Avaliação de Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16612:** Cabos de Potência Para Sistemas Fotovoltaicos, Não Halogenados, Isolados, Com Cobertura – Requisitos de Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16690:** Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos – Requisitos de Projetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BADRA, M. **Saiba os Reais Riscos de Incêndios em Sistemas Fotovoltaicos.** Canal Solar, Campinas, 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/saiba-os-reais-riscos-de-incendios-em-sistemas-fotovoltaicos/>. Acesso em: 02 de Janeiro de 2023.

BANCO BV. **Qual é o Passo a Passo Para a Instalação de Energia Solar? Entenda Aqui.** Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.bv.com.br/bv-inspira/parceiro-solar/instalacao-de-energia-solar>. Acesso em: 20 de Novembro de 2022.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO – BID. **Visibilidade Técnica, Econômica e Projeto Executivo de Sistema de Microgeração de Energia Solar Fotovoltaica – DEINTER-9.** São Paulo, Brasil, 2019. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/energia-fotovoltaica/wp-content/uploads/sites/245/2019/07/estudo-de-viabilidade-e-projeto-executivo-deinter-9.pdf>. Acesso em: 20 de Novembro de 2022.

CARVALHO, J. **Estudo de Caso: Incêndio em Inversor Solar Fotovoltaico**. Canal Solar, Campinas, 2019. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/estudo-de-caso-incendio-em-inversor-solar-fotovoltaico/>. Acesso em: 19 de Janeiro de 2023.

CONRADO, D. M. **Estudo dos Principais Aspectos de Manutenção em Sistemas Fotovoltaicos On-grid**. Trabalho de Conclusão de Curso em Bacharel de Engenharia Elétrica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2021, p. 1-91. Disponível em: https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/2705/1/TCC_DeyvisonMunizConrado.pdf. Acesso em: 12 de Outubro de 2022.

CREA – PR. **Placas Solares Podem Causar Sobrecarga nos Telhados**. G1. Globo, Paraná, 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/especial-publicitario/crea-pr/engenharias-geociencias-e-voce/noticia/2019/11/06/placas-solares-podem-causar-sobrecarga-nos-telhados.ghtml>. Acesso em: 02 de Janeiro de 2023.

DRABACH, D. Z.; SHATALOFF, A. & SACARIN, L. P. **A Importância dos Cuidados Técnicos de Manutenção, no Sistema de Placas Fotovoltaicas e Inversores de DC/AC Instalado no Supermercado Michelon, na Cidade de Foz do Iguaçu – PR**. Uniamérica – Faculdade União das Américas, 2019, p. 1-12. Disponível em: <https://pleiade.uniamerica.br/index.php/bibliotecadigital/article/view/757/833>. Acesso em: 20 de Novembro de 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2022**. Empresa de Pesquisa Energética, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 15 de Agosto de 2022.

GIL, A. C. **Como Classificar as Pesquisas?** IN.: Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008, p. 45-62. Disponível em: https://sqcd.fc.unesp.br/Home/helber-freitas/tcci/gil_como_elaborar_projetos_de_pesquisa_anto.pdf. Acesso em: 09 de dezembro de 2022.

LAUKAMP, H.; BOPP, G.; GRAB, R.; WITTEWER, C.; HABERLIN, H.; HEECKEREN, B.V.; PHILLIP, S.; REIL, F.; SCHMIDT, H.; SEPANSKI, A.; THIEM, H. & VAANSSEN, W. **PV Fire Hazard – Analysis and Assessment of Fire Incidents**. 28TH EU PVSEC, Paris, 2013, p. 1-8. Disponível em: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/conference-paper/28-eupvsec-2013/Laukamp_5BV771.pdf. Acesso em: 30 de Janeiro de 2023.

MAUD, F. F.; FERREIRA, L.C. & TRINDADE, T. C. G.. **Energia Renovável no Brasil: Análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras**. Livros Abertos USP, 2017. Disponível em: <https://ead.uncamp.edu.br/blog/dicas-tcc-referencia-abnt#:~:text=As%20refer%C3%A2ncias%20bibliogr%C3%A1ficas%20ABNT%20s%C3%A3o,fazer%20a%20cita%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9%20diferente>. Acesso em: 15 de Agosto de 2022.

NEVES, I. C.; CAMARGO, J. A. & COTA, K. G. **Anota aí: Principais Materiais Usados na Fabricação de Módulos Solares**. Projeto Construção Mais, Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.projetoconstrucaomais.org/post/anota-a%C3%AD-principais-materiais-usados-na-fabrica%C3%A7%C3%A3o-de-m%C3%B3dulos-solares>. Acesso em: 12 de Outubro de 2022.

NUNES, E. G. S. **Prevenção Contra Choque Elétrico em Edificações Prediais do Distrito Federal: Estudo Exploratório das Normas NR 10, NBR 5410 e NBR 5419**. Trabalho de Conclusão do Curso em Bacharel de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, 2016, p. 1-157. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/17175/1/2016_EduardoGodoiSaldanha_tcc.pdf. Acesso em: 30 de Dezembro de 2022.

SANTOS, H. F. L.; COSTA, P. V. M.; MOTTA, A. C. S. G & PIMENTEL, M. B. **Problemas em Instalações Fotovoltaicas de Micro e Minigeração: Por que Ocorre e Como Prevenir**. IX Congresso Brasileiro de Energia Solar, Florianópolis, 2022, p. 1-10. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1199/1199>. Acesso em: 30 de Dezembro de 2022.

SCHERER, L. A.; SESSEGOLO, M. E. D.; BARCAROLO, T. B. & EDLER, M. A. R. **Fonte Alternativa de Energia: Energia Solar**. XX Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2015. Disponível em: <https://home.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais-2015/XX%20SEMIN%C3%81RIO%20INTERINSTITUCIONAL%202015%20-%20ANAIS/Graduacao/Graduacao%20-%20Resumo%20Expandido%20-%20Exatas,%20Agrarias%20e%20Ambientais/FONTE%20ALTERNATIVA%20DE%20ENERGIA%20ENERGIA%20SOLAR.pdf>. Acesso em: 13 de Setembro de 2022.

SOLAREGE TECHNOLOGIES. **Otimizador de Potência P370 / P500 / P505 / P601**. Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/repositorio>. Acesso em: 30 de Janeiro de 2023.

SOUZA, J. P. **Os Riscos do Arco Elétrico em Sistemas Fotovoltaicos e Soluções de Segurança – Parte 1**. Ecori, São José do Rio Preto, 2021. Disponível em: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/-parte-1---os-riscos-do-arco-eletrico-em-sistemas-fotovoltaicos-e-solucoes-de-seguranca>. Acesso em: 19 de Janeiro de 2023.

SOUZA, J. P. **Os Riscos do Arco Elétrico em Sistemas Fotovoltaicos e Soluções de Segurança – Parte 2**. Ecori, São José do Rio Preto, 2021. Disponível em: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/parte-2---os-riscos-do-arco-eletrico-em-sistemas-fotovoltaicos-e-solucoes-de-seguranca---parte-2>. Acesso em: 20 de Janeiro de 2023.

VINTURINI, M. **Causas e Efeitos na Corrente Reversa nos Módulos Fotovoltaicos**. Canal Solar, Campinas, 2019. Disponível em: <https://novo.canalsolar.com.br/corrente-reversa-fotovoltaico/>. Acesso em: 02 de Janeiro de 2023.

VOTORANTIM. **Tudo Sobre a Manutenção do Painel Solar e do Sistema Fotovoltaico**. Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-manutencao-do-painel-solar>. Acesso em: 13 de Setembro de 2022.