

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* FORMIGA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Krislley Luzia da Silva

**PESQUISA SOBRE OS PRINCIPAIS MÉTODOS DE ATERRAMENTO NA
INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Formiga - MG

2022

KRISLLENY LUZIA DA SILVA

**PESQUISA SOBRE OS PRINCIPAIS MÉTODOS DE ATERRAMENTO NA
INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Formiga, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura

Formiga – MG

2022

Silva, Krislley Luzia da
S586p Pesquisa sobre os principais métodos de aterramento na instalação de sistemas fotovoltaicos / Krislley Luzia da Silva -- Formiga : IFMG, 2022.
58p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura
Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Formiga.

1. Sistema fotovoltaico. 2. Proteção. 3. Aterramento. 4. Energia solar
5. Fontes renováveis. I. Moura, Renan Souza. II. Título.

CDD 621.3

KRISLLENY LUZIA DA SILVA

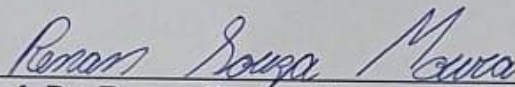
PESQUISA SOBRE OS PRINCIPAIS MÉTODOS DE ATERRAMENTO NA
INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Elétrica do Instituto Federal de Minas
Gerais como requisito para obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

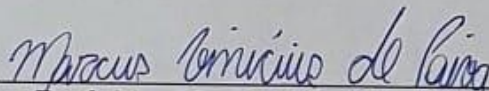
Avaliado em: 26 de maio de 2022.

Nota: 80,5

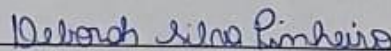
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Renan Souza Moura – IFMG (Orientador)



Prof. Me. Marcus Vinicius de Paiva



Engenheira Deborah Silva Pinheiro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia, aos meus pais, que sempre me deram força para conquistar essa vitória em minha vida e a minha irmã.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada. Ele que sempre escutou meus apelos nas horas de desesperos e sufocos. A Nossa Senhora Aparecida, que me fez prosseguir quando meus medos foram maiores que a minha fé.

Agradeço também aos meu pais, Divino e Lucilena, por fazerem do meu sonho o sonho deles, por estarem ao meu lado diante das dificuldades e por sempre acreditarem em mim e na minha capacidade de vencer. Obrigada por nunca deixarem que eu desistisse, sem dúvidas essa conquista também é de vocês.

Às minhas avós, Suely e Luzia, pelo amor incondicional, pelas orações e por estarem sempre ao meu lado. E também ao meu avô, Sebastião, pelo seu exemplo de fé, de honestidade e de amor ao próximo. Que o senhor, junto de Deus, esteja a compartilhar comigo essa conquista.

À minha irmã, Maryana, pelo incentivo, cumplicidade e paciência, que mesmo nas horas difíceis, nunca perdeu o sorriso do rosto, obrigada por ter sido meu porto seguro nos momentos de dificuldades.

Aos meus amigos de vida, que sempre estiveram presentes, me permitindo ter momentos de lazer e distração. Agradeço também aos amigos conquistados durante essa jornada no IFMG, que estiveram presentes nos melhores e piores momentos da minha vida.

Aos professores, agradeço por cada ensinamento, lição e por terem ensinado a respeitar e amar a profissão de Engenheira Eletricista. Em especial, ao meu orientador Prof. Dr. Renan Souza Moura, pela oportunidade de podermos trabalhar juntos e por todos os conhecimentos compartilhados durante a realização deste trabalho e durante o curso.

Enfim, a todos que estiveram comigo e contribuíram para a realização deste sonho, o meu muito obrigada!

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois, o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.”

Josué 1:9

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) aborda os métodos de aterramento utilizados em sistemas fotovoltaicos. De forma específica, foi realizada uma pesquisa com empresas instaladoras sobre quais métodos de aterramento são utilizados em empreendimentos fotovoltaicos. A relevância deste trabalho se dá, devido a expansão do mercado de energia solar distribuída no Brasil que ocorreu no ano de 2012, e desde então, este mercado tem crescido exponencialmente no país, segundo os dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. A metodologia de trabalho consistiu no envio de um formulário online e análise das suas respostas. Através desta pesquisa foram verificadas as ações mais comuns no momento da instalação e apresentadas configurações de aterramento para o sistema fotovoltaico, bem como, elencadas boas práticas para um correto aterramento elétrico.

Palavras chave: Sistema Fotovoltaico. Proteção. Aterramento.

ABSTRACT

This Course Completion Work (TCC) addresses the grounding methods used in photovoltaic systems. Specifically, a survey was carried out with installation companies on which grounding methods are used in photovoltaic projects. The relevance of this work is due to the expansion of the distributed solar energy market in Brazil that took place in 2012, and since then, this market has grown exponentially in the country, according to data from the Brazilian Photovoltaic Solar Energy Association. The work methodology consisted of sending an online form and analyzing the answers. Through this research, the most common actions at the time of installation were verified and grounding configurations for the photovoltaic system were presented, as well as good practices for a correct electrical grounding.

Keywords: Photovoltaic System. Protection. Grounding.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

DPS – Dispositivo de Proteção contra Surtos

DR – Dispositivo Diferencial Residual

ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica

FV – Fotovoltaico

IBRAP – Instituto Brasil de Inteligência em Administração Pública

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

NBR – Norma Brasileira

QGD – Quadro Geral de Distribuição

SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

SPDA – Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

UC – Unidade Consumidora

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Matriz energética elétrica brasileira	13
Figura 2 – Geração distribuída	14
Figura 3 - Potência instalada em energia fotovoltaica na geração distribuída por região do Brasil	15
Figura 4 - Potência instalada de energia fotovoltaica na geração distribuída em kWp por estado no Brasil.....	15
Figura 5 - Efeito fotovoltaico	21
Figura 6 - Estrutura de um sistema fotovoltaico <i>On-Grid</i>	22
Figura 7 - Estrutura de um sistema fotovoltaico <i>Off-Grid</i>	23
Figura 8 - Ligação dos módulos fotovoltaicos, (A) em série e (B) em paralelo	24
Figura 9 - Inversor Monofásico SIW200 WEG	24
Figura 10 - Ilustração de um modelo de <i>String-Box</i>	29
Figura 11 - Sistema de aterramento	33
Figura 12 - Esquema TN e suas três variantes: TN-C, TN-S e TN-C-S	34
Figura 13 - Esquema TT e suas duas variantes: TT (A) e TT (B)	35
Figura 14 - Esquema IT e suas variantes: IT (A) e IT (B)	35
Figura 15 - Esquema IT (B) e suas variantes: IT (B1), IT (B2) e IT (B3)	36
Figura 16 - Esquema TN-C-S: esquema TN-C no circuito da distribuidora de energia elétrica e TN-S no circuito da edificação	37
Figura 17 - Detalhes de montagem do QD de um sistema fotovoltaico trifásico	37
Figura 18 - Esquema de aterramento T-T	40
Figura 19 - Sistema fotovoltaico conectado à rede com aterramento próprio	41
Figura 20 - Sistema fotovoltaico conectado à rede com aterramento próprio e equipotencializado	42
Figura 21 - Regiões predominantes utilizadas na pesquisa	45
Figura 22 - Tipos de aterramento encontrado na UC.....	45
Figura 23 - Procedimento adotado quando a UC já possui aterramento	46
Figura 24 - Procedimento adotado pelos integradores quando não há aterramento de proteção na UC.....	47
Figura 25 - Esquema de aterramento aplicado nas UC's na instalação do sistema.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sistema on-grid separado em sistema puro e híbrido.....	22
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Problema	16
1.2 Justificativa	17
1.3 Hipótese	17
1.4 Objetivos.....	18
<i>1.4.1 Objetivo geral.....</i>	<i>18</i>
<i>1.4.2 Objetivos específicos</i>	<i>18</i>
1.5 Visão geral do TCC	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 Energia solar fotovoltaica	20
2.2 Efeito fotovoltaico	20
2.3 Classificação dos sistemas fotovoltaicos	21
2.4 Módulo fotovoltaico.....	23
2.5 Inversores c.c/c.a.....	24
2.6 Medidor de energia elétrica	25
2.7 Equipamentos de proteção utilizados em painéis fotovoltaicos.....	25
<i>2.7.1 Sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA).....</i>	<i>26</i>
<i>2.7.2 Dispositivos de proteção contra surto (DPS).....</i>	<i>28</i>
<i>2.7.3 String-box.....</i>	<i>29</i>
2.8 Segurança em instalações elétricas	30
2.9 Proteção e aterramento de SFCR.....	31
2.10 Aterramento e equipotencialização.....	32
<i>2.10.1 Sistema de aterramento</i>	<i>33</i>
2.11 Disjuntores	38
2.12 Fusíveis	38

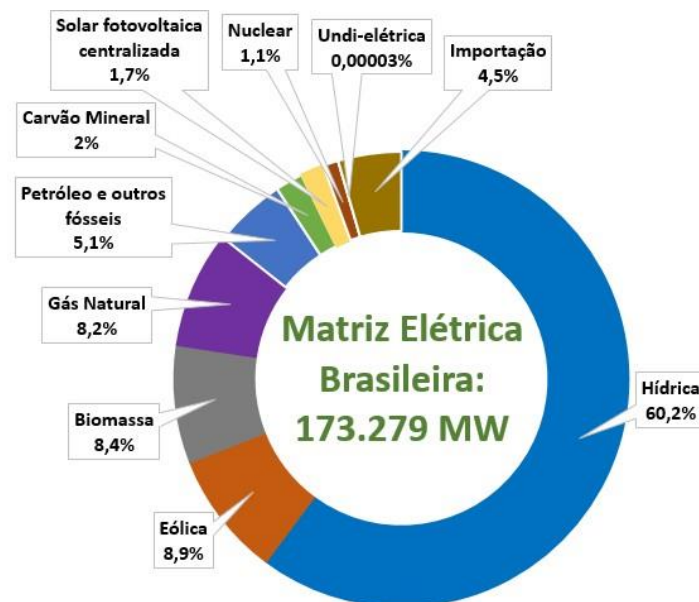
2.13 Estruturas metálicas.....	39
2.14 Métodos de aterramento utilizados em sistemas fotovoltaicos.....	39
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
5 CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS.....	51
ANEXOS.....	54

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por energia elétrica no planeta e a crescente necessidade da sociedade e de órgãos ambientais pelo uso de fontes de energias renováveis, que não causam grandes impactos ao meio ambiente, possibilitam, cada vez mais, a inserção de fontes alternativas no sistema elétrico brasileiro (ASSAIFE, 2013).

A energia elétrica pode ser obtida por diferentes formas, seja convencional ou não. As fontes de energia elétrica ditas convencionais são as usinas hidrelétricas de grande porte e as usinas termelétricas movidas a carvão mineral, óleo combustível, gás natural ou nucleares, consumindo, neste último caso, o urânio enriquecido. Já as fontes de conversão de energia ditas não convencionais são feitas através de geração elétrica de fontes alternativas de energia elétrica. Existe uma gama de possibilidades com fontes alternativas de energia elétrica, incluindo energia solar fotovoltaica, usinas eólicas, usinas utilizando-se da queima da biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e outras fontes menos usuais, como as que utilizam a força das marés. No Brasil, tem-se uma matriz energética majoritariamente hídrica, como mostrado na Figura 1 (EPE, 2017).

Figura 1 – Matriz energética elétrica brasileira



Fonte: ANEEL (2020).

As energias elétricas não convencionais inseridas no mercado estão desmonopolizando a geração e tornando cada vez maior a produção através de geração distribuída (GD) (FIGURA 2). A GD é a expressão dada à energia elétrica gerada no local do

consumo ou próximo aos consumidores, independente da potência, tecnologia e fonte de energia. Cogeneradores, geradores à partir de resíduos combustíveis, geradores de emergência, geradores para operação no horário de ponta, painéis fotovoltaicos, pequenas centrais hidrelétricas, parques eólicos, usinas nucleares, entre outros, podem fazer parte de uma GD (EPE, 2017).

Dentro deste contexto, o uso de redes inteligentes (“*Smart Grids*”) podem racionalizar o consumo e aumentar a eficiência energética de redes semelhantes às mostradas na Figura 2. Embora os custos de implementação de redes inteligentes sejam elevados, é possível gerenciar um sistema autossustentável (EPE, 2017).

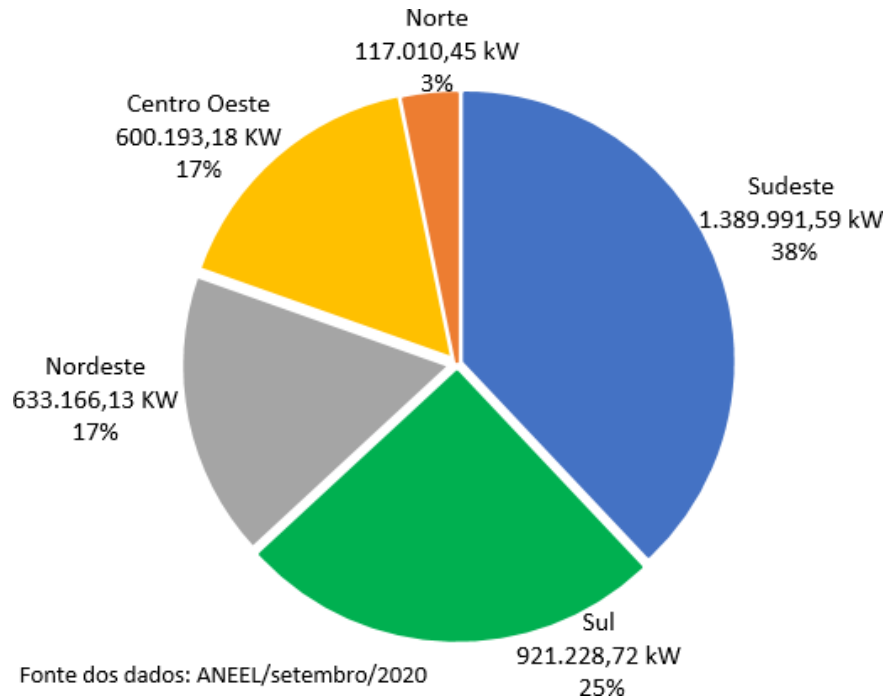
Figura 2 – Geração distribuída



Fonte: <http://eletrcuriosidades.blogspot.com/2012/11/smart-grid-redes-inteligentes.html>

A energia solar fotovoltaica surge, então, como uma opção que satisfaz as exigências da sociedade como um todo por um mundo sustentável. Como apresentado na Figura 3, a região sudeste apresenta a maior porcentagem de potência instalada de geração fotovoltaica, cerca de 38%, seguida da região sul, com 25%, e das regiões nordeste e centro-oeste com 17% cada. Com a menor porcentagem, tem a região norte, com 3%, de acordo com a ANEEL/2020 (ANEEL, 2020).

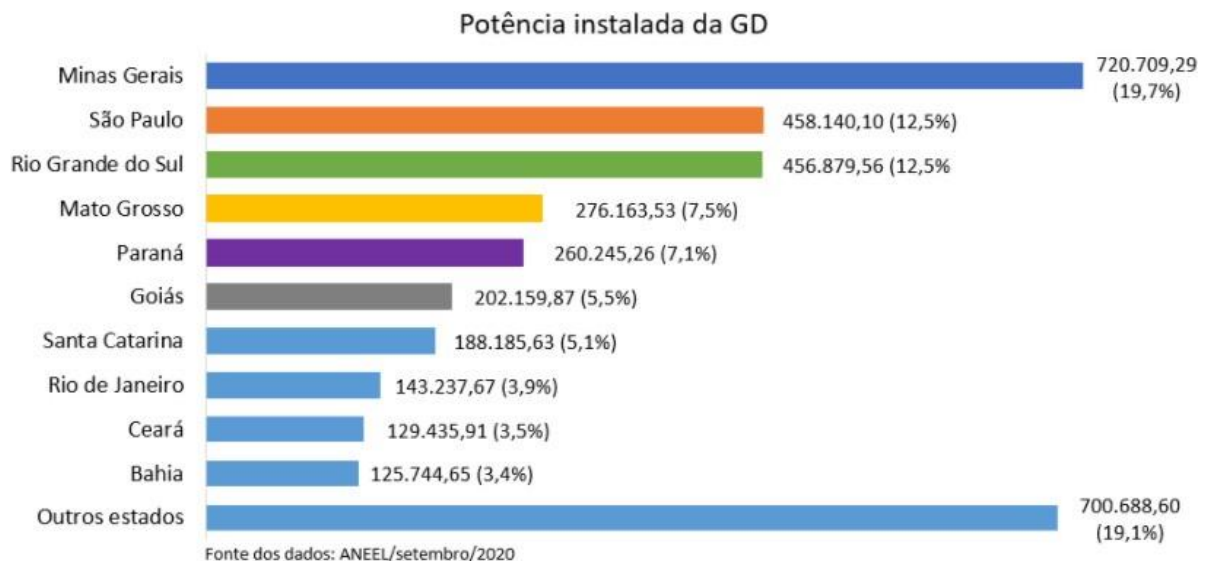
Figura 3 - Potência instalada em energia fotovoltaica na geração distribuída por região do Brasil



Fonte: ANEEL (2020).

Na Figura 4, pode-se observar que o estado de Minas Gerais tem a maior geração fotovoltaica na GD do país, segundo dados da ANEEL/2020, com cerca de 19,7%. Em seguida aparece os estados de São Paulo e do Rio Grande do Sul, com 12,5% de geração cada (ANEEL, 2020).

Figura 4 - Potência instalada de energia fotovoltaica na geração distribuída em kWp por estado no Brasil



Fonte: ANEEL (2020).

Além de apresentarem diversas vantagens, tanto para o sistema de energia elétrica, como para o meio ambiente, os sistemas fotovoltaicos são de fácil adaptação às estruturas físicas já existentes (FERREIRA, 2015), pois, normalmente, utilizam suportes semelhantes à dos coletores solares.

A expansão do mercado de energia solar distribuída no Brasil ocorreu no ano de 2012. Desde então, este mercado tem crescido exponencialmente no país, acumulando R\$4,8 bilhões em investimentos, segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). Entretanto, as normatizações acerca do tema não têm acompanhado de forma concomitante este desenvolvimento no Brasil, principalmente no que diz respeito ao aterramento desses sistemas e a sua proteção (ABSOLAR, 2021).

Assim sendo, através do estudo de normas nacionais e internacionais de padronização de instalações elétricas, o presente trabalho aborda os métodos de aterramento em sistemas fotovoltaicos, métodos de proteção e demais orientações. Foram verificadas as ações mais comuns no momento da instalação e elencadas boas práticas para um correto aterramento elétrico (BRAGA, 2008).

1.1 Problema

O sistema fotovoltaico (FV) pode estar conectado diretamente à rede elétrica de distribuição local ou, também, operar de forma autônoma em edifícios e residências de consumidores que assim optarem. Estes sistemas são capazes de produzir tensões e correntes perigosas durante sua operação desde microgeração (< 75 kW) à usinas FV (< 5 MW). Desta forma, a fim de garantir a segurança do público utilizador da tecnologia solar, dos instaladores e de profissionais que eventualmente venham a realizar a manutenção de equipamentos, assuntos relacionados ao aterramento de sistemas fotovoltaicos ganharam destaque no setor elétrico. Além disso, como os equipamentos utilizados nos sistemas de geração fotovoltaica são caros, é necessário protegê-los contra descargas atmosféricas e outros fenômenos transitórios (ASSAIFE, 2013).

Sistemas FV, como qualquer outro, podem apresentar falhas e, portanto, também merecem uma atenção especial quanto ao aterramento e proteção, que depende dos critérios e normas considerados. São considerados aterrados quando um dos condutores de corrente contínua (CC) está conectado ao sistema de aterramento e, de acordo com a *National Electrical Code* (NEC), isto será necessário quando os circuitos de corrente contínua (CC) e de corrente alternada (CA) não apresentarem conexão direta entre os respectivos condutores aterrados (NBR-5410, 2015).

Porém, ainda não existe consenso sobre qual o melhor tipo de aterramento que deve ser utilizado em aplicações fotovoltaicas, e tal fato é um problema que precisa ser discutido.

1.2 Justificativa

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Brasil é líder mundial em registros de descargas atmosféricas, com uma média de 77,8 milhões de descargas atmosféricas por ano. Logo, há a necessidade de proteção de estruturas em situação de risco, o que é feito através de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). Ainda segundo os pesquisadores do INPE, considerando um cenário que nada é feito e as emissões de gases-estufa continuam altas, o Brasil poderia saltar de 70 milhões de raios por ano para uma média de 100 milhões (INPE, 2017).

Um SPDA mal dimensionado pode causar acidentes, prejuízos financeiros e à estrutura, e em alguns casos, nas pessoas, no momento que estão expostas à incidência direta e indireta de descargas atmosféricas. É necessário analisar o risco na implementação do sistema, visto que, raramente, avaliações rápidas são suficientes para demonstrar todos os fatores necessários para uma boa execução (KAFER, 2018).

Como solução, faz-se necessário proteger os sistemas FV e seus componentes eletrônicos (inversor, sistema de diagnóstico remoto, linha principal geradora), tanto de danos causados por um impacto direto de um raio quanto contra os efeitos dos impulsos eletromagnéticos da descarga atmosférica. Desta forma, utilizando os protetores apropriados, é possível mitigar os riscos de queima e danos, protegendo, assim, o investimento realizado no sistema FV e, também a vida das pessoas (GOMES, 2018).

1.3 Hipótese

Diante disso, é possível saber que o aterramento consiste na ligação intencional de estruturas ou instalações com a terra, com intuito de garantir o funcionamento adequado da instalação, tendo o objetivo de proporcionar um caminho preferencial às correntes elétricas de surto, falta ou fuga, de forma a evitar riscos para as pessoas e os equipamentos (PINHO; GALDINO, 2014).

Para que o sistema de geração de energia elétrica FV atue de forma correta, é necessário ter um bom aterramento, seguindo a norma técnica da ABNT NBR 5410, que é a norma brasileira que estabelece as condições que as instalações elétricas de baixa tensão devem atender. A norma NBR 5410 deve ser aplicada em conjunto com as suas normas complementares (NBR-5410, 2004).

Sendo assim, este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta as hipóteses:

- Como as empresas que trabalham com a instalação de sistemas fotovoltaicos realizam o sistema de aterramento?
- Será que todas as empresas utilizam a mesma metodologia para proteger tais sistemas contra descargas atmosféricas ou eventuais danos elétricos devido as falhas dos componentes?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Este trabalho tem o objetivo principal de apresentar os métodos mais adotados por empresas para o aterramento e proteção de sistemas FV's.

Qualquer sistema elétrico está sujeito a condições de defeito, aos efeitos da exposição ao meio ambiente (como a deterioração das conexões elétricas e das instalações), a correntes de fuga, a dispositivos de proteção inadequados e a outros tipos de problemas, os quais podem ser menos nocivos às pessoas e aos equipamentos quando o sistema tem um aterramento qualificado, diminuindo, pois, riscos de choques e de incêndio. Utiliza-se no Brasil a norma NBR 5410 para instalações de baixa tensão em geral, porém ainda não existem normas ou regulamentos que abordam este importante tema (NBR-5410, 2015).

1.4.2 Objetivos específicos

Para que o objetivo geral seja alcançado, os seguintes passos intermediários (objetivos específicos) devem ser atendidos:

- Estudo teórico sobre os tipos de aterramento utilizados em sistemas fotovoltaicos;
- Coleta de dados sobre os tipos de aterramentos utilizados por empresas;
- Análise dos dados coletados.

1.5 Visão geral do TCC

Este Trabalho de Conclusão de Curso é dividido em 5 capítulos. Após uma breve introdução sobre o tema, apresentação da hipótese, justificativa e objetivos no capítulo 1, o capítulo 2 é responsável por apresentar os conceitos básicos para um melhor entendimento da metodologia proposta no capítulo 3. Por fim, os resultados e as considerações finais estão indicados, respectivamente, nos capítulos 4 e 5.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia solar fotovoltaica

Painéis fotovoltaicos transformam energia solar, a mais abundante energia renovável, em energia elétrica e, por esse motivo, é uma das formas de energia renováveis mais promissoras. Seu sistema de produção (semicondutores) não apresenta partes móveis, não libera calor residual, de modo que não modifica o equilíbrio da biosfera, e não influencia no efeito estufa, por não queimar combustíveis. Além disso, os painéis possuem instalação prática e, quando há necessidade de elevar a potência do sistema basta a instalação de novos painéis (BLUESOL ENERGIA SOLAR, 2021).

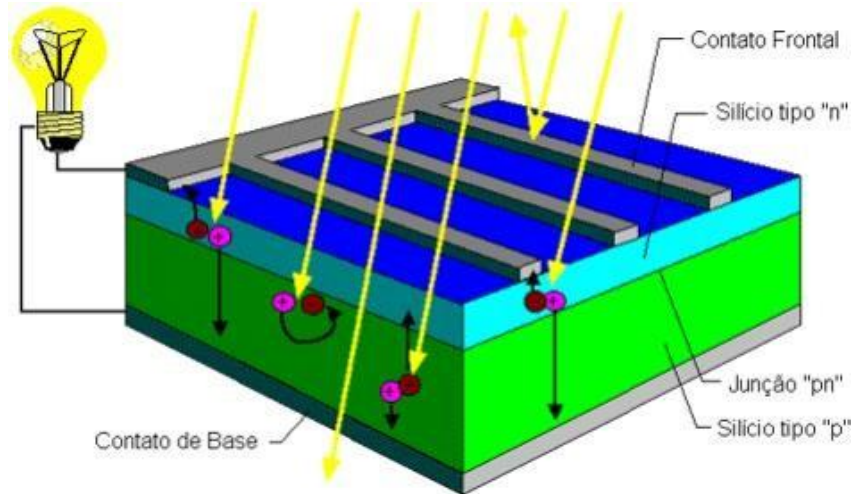
Ainda que seja uma energia de alto custo, quando comparado a energia convencional, a expectativa é que a evolução de pesquisas tende a diminuir os custos de produção, o que pode tornar o preço mais competitivo e, conseqüentemente, criar uma maior usabilidade.

2.2 Efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico, como mostrado na Figura 5, é a geração de energia ou corrente quando um material semicondutor é exposto à luz solar ou a qualquer outra fonte de luz. Esse processo só é possível porque os elétrons se movem entre as bandas de energia de materiais semicondutores (BLUESOL ENERGIA SOLAR, 2021).

Em materiais semicondutores existem três bandas de energia: a de valência, a de condução e uma chamada de “*gap*”. Quando o elétron recebe energia suficiente, ele migra para a banda de condução, gerando energia elétrica. Esse efeito foi observado pela primeira vez em 1839, pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel (BATISTA, 2019).

Figura 5 – Efeito fotovoltaico



Fonte: CRESESB (2014).

2.3 Classificação dos sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser instalados conectados à rede elétrica (“*on-grid*”) ou não (“*off-grid*”). Os sistemas conectados à rede substituem ou complementam a energia elétrica convencional disponível na rede elétrica e, já os sistemas isolados ou sem conexão são utilizados em locais remotos onde o custo para conectar à rede elétrica é elevado (ALVES, 2019).

O sistema fotovoltaico *on-grid* é aquele que está ligado diretamente à rede de distribuição da concessionária, é o responsável por produzir energia para abastecer residências e estabelecimentos comerciais com a finalidade de reduzir a quantidade de energia elétrica demandada da rede pública (ALVES, 2019).

A energia que o sistema *on-grid* produz que não é aproveitada pelo consumidor é chamado de energia excedente e é injetada na rede da concessionária na forma de créditos por um período de 60 meses. O consumidor pode optar por usar esses créditos em mais de uma residência ou estabelecimento. A Figura 6 mostra os principais componentes de um sistema *on-grid*, que são: painéis solares, inversores de frequência e medidores bidirecionais. Parte do sistema opera com corrente contínua, dos painéis ao inversor, e parte em corrente alternada, do inversor à rede de distribuição (ALVES, 2019).

Figura 6 - Estrutura de um sistema fotovoltaico *On-Grid*

Fonte: Figura adaptada de (VIRIDIAN, 2017).

O sistema conectado à rede elétrica pode ser dividido em puro e híbrido. Nos dois casos, os consumidores são atendidos por tensão alternada. A Tabela 1 mostra detalhadamente sobre os dois tipos de sistemas *on-grid* (BLUESOL ENERGIA SOLAR, 2021).

Tabela 1 - Sistema *on-grid* separado em sistema puro e híbrido

TIPO DE SISTEMA	ACÚMULO DE ENERGIA ELÉTRICA	COMPONENTES	APLICAÇÃO
PURO	Não	Inversor	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública, etc.
HÍBRIDO	Não	Inversor e gerador complementar	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública, etc.
	Sim	Inversor, gerador complementar e acumulador	Eletrificação rural, uso industrial, suprimento ininterrupto de energia, etc.

Fonte: Tabela adaptada de (SILVESTRI; TAKASAKI, 2014).

O sistema “*off-grid*”, ou seja, aquele que é isolado da rede elétrica, necessita de sistemas que sejam capazes de armazenar a energia produzida, como por exemplo, baterias, para que a energia possa ser utilizada em momentos que a radiação solar não é suficiente para gerar a energia necessária. Geralmente, este tipo de sistema é composto pelo painel fotovoltaico, controlador de carga, banco de baterias e inversor. Quando existem apenas cargas que podem ser abastecidas em corrente contínua, a presença do inversor é desnecessária (BLUESOL ENERGIA SOLAR, 2021).

A Figura 7 ilustra os principais componentes de um sistema *off-grid*. Usualmente, tais sistemas são utilizados para alimentar acionamento de bombas d’água, produção de hidrogênio, iluminação pública, telecomunicações, cercas elétricas, eletrificação de redes rurais, entre outros (ALVES, 2019).

Figura 7 - Estrutura de um sistema fotovoltaico *Off-Grid*

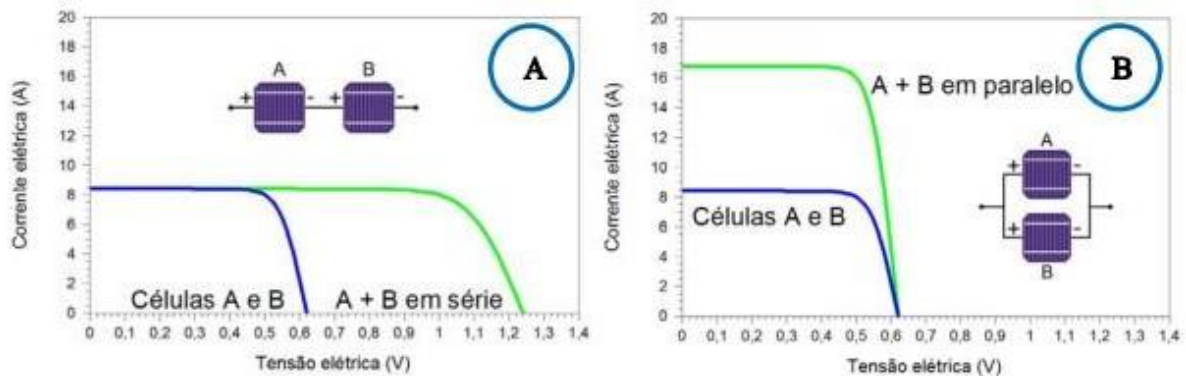


Fonte: Figura adaptada de (PORTAL SOLAR, 2021).

2.4 Módulo fotovoltaico

Uma célula fotovoltaica típica é composta por duas camadas de material semicondutor dos tipos p e n, além de uma grade de coletores metálicos e uma base metálica. O arranjo das células sob a mesma base metálica é denominado módulo fotovoltaico (GAZOLI, 2012). O módulo fotovoltaico é o componente básico do sistema gerador. A Figura 8 apresenta as características de corrente e tensão ao se realizarem as ligações em série e/ou paralelo entre os módulos.

Figura 8 - Ligação dos módulos fotovoltaicos, (A) em série e (B) em paralelo



Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014).

A quantidade de módulos conectados em série irá determinar a tensão de operação do sistema em corrente contínua (CC). Enquanto que a corrente elétrica do gerador solar é definida pelo somatório de conexões em paralelo de módulos individuais ou de *strings* (conjunto de módulos conectados em série). A potência instalada, normalmente especificada em CC., é dada pela soma da potência nominal dos módulos individuais (RUTHER, 2004).

2.5 Inversores CC/CA

Além dos módulos fotovoltaicos que possuem a função de converter a energia solar em energia elétrica na forma de corrente contínua, há também os inversores (FIGURA 9), que convertem corrente contínua em corrente alternada, com frequência e tensão compatíveis com os valores da rede elétrica (GEHRING, 2015).

Figura 9 - Inversor Monofásico SIW200 WEG



Fonte: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automação-e-Control-e-Industrial/Drives/Inversores-Solares-Fotovoltaicos/Inversor-Monofásico-SIW200/Inversor-Monofásico-SIW200/p/MKT_WDC_BRAZIL_INVERTER1PHASE_SIW200

Os inversores utilizados atualmente em SFCR incorporam funções de controle que influenciam no funcionamento do sistema, tais como: seguidor do ponto de máxima potência, conexão ou desconexão da rede em função das condições da mesma e da irradiação solar incidente sobre o arranjo, entre outras (RAMPINELLI; KRENZINGER; ROMERO, 2013).

Suas principais características técnicas estão ligadas aos parâmetros elétricos, como seus limites de tensão e corrente de entrada. A função de ilhamento ou antiilhamento é exigida pelas normas que especificam a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica, e é responsável por perceber a ausência de alimentação da rede, e desligando ou desconectando o inversor automaticamente para evitar acidentes. Desta forma, garante-se uma maior segurança do sistema e da unidade consumidora (UC) (GAZOLI, 2012).

Por fim, o inversor também necessita da aprovação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e/ou normas internacionais para atuar em território nacional, devendo estar sob critérios técnicos para funcionar corretamente nos sistemas geradores (GEHRING, 2015).

2.6 Medidor de energia elétrica

O padrão de entrada é o conjunto de instalações composto de caixa de medição, sistema de aterramento, condutores e outros acessórios indispensáveis para que a concessionária de energia elétrica faça a conexão da UC à rede local.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o medidor de energia elétrica é um dispositivo que tem a função de medir o consumo de energia elétrica. Quando a UC recebe a implementação de um SFCR, é necessária a troca do medidor existente, pois há a necessidade da medição nos dois sentidos de fluxo, ou seja, medição bidirecional. Para sistemas microgrids de geração distribuída, a troca para um medidor bidirecional não gera ônus ao consumidor (SOUZA, 2020).

Também vale ressaltar que qualquer desligamento programado para manutenção, que envolver a desenergização dos equipamentos de medição é executado pela concessionária (ANEEL, 2016).

2.7 Equipamentos de proteção utilizados em painéis fotovoltaicos

Os sistemas FV são considerados uma das melhores fontes de energia renovável em termos de custo de instalação, retorno do investimento, incentivo e benefício para os usuários

finais. Devido às características particulares de um sistema FV, a possibilidade de ser atingido por descargas atmosféricas é alta, pois normalmente o sistema é instalado ao ar livre.

Os impactos diretos de descargas atmosféricas nas redes de distribuição de energia não representam a maioria dos danos elétricos e eletrônicos causados nas instalações. A maior parte dos danos ocorre devido aos impactos próximos, geralmente dentro de algumas centenas de metros. De fato, por causa do Pulso Eletromagnético (PEM) associado à magnitude do impacto, os campos estáticos e elétricos causam a maior parte dos danos em equipamentos elétricos e eletrônicos desprotegidos (GOMES, 2018).

Assim, ao contrário do que se possa imaginar, os módulos FV em si não são os mais afetados, mas sim os inversores e controladores. Os bancos de baterias na maioria dos sistemas FV *off-grid*, atuam de forma razoável como um supressor de surto, mas isso pode danificar o controlador de cargas.

A fim de evitar falhas e danos aos equipamentos que levem a efeitos severos, é fortemente recomendado o uso de proteção contra raios em instalações FV. Assim sendo, devem ser avaliados em projeto de riscos a eventual necessidade de proteção contra descargas atmosféricas, pois são os meios essenciais de evitar danos aos sistemas (GOMES, 2018).

O dimensionamento correto e a utilização adequada de dispositivos de proteção contribuem para a minimização ou até mesmo a eliminação de falhas. Além dos dispositivos de proteção integrados aos equipamentos, a instalação de outros dispositivos de proteção externos deve ser prevista, como DPS e SPDA (GOMES, 2018).

2.7.1 Sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA)

A instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), em termos práticos, é formada por um para-raios ligado a uma malha de aterramento.

O propósito do SPDA é direcionar e dissipar as descargas atmosféricas para a terra, salvaguardando a integridade de uma estrutura e protegendo as pessoas em relação aos efeitos térmicos, mecânicos e elétricos associados a essas descargas (GOMES, 2018).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou no dia 22/05/2015, as mais atualizadas Normas Técnicas de Proteção contra Descargas Atmosféricas, ABNT NBR 5419:2015 em 4 partes:

- ABNT NBR 5419-1:2015 - Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 1: Princípios gerais.

Esta Parte da ABNT NBR 5419 estabelece os requisitos para a determinação de

proteção contra descargas atmosféricas. Esta Parte da ABNT NBR 5419 fornece subsídios para o uso em projetos de proteção contra descargas atmosféricas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 1).

- ABNT NBR 5419-2:2015 - Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 2: Gerenciamento de risco.

Esta Parte da ABNT NBR 5419 estabelece os requisitos para análise de risco em uma estrutura devido às descargas atmosféricas para a terra. Esta Parte da ABNT NBR 5419 tem o propósito de fornecer um procedimento para a avaliação de tais riscos. Uma vez que um limite superior tolerável para o risco foi escolhido, este procedimento permite a escolha das medidas de proteção apropriadas a serem adotadas para reduzir o risco ao limite ou abaixo do limite tolerável (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 1).

- ABNT NBR 5419-3:2015 - Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida.

Esta Parte da ABNT NBR 5419 estabelece os requisitos para proteção de uma estrutura contra danos físicos por meio de um SPDA - Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas - e para proteção de seres vivos contra lesões causadas pelas tensões de toque e passo nas vizinhanças de um SPDA (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 1).

- ABNT NBR 5419-4:2015 - Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura.

Esta Parte da ABNT NBR 5419 fornece informações para o projeto, instalação, inspeção, manutenção e ensaio de sistemas de proteção elétricos e eletrônicos (Medidas de Proteção contra Surtos - MPS) para reduzir o risco de danos permanentes internos à estrutura devido aos impulsos eletromagnéticos de descargas atmosféricas (LEMP) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 1).

As normas da ABNT NBR 5419:2015 - Partes de 1 a 4 - buscam fixar os requisitos de análise de risco, além das condições de projeto, instalação e manutenção de SPDA, para proteção de edificações e estruturas contra a incidência direta de raios sobre os equipamentos e pessoas no interior dessas edificações e estruturas, ou no interior da proteção imposta pelo SPDA instalado (GOMES, 2018).

De acordo com o ELAT (2018), os principais componentes de um SPDA, são:

- Sistema de captação;
- Condutores de descida;
- Terminais de aterramento;
- Condutores de ligação equipotencial.

O sistema de aterramento, ou a conexão intencional de estruturas ou instalações com a terra, tem o propósito de estabelecer um caminho preferencial para o fluxo de correntes

elétricas de surto, falta ou fuga, e desta forma preservar a integridade do sistema, e evitando riscos para as pessoas. Normalmente, são condutores de cobre ou revestidos com cobre enterrados no solo. As características do solo estão entre os fatores que determinam o nível de aterramento (ECORI ENERGIA SOLAR, 2021).

2.7.2 Dispositivos de proteção contra surto (DPS)

Segundo a empresa Schneider Electric, o DPS destina-se a limitar as sobretensões transitórias e/ou a desviar a corrente de surto. Os surtos elétricos resultam de diferentes fatores, como descargas de energia ou anomalias na rede elétrica (SCHNEIDER ELETRIC, 2021).

As descargas atmosféricas podem ser também responsáveis por surtos por incidência direta ou indireta. De forma direta, o raio atinge os painéis ou outros componentes. De maneira indireta, ocorre uma irradiação do campo eletromagnético gerado, conduzido por estruturas metálicas, mesmo que um raio caia a quilômetros de distância de uma construção (MARTINS, 2017).

Então, é preciso instalar um componente conhecido como dispositivo de proteção contra surto (DPS). O DPS detecta as sobretensões, desviando o surto elétrico para o sistema de aterramento em questão de frações de segundos. Assim, a corrente anormal não tem capacidade de atingir o sistema fotovoltaico (ABNT NBR 16690, 2019).

Conforme a norma ABNT NBR IEC 61643-1:2007, abaixo estão especificadas as três classes de DPS's conectados a sistemas de energia de baixa tensão:

- Classe I: permitem reduzir os efeitos diretos causados pelas descargas atmosféricas. O DPS classe I é instalado obrigatoriamente quando a edificação está protegida por um SPDA. Os ensaios do DPS classe I são realizados com uma corrente de choque impulsional (I_{imp}) de forma de onda 10/350 μ s. Ele deve ser instalado com um dispositivo de desconexão a montante (tipo disjuntor), cuja capacidade de interrupção deve ser no mínimo igual à corrente máxima de curto-circuito presumida no ponto da instalação;
- Classe II: são destinados a proteger os equipamentos elétricos contra sobretensões induzidas ou conduzidas (efeitos indiretos) causados pelas descargas atmosféricas. Os ensaios do DPS classe II são efetuados com corrente máxima de descarga ($I_{m\acute{a}x}$) de forma de onda 8/20 μ s. Ele pode ser instalado sozinho ou em cascata com um DPS classe I ou com outro DPS classe II. Também deve ser instalado com um dispositivo de desconexão a montante (tipo disjuntor), cuja capacidade de

interrupção deve ser no mínimo igual à corrente máxima de curto-circuito presumida no local da instalação;

- Classe III: são destinados à proteção fina de equipamentos situados a mais de 30m do DPS de cabeceira (normalmente instalado no quadro de distribuição de circuitos). O DPS classe III é testado com uma forma de onda de corrente combinada 1,2/50 μ s e 8/20 μ s.

A revista FotoVolt apresenta um breve resumo (2018, p. 12) referente a utilização de DPS's para proteção de sistemas FV:

Dispositivos de proteção contra surtos (DPS) protegem componentes valiosos contra eventos imprevisíveis. Para cada tipo de gerador FV - instalado no telhado, isolado da rede, ou usina solar fotovoltaica (USF) - deve ser elaborado um projeto específico de proteção contra raios e surtos. Essa proteção abrange as instalações de corrente contínua e alternada, além das redes de sinal.

2.7.3 *String-box*

A presença da *string-box*, mostrada na Figura 10, é indispensável para a proteção do sistema de energia solar. Ela consiste em um quadro elétrico instalado entre os painéis fotovoltaicos e o inversor. Os dispositivos que compõem esse quadro são a chave seccionadora, o Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS) e os fusíveis. Esses componentes estão preparados para intervir em caso de anomalias elétricas. Quando necessário, a chave seccionadora age interrompendo a passagem de energia no circuito.

Figura 10 - Ilustração de um modelo de *String-Box*



Fonte: <https://engehallrenovaveis.com.br/artigos/afinal-o-que-e-essa-tal-de-string-box-solar>

2.8 Seguranças em instalações elétricas

Para possibilitar segurança aos equipamentos elétricos, unidades consumidoras e pessoas, é necessária ciência com relação às formas de mitigação dos riscos de choques e danos elétricos. (MORENO, 1996). Dessa forma, cabe ressaltar, primeiramente, alguns conceitos que serão citados com maior frequência durante o trabalho. São eles:

- Massas: condutor de eletricidade que não tenha necessariamente função elétrica/eletrônica no circuito, sendo normalmente conectado à terra por motivos de segurança;
- Condutor vivo: é o condutor que está carregado no circuito, ou seja, que efetivamente esteja sendo percorrido por uma corrente elétrica;
- Condutor de proteção: é o condutor de aterramento principal, que liga o barramento de equipotencialização principal ao eletrodo de aterramento;
- Condutor neutro: é o condutor que apresenta em regime permanente a corrente elétrica e a diferença de potencial elétrico nulos;
- Condutor PEN: Condutor ligado a terra, combinando as funções de condutor de proteção e de condutor neutro.

Para evitar danos elétricos deve se prover proteção contra surtos ao longo da unidade consumidora e, em particular, junto aos equipamentos mais sensíveis, quando não possuírem proteção incorporada. Deve-se conferir a necessidade de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, caso a edificação não se enquadre em uma zona de baixo risco de incidência de descargas atmosféricas ou que suas características estruturais estejam dentro dos parâmetros de alto risco de incidência de descargas atmosféricas (KINDERMANN, 1995). Quando fala-se em unidade consumidora, refere-se a cada casa ou apartamento de forma unitária, que possui medidor de consumo elétrico próprio, enquanto que condomínios residenciais ou prediais, se caracterizam pela união de múltiplas unidades consumidoras de energia elétrica aglomeradas em um mesmo espaço e propriedade (ABNT NBR 5410, 2015).

Uma diferença de potencial pode ser criada quando circula uma corrente pelo condutor de proteção ou pela terra, entre a carcaça do equipamento e o aterramento da fonte de alimentação. A carcaça do equipamento poderá ser mantida no mesmo potencial da terra do sistema se o condutor de proteção do equipamento for de baixa impedância e não estiver ligado à

terra em nenhum ponto, exceto no ponto de aterramento da alimentação (MORENO, 1996).

A conexão dos equipamentos elétricos ao sistema de aterramento deve permitir que, caso ocorra uma falha na isolação dos equipamentos, a corrente circule através do condutor de aterramento ao invés de percorrer o corpo de uma pessoa que eventualmente esteja tocando no equipamento, mitigando o risco de choque elétrico (MORENO, 1996).

2.9 Proteção e aterramento de SFCR

Em SFCR's, o aterramento de um dos polos do circuito CC depende da tecnologia do módulo ou do inversor utilizada. Vale ressaltar que, atualmente no Brasil, são aplicados inversores sem isolamento galvânico e que os polos negativo e positivo dos módulos de silício cristalino não são aterrados. A regra geral é que se deve sempre consultar o manual do equipamento para verificar o procedimento recomendado pelo fabricante (PINHO; GALDINO, 2014).

Por razões de segurança, é importante que as massas dos equipamentos e as estruturas metálicas de suporte dos módulos fotovoltaicos estejam devidamente equipotencializadas e conectadas à terra, bem como outros periféricos (PINHEIRO, 2013).

Todo metal exposto que possa ser tocado, também deve ser aterrado, conforme item 6.4.1.2 da ABNT NBR 5410:2015. O aterramento deve ser feito de forma a permitir a equipotencialização de todos os corpos condutores da instalação (PINHO; GALDINO, 2014).

Uma grande distância entre os equipamentos do SFCR pode tornar necessária a utilização de sistemas de aterramento distintos. Entretanto, eles devem ser equipotencializados, preferencialmente por um cabo de cobre nu enterrado, formando uma malha de terra, ressaltando que, o aterramento não deve ser feito no frame dos módulos, pois não conduzem corrente elétrica devido a presença de uma camada anódica nos mesmos (PINHEIRO, 2013).

Caso a edificação já possua proteção contra descargas atmosféricas instalada, o sistema FV deve ser integrado, de acordo com a norma ABNT NBR 5419/2015.

2.10 Aterramento e equipotencialização

Um sistema de aterramento, mostrado na Figura 11, é o conjunto de todos os eletrodos e condutores de aterramento, interligados ou não, assim como partes metálicas que atuam direta ou indiretamente com a função de aterramento, tais como: cabos para-raios, torres e pórticos, armaduras de edificações, capas metálicas de cabos, tubulações e outros, cuja função é criar um caminho alternativo para que a descarga elétrica seja escoada no solo. Todos os

equipamentos solares e as partes metálicas de fixação que possam ficar acidentalmente energizadas devem ser aterrados (ECORI ENERGIA SOLAR, 2021).

O sistema de aterramento em uma edificação tem diversas funções, como: promover a segurança de pessoas, de equipamentos, da edificação, proteção contra descargas atmosféricas, controlar os valores de sobretensões em fases não envolvidas em curtos-circuitos, controlar os valores de correntes de curto-circuito entre fase-terra e controlar a formação de arcos elétricos. É por este motivo que a norma NBR 5410 determina que toda edificação deve dispor de uma infraestrutura de aterramento, denominada eletrodo de aterramento (ECORI ENERGIA SOLAR, 2021).

Os sistemas aterrados garantem um caminho seguro para a corrente de falta em direção à terra, pois evitam riscos de choque elétrico ou queima de equipamentos devido a uma sobrecorrente. Esses tipos de sistema são mais confiáveis que os sistemas não aterrados. O aterramento possui duas variações, sendo aterramento de proteção dos equipamentos, onde é realizada a conexão da carcaça condutora à terra, e aterramento funcional do sistema, onde é realizada a conexão do circuito elétrico à terra, através do condutor neutro, no lado CA. Também existem os sistemas externos de aterramento de edificações, que protegem as instalações de descargas atmosféricas (PINHEIRO, 2013).

A equipotencialização, por sua vez, é a interligação das partes metálicas da instalação, envolvendo ou não o aterramento. O seu objetivo é limitar as diferenças de potencial entre os sistemas elétricos e seus componentes metálicos (RAMPINELLI; KRENZINGER; ROMERO, 2013).

Figura 11 - Sistema de aterramento



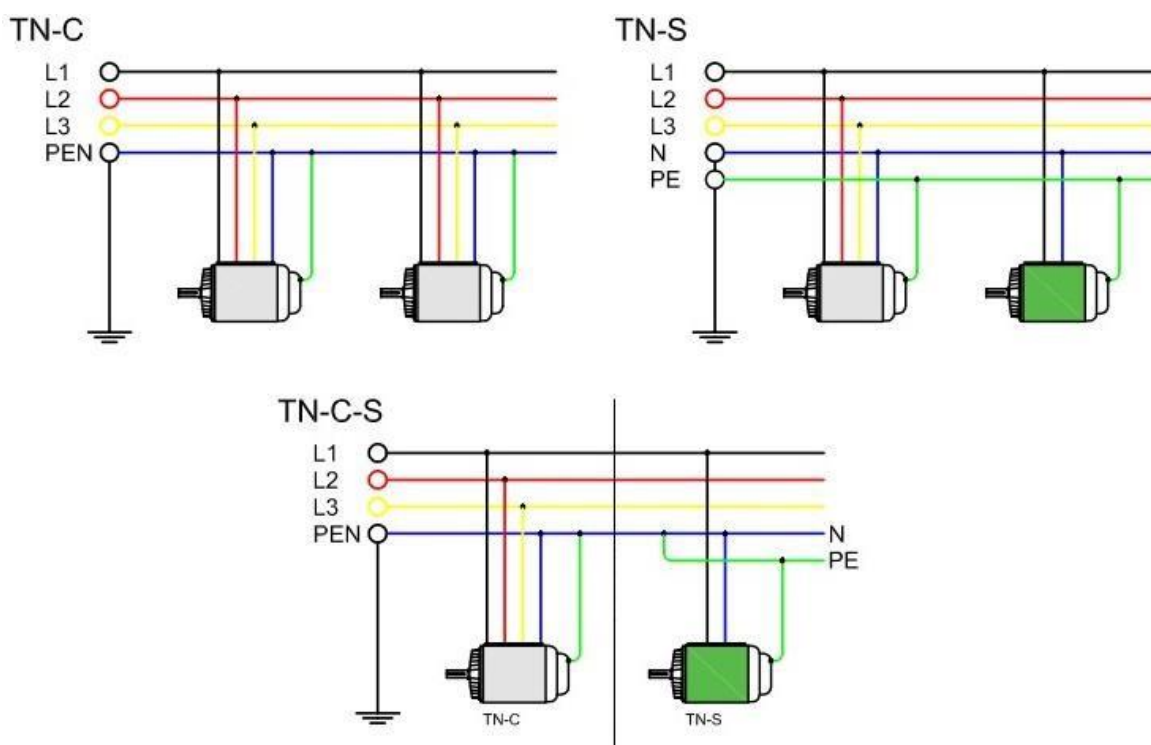
Fonte: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/sistema-de-aterramento-vs-sistema-fotovoltaico-e-o-que-ainda-nao-te-contaram>

2.10.1 Sistema de aterramento

Existem dois tipos de aterramento em uma instalação: o aterramento funcional, que consiste na ligação à terra de um dos condutores do sistema (geralmente o neutro), com o objetivo de garantir o funcionamento correto, seguro e confiável da instalação; e o aterramento de proteção, que consiste na ligação à terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação, com o único objetivo de proporcionar proteção contra contatos indiretos (FOURIER ENGENHARIA, 2021).

Além disso, o item 4.2.2.2 da norma NBR 5410 considera alguns esquemas de aterramento. A Figura 12 apresenta o esquema TN, o qual é caracterizado por ter um ponto de alimentação diretamente aterrado (aterramento funcional) e as massas são ligadas a esse ponto através de condutores de proteção. O esquema TN possui três variantes: TN-C, TN-S e TN-C-S.

Figura 12 - Esquema TN e suas três variantes: TN-C, TN-S e TN-C-S



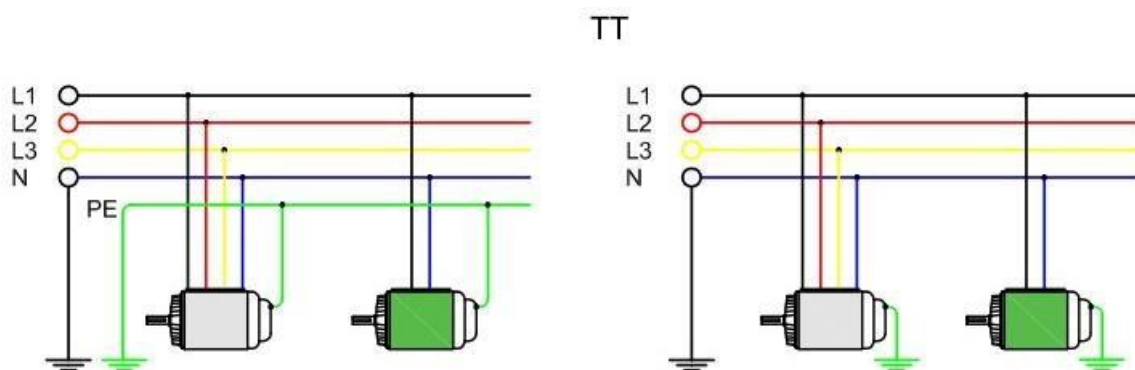
Fonte: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/sistema-de-aterramento-vs-sistema-fotovoltaico-e-o-que-ainda-nao-te-contaram>

No esquema TN-C, as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor, chamado de condutor PEN (do inglês: Protective Earth and Neutral). No esquema TN-S, o condutor neutro e o condutor de proteção (PE) são distintos. O esquema TN-C-S é

quando parte do sistema é TN-C e outra parte é TN-S (ECORI ENERGIA SOLAR, 2021).

A Figura 13 apresenta o esquema TT, o qual é caracterizado por possuir um ponto da alimentação diretamente aterrado (aterramento funcional), estando as massas da instalação ligadas ao eletrodo (ou eletrodos) de aterramento eletricamente distintos do eletrodo de aterramento da alimentação (ECORI ENERGIA SOLAR, 2021).

Figura 13 - Esquema TT e suas duas variantes: TT (A) e TT (B)

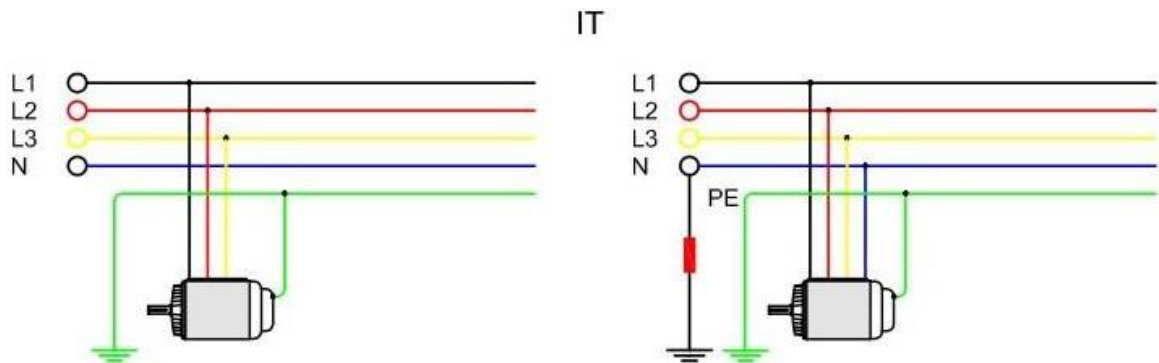


Fonte: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/sistema-de-aterramento-vs-sistema-fotovoltaico-e-o-que-ainda-nao-te-contaram>

No esquema TT (A) as massas são ligadas a um eletrodo de aterramento comum, mas distinto do eletrodo de aterramento da alimentação (aterramento funcional). No esquema TT (B) as massas são ligadas a um eletrodo de aterramento distintos entre si e distintos do eletrodo de aterramento da alimentação (aterramento funcional) (ECORI ENERGIA SOLAR, 2021).

A Figura 14 apresenta o esquema IT, o qual é caracterizado por possuir todas as partes vivas isoladas da terra ou um ponto da alimentação aterrado através de impedância. O esquema IT possui quatro variantes: IT (A), IT (B1), IT (B2) e IT (B3). No esquema IT (A) não existe o aterramento da alimentação (aterramento funcional). No esquema IT (B) a alimentação é aterrada através de impedância (ECORI ENERGIA SOLAR, 2021).

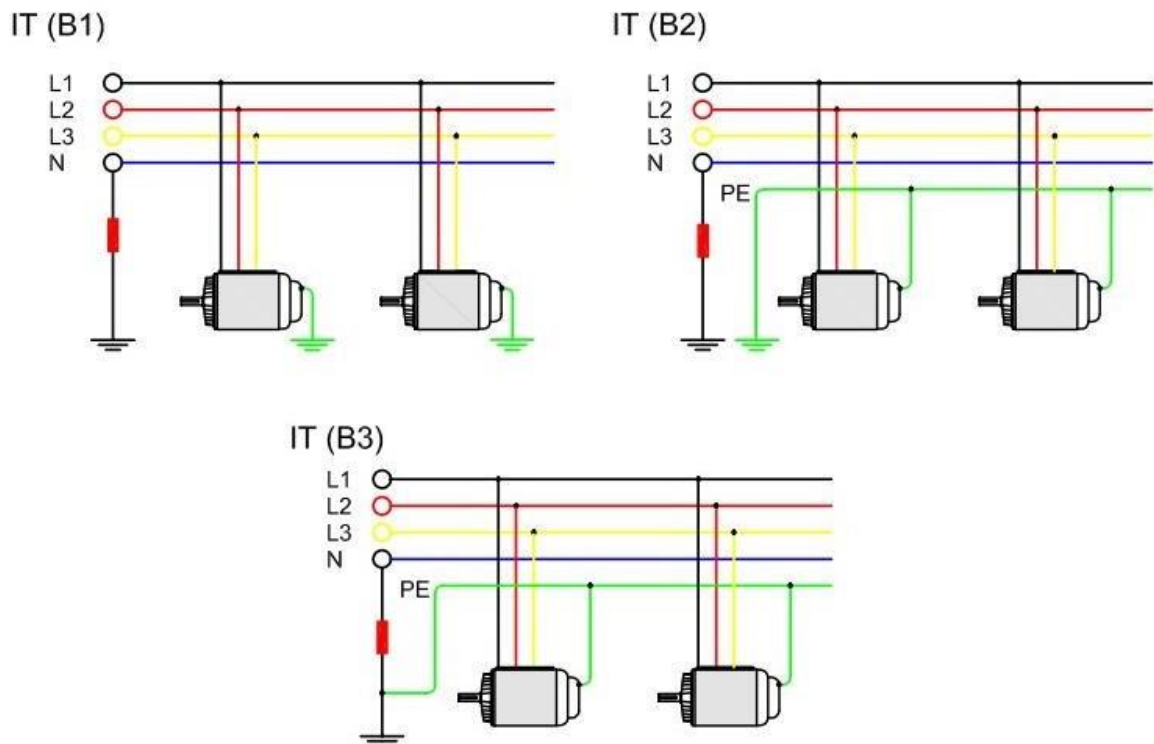
Figura 14 - Esquema IT e suas variantes: IT (A) e IT (B)



Fonte: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/sistema-de-aterramento-vs-sistema-fotovoltaico-e-o-que-ainda-nao-te-contaram>

Essa alimentação aterrada através de impedância no esquema IT (B) possui 3 variantes, que são: IT (B1), IT (B2) e IT (B3). A Figura 15 apresenta essas três variantes do esquema IT (B) (ECORI ENERGIA SOLAR, 2021).

Figura 15 - Esquema IT (B) e suas variantes: IT (B1), IT (B2) e IT (B3)



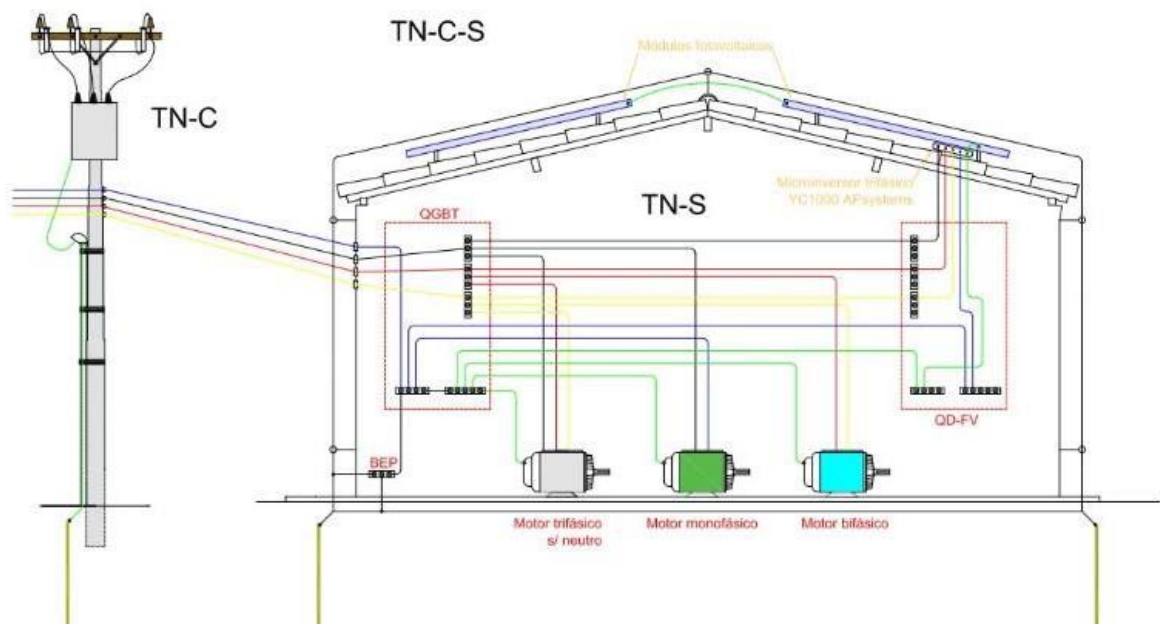
Fonte: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/sistema-de-aterramento-vs-sistema-fotovoltaico-e-o-que-ainda-nao-te-contaram>

No esquema IT (B1), as massas são aterradas em eletrodos separados e independentes do eletrodo de aterramento da alimentação (aterramento funcional). No esquema IT (B2), as massas são coletivamente aterradas em eletrodo independente do eletrodo de aterramento da alimentação (aterramento funcional). No esquema IT (B3), as massas são coletivamente aterradas no mesmo eletrodo de aterramento da alimentação (aterramento funcional) (ECORI ENERGIA SOLAR, 2021).

Todos esses esquemas e variantes possuem sua razão de existir, dependendo do tipo de consumidor e da distribuidora de energia elétrica, esta última pode exigir não o aterramento funcional. Em indústrias, por exemplo, é comum o neutro do transformador da subestação ser aterrado através de um resistor de aterramento com o objetivo de limitar o valor da corrente de curto-circuito entre fase e terra.

O mais comum é termos em edificações residenciais e comerciais o TN-C-S, onde o TN-C é adotado pela distribuidora de energia e o TN-S é adotado na edificação. Até porque, se fosse utilizado um dispositivo diferencial residual (DR) não seria permitido seccionar o condutor PEN, inviabilizando o esquema TN-C na edificação. A Figura 16 mostra o esquema TN-C-S aplicado em uma edificação (ECORI ENERGIA SOLAR, 2021).

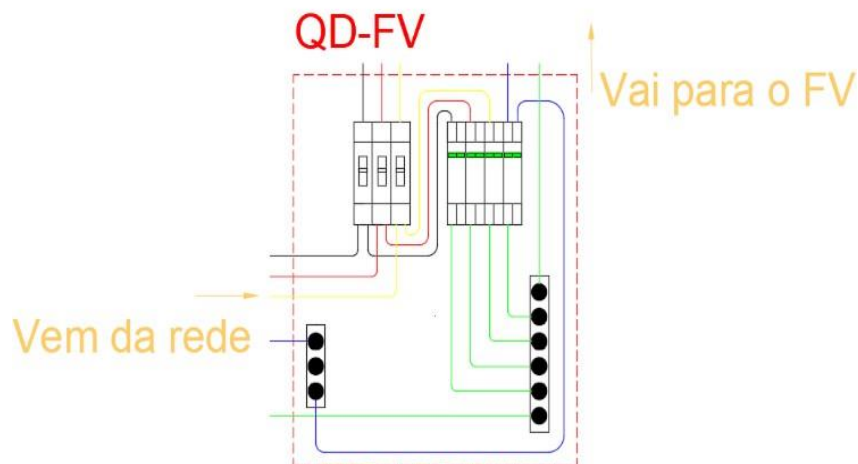
Figura 16 - Esquema TN-C-S: esquema TN-C no circuito da distribuidora de energia elétrica e TN-S no circuito da edificação



Fonte: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/sistema-de-aterramento-vs-sistema-fotovoltaico-e-o-que-ainda-nao-te-contaram>

O quadro de distribuição de um sistema FV está representado de forma simplificada na Figura 17.

Figura 17 - Detalhes de montagem do QD de um sistema fotovoltaico trifásico



Fonte: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/sistema-de-aterramento-vs-sistema-fotovoltaico-e-o-que-ainda-nao-te-contaram>

O quadro de distribuição CA do sistema fotovoltaico está representado, basicamente, pelo disjuntor, DPS e barramentos. O DPS sempre está protegendo os inversores de eventuais surtos provenientes do circuito CA. Também deve ser avaliada a necessidade de um disjuntor de retaguarda para proteção do circuito ao final da vida útil do DPS (ECORI ENERGIA SOLAR, 2021).

Mesmo que se tenham DPS junto ao ponto de entrada da linha elétrica na edificação ou no quadro de distribuição principal, é necessário instalar DPS também junto ao ponto de entrada da linha elétrica do sistema fotovoltaico, visto que se tratam de pontos de entrada distintos. É por esse mesmo motivo, por exemplo, que também é necessário instalar DPS na entrada dos cabos coaxiais de serviços de TV a cabo, assim como promover a equipotencialização (ECORI ENERGIA SOLAR, 2021).

2.11 Disjuntores

Os disjuntores são dispositivos de proteção, usados também para acionar ou interromper circuitos elétricos. Podem ser de corrente contínua (CC), ou de corrente alternada (CA), e são, geralmente, especificados pela corrente máxima que permitem passar sem interromper o circuito, além de outras características mais específicas (KAFER, 2018).

Em arranjos fotovoltaicos, os disjuntores devem estar de acordo com as normas IEC

60898-2 e IEC 60947-2, não devem ser sensíveis à polaridade e devem ser dimensionados para seccionar plena carga e potenciais correntes de falta do arranjo fotovoltaico e quaisquer outras fontes de energia conectadas (se presente) como: baterias, geradores e a rede elétrica.

- Disjuntores CA são utilizados na proteção e manobra dos circuitos de corrente alternada, comumente requisito para aprovação da concessionária.
- Disjuntores CC são utilizados na proteção e manobra dos circuitos de corrente contínua dos módulos fotovoltaicos, sendo usados também para auxiliar na manutenção.

Ressalta-se também que há a utilização de chaves seccionadoras no circuito CC, a qual possui função de interromper a energia para um circuito elétrico ou a um grupo de circuitos elétricos (OSORIO, 2018).

2.12 Fusíveis

É um dispositivo de proteção contra sobrecorrente e corrente de curto-circuito, que tem como princípio de funcionamento a fusão de um elemento condutor quando a corrente ultrapassa o valor nominal do mesmo. Em uma instalação FV, esses dispositivos têm por função a proteção do circuito elétrico, garantindo a integridade dos condutores e módulos FV (NASCIMENTO, 2013).

Os fusíveis adequados para circuitos fotovoltaicos são do tipo gPV e apresentam como característica a proteção contra corrente de curto-circuito e sobrecorrente (CANAL SOLAR).

2.13 Estruturas metálicas

As estruturas de suporte de módulos fotovoltaicos devem estar em conformidade com as normas pertinentes e com os requisitos de montagem do fabricante do módulo fotovoltaico, bem como estar em conformidade com as normas pertinentes que dizem respeito às características de carregamento mecânico. Para isso devem-se entender dois conceitos básicos que dizem respeito a estruturas no âmbito de instalação. São eles:

- Frame de módulo: os frames são perfis de alumínio que servem como uma moldura, desenvolvido especialmente para adicionar resistência mecânica ao módulo fotovoltaico e garantir sua integridade nas mais adversas aplicações (IBRAP, 2018);

- Estrutura de fixação: sistemas de suporte para fixação de módulos FV. Geralmente, feitos de alumínio ou aço inoxidável. A maioria das estruturas de fixação para módulos fotovoltaicos são concebidas para aplicações universais, como: coberturas de telha de barro, telha de concreto, telhado metálico, telha de fibrocimento, seguidores solares, fixação direta sobre o solo ou até mesmo inclinados sobre uma laje para garantir uma inclinação ideal para os módulos (SOLAR, 2019).

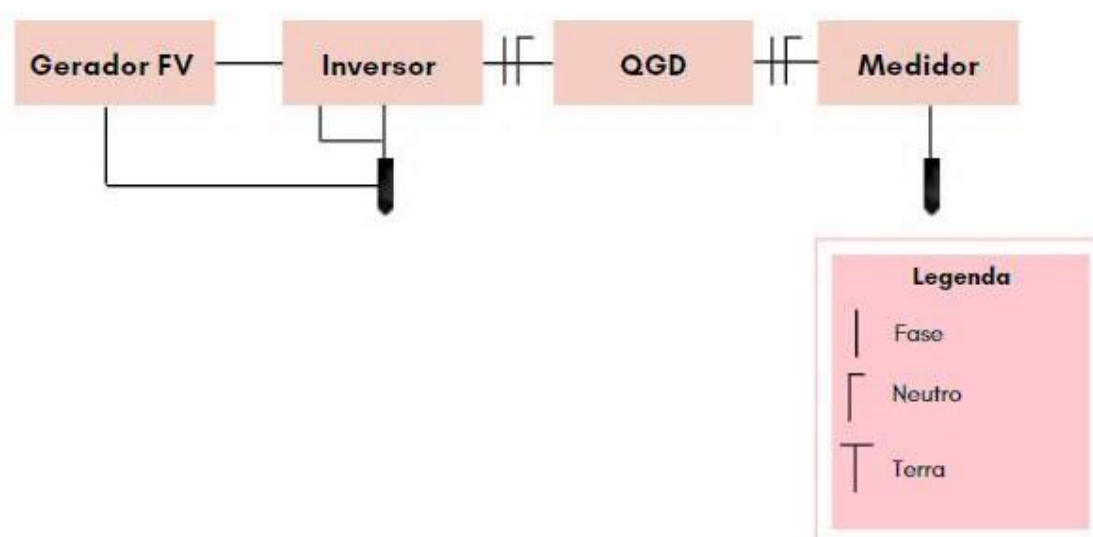
2.14 Métodos de aterramento utilizados em sistemas fotovoltaicos

Nesta seção serão analisados os métodos de aterramento para os sistemas FV's. Para facilitar o entendimento destes métodos, será utilizado, como forma didática, um sistema FV monofásico.

Conforme esquemas de aterramento apresentados na ABNT NBR 5410/2015, é possível considerar algumas estratégias para a realização do aterramento do SFCR em UC's existentes. Deve-se observar que cada caso deverá ter suas particularidades e sempre deve-se adotar o método que trará a maior segurança dos equipamentos e das pessoas (SOUZA, 2020).

O primeiro esquema de aterramento é o T-T, onde é aterrado o sistema separadamente do medidor de energia. A Figura 18 apresenta a configuração citada acima.

Figura 18 – Esquema de aterramento T-T



Fonte: A autora (2022).

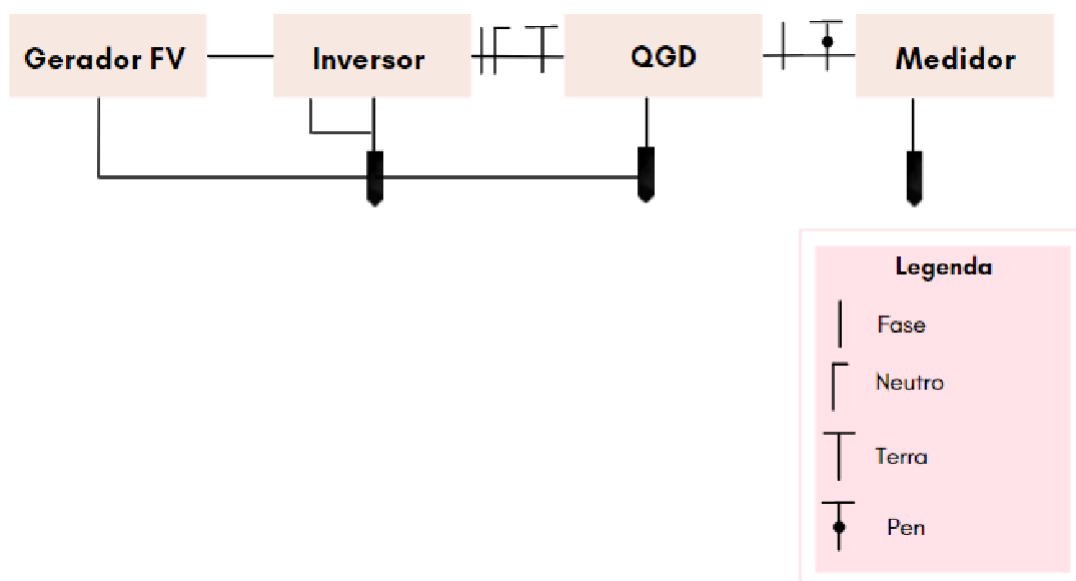
Neste esquema, o sistema FV e o medidor bidirecional de energia possuem aterramentos individuais, contudo o quadro geral de distribuição não é aterrado, provocando vulnerabilidade no sistema caso haja irregularidades na rede e/ou descargas indiretas nos componentes. O inversor possui duas ligações, sendo elas, a ligação da conexão elétrica Fase Neutro-Terra e a ligação para aterramento da carcaça do equipamento (SOUZA, 2020).

Ressalta-se a definição de corrente de fuga, como a corrente elétrica que flui para além do circuito original, sendo escoada para outras massas (FIGUEIREDO, 2015). Os principais riscos são a energização das carcaças dos equipamentos e o choque elétrico. Para mitigar as correntes de fuga, utiliza-se o dispositivo diferencial residual (DR), que detecta a ocorrência desse efeito e desarma no ato. Logo, para viabilizar esse esquema é necessário o uso de proteção necessária para correta atuação do SFCR (SOUZA, 2020).

A ausência de aterramento no quadro geral de distribuição (QGD) impossibilita uma equipotencialização das massas, indicando ser uma configuração menos confiável do ponto de vista de proteção, porém, apresenta uma instalação mais simples, pelo fato de ser aterrado em apenas dois pontos e pode-se considerar economicamente mais viável, pois poupagastos com material e tempo de serviço (SOUZA, 2020).

O segundo esquema sugerido é o TN-C-S. Neste, é feito o aterramento em todos os componentes do sistema. A Figura 19 apresenta o SFCR com aterramento próprio e equipotencializado ao aterramento existente do quadro geral de distribuição (QGD) (SOUZA, 2020).

Figura 19 – Sistema fotovoltaico conectado à rede com aterramento próprio



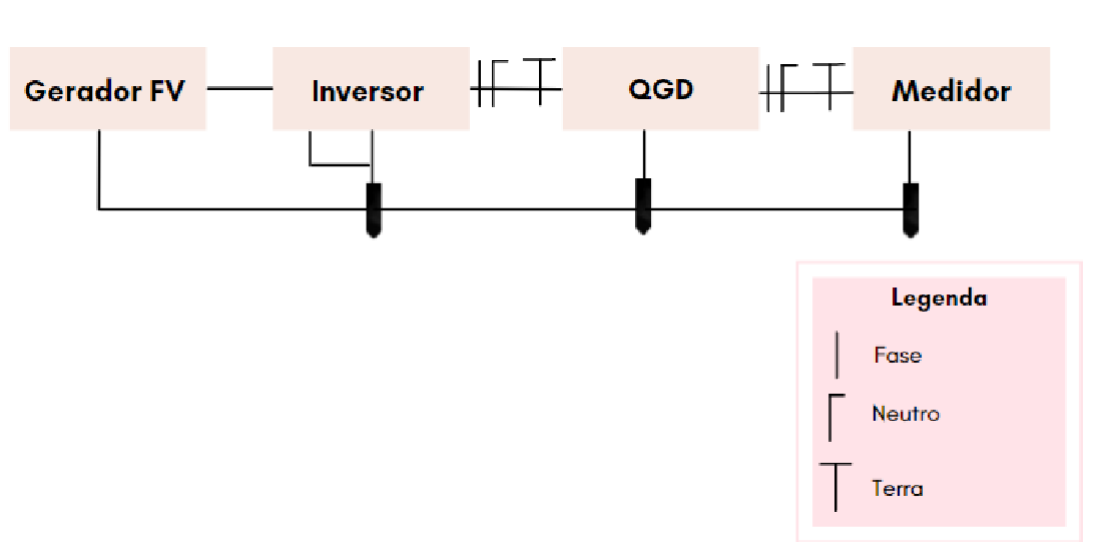
Neste esquema, é aterrado o sistema FV e o QGD, após é equipotencializado as duas massas. Apesar do medidor de energia ser aterrado, ele não é equipotencializado aos demais componentes. Porém, em realidade não são todas as UC's que possuem aterramento no QGD, por serem muitas vezes unidades antigas que utilizavam métodos ultrapassados e pouco efetivos (SOUZA, 2020).

Nesta metodologia, também há dificuldade na conexão elétrica, uma vez que provavelmente não haverá espaço nos eletrodutos existentes. Como citado anteriormente, esta configuração também necessitará do uso de DR para viabilização do esquema, visto os riscos de correntes de fuga. Este sistema é uma configuração mais confiável que a configuração T-T, visto aterramentos adicionais em outros pontos do sistema (SOUZA, 2020).

Em sistemas trifásicos, caso haja o desbalanceamento de fases, o neutro terá atuação na instalação e, desta forma suportará o surto ocorrido. O risco acontece no momento em que a corrente elétrica do surto for maior que a corrente elétrica que o condutor neutro suporta, acarretando em consequências de risco como incêndios (SOUZA, 2020).

A terceira e última configuração sugerida é o TN-S, onde todos os componentes do circuito são aterrados e equipotencializados. A Figura 20 apresenta o SFCR com aterramento próprio e equipotencializado ao aterramento existente do quadro geral de distribuição (QGD) e ao aterramento da medição (SOUZA, 2020).

Figura 20 – Sistema fotovoltaico conectado à rede com aterramento próprio e equipotencializado



Fonte: A autora (2022).

O sistema apresentado possui aterramento no sistema FV, no quadro geral de distribuição e no medidor bidirecional de energia, ao passo que são equipotencializados, desta

forma, conferindo maior grau de segurança aos equipamentos e ao sistema como um todo (SOUZA, 2020).

Para obter maior grau de proteção no aterramento, é necessário o uso de mais hastes, para possibilitar a criação de uma malha e, conseqüentemente, diminuir a resistência de aterramento e facilitar o escoamento da corrente de falta. Relembrando que quanto menor a resistência de aterramento do sistema, maior a segurança para a UC e para o SFCR. Desta forma, por possuir mais hastes de aterramento que as demais configurações, a configuração TN-S mostra-se mais interessante do ponto de vista de segurança dos equipamentos e pessoas (OSORIO, 2018).

De qualquer maneira, vale ressaltar que cada UC possui suas características, que devem ser respeitadas, e o projeto do sistema FV deve comprometer-se em abordar também qual a melhor solução de aterramento. (SOUZA, 2020).

3 MATERIAS E MÉTODOS

Foi aplicada uma metodologia de avaliação de aterramento de proteção através de um formulário para empresas instaladoras de geração solar distribuída.

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), principal entidade do setor, estima-se que tenham mais de 14 mil empresas da cadeia produtiva fotovoltaica atuando no segmento, incluindo fabricantes, distribuidores e instaladores. Nesta análise, temos como principal objetivo os instaladores, pois são eles que lidam diretamente com o cliente final e aplicam a prática de instalação.

Portanto, foi feito um formulário online sobre aterramento elétrico de proteção e boas práticas para empresas instaladoras, com perguntas relacionadas ao que é encontrado nas UC's, no âmbito dos sistemas de aterramento, no momento da instalação do sistema FV. Este formulário está indicado na seção de Anexo deste Trabalho de Conclusão de Curso.

O questionário foi aplicado pela Internet a partir do dia 10 de novembro de 2021 e finalizado no dia 10 de dezembro de 2021. A pesquisa foi enviada para 10 empresas e forneceu um grande indicativo do que é feito atualmente nas instalações fotovoltaicas.

As perguntas foram selecionadas com base nos parâmetros de interesse num estudo de aterramento, como o tipo de conexão no aterramento e as práticas em momentos de tomada de decisão. Com isso, foi possível visualizar diversas situações em relação a sistemas de geração de energia solar e às práticas de instalação, dentre elas, o aterramento em sistemas FV.

A primeira pergunta relacionava-se à região de atuação da empresa no Brasil. O objetivo seria verificar se existem padrões diferentes de aterramento em função de exigências propostas pela concessionária de energia.

A segunda pergunta foi desenvolvida para verificar qual o tipo de aterramento mais frequente existente na UC. As alternativas englobavam:

- Apenas aterramento funcional;
- Aterramento funcional e proteção;
- Apenas aterramento de proteção;
- Sem aterramento.

O aterramento funcional relaciona-se à ligação feita através de um dos condutores do sistema neutro, ou seja, neutro aterrado no medidor por normas da concessionária, com finalidade de ter um caminho de retorno. Já o aterramento de proteção se relaciona à ligação à terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação, com finalidade de

proteção.

A terceira pergunta teve como objetivo verificar qual procedimento era adotado quando a UC possuía aterramento instalado. Para esta terceira questão, as alternativas elencadas eram:

- Era feita medição, para futuramente tomar a decisão de como proceder;
- O aterramento era reforçado;
- A equipe utilizava o aterramento existente na UC;
- E foi adicionada uma alternativa “Outros”, caso o entrevistado possuísse a necessidade de detalhar a prática desenvolvida no momento da instalação do sistema FV.

A quarta pergunta questionava uma situação em que era necessário reforçar o aterramento da concessionária existente no local da instalação, quais os critérios utilizados e como era feito o dimensionamento.

A quinta pergunta abordava uma situação em que a UC não possuía aterramento de proteção e questionava qual era o procedimento adotado. Sendo assim, haviam duas alternativas: a empresa desenvolvia um aterramento dedicado ao sistema FV ou a empresa desenvolvia um aterramento de proteção e equipotencializava ao aterramento funcional.

A sexta pergunta possuía o intuito de verificar qual o esquema de aterramento mais aplicado pelos integradores no momento da instalação do sistema FV. As configurações de aterramento discutidas anteriormente foram elencadas como alternativas (T-T, TN-C-S e TN-S).

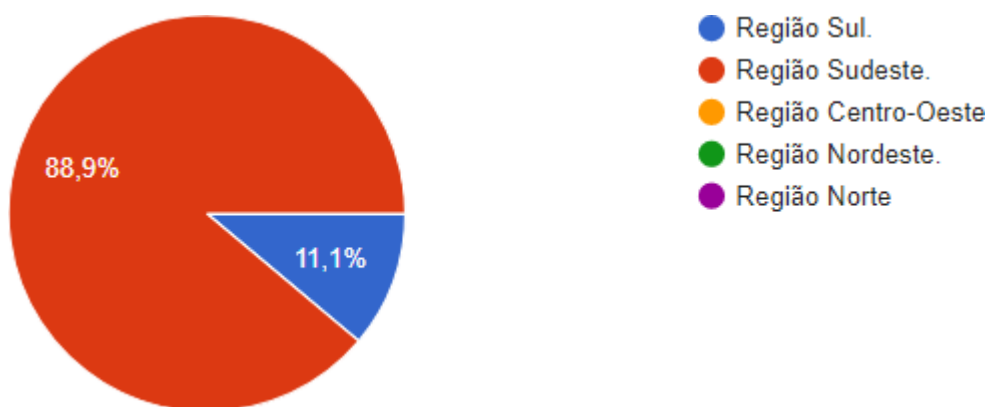
A sétima pergunta questionava, do ponto de vista do entrevistado, a melhor maneira de garantir a segurança das pessoas e dos equipamentos. Era uma pergunta discursiva, o que permitia ao entrevistado indicar mais detalhes.

Por fim, a oitava pergunta era um espaço para o entrevistado inserir informações complementares, caso as perguntas acima não abordassem de fato o que era feito na execução do projeto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante a verificação dos dados da pesquisa, obteve-se respostas de 9 empresas diferentes. Dentre as respostas obtidas, 88,9% foram da Região Sudeste e 11,1% da Região Sul (FIGURA 21).

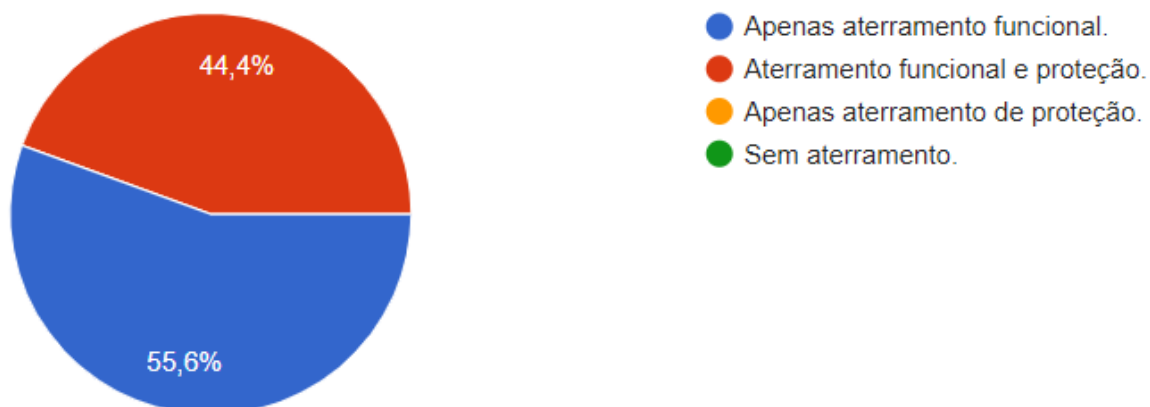
Figura 21 – Regiões predominantes utilizadas na pesquisa



Fonte: A autora (2022).

A pergunta seguinte relacionava-se ao tipo mais frequente de aterramento existente nas UC's no momento da instalação do sistema FV. Nesta questão, 55,6% responderam que se depararam com apenas aterramento funcional, e 44,4% responderam que a UC possuía aterramento funcional e proteção no momento da instalação (FIGURA 22).

Figura 22 – Tipo de aterramento encontrado na UC

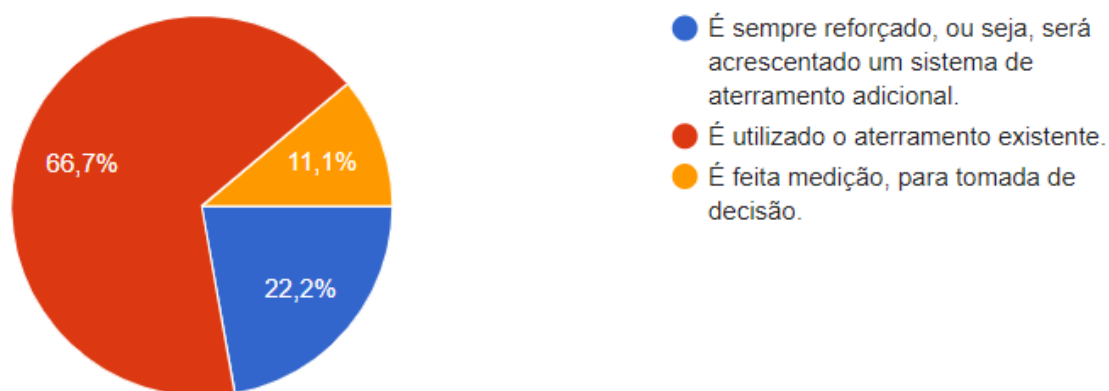


Fonte: A autora (2022).

Lembre-se que o funcional consiste em um aterramento da concessionária, onde é feito por condutores independentes até chegar no padrão, enquanto que, o de proteção é a ligação dos equipamentos à terra, com finalidade de proteção, ou seja, um sistema de aterramento independente do aterramento da concessionária.

Logo, a partir do momento que a UC já possui aterramento (proteção ou funcional), foi questionado o procedimento adotado pela empresa instaladora. Entre as alternativas, a empresa poderia optar por reforçar o aterramento existente na UC ou utilizar o aterramento existente sem modificá-lo. Dentre as respostas, 22,2% das empresas relataram que reforçam o aterramento existente na UC (FIGURA 23).

Figura 23 – Procedimento adotado quando a UC já possui aterramento



Fonte: A autora (2022).

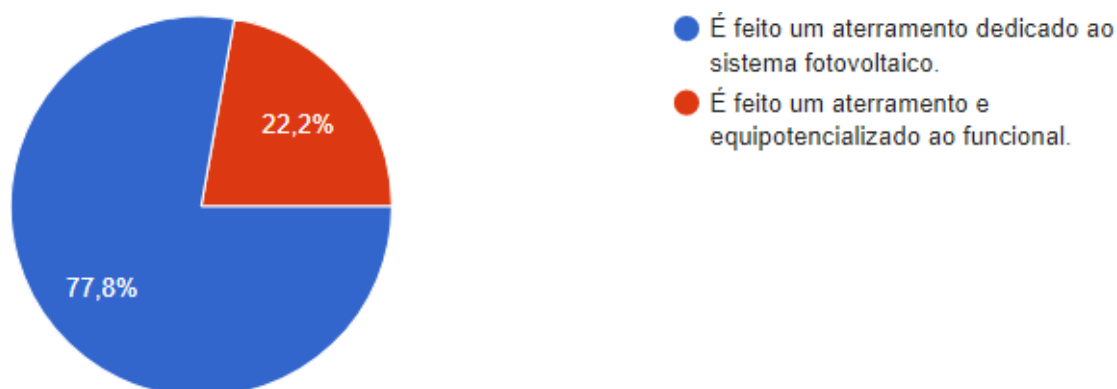
Visacro Filho (2002) ressalta que, ao reforçar o aterramento, mitiga-se a possibilidade de falhas e acidentes na UC, pois ao executar um reforço no aterramento existente, a corrente flui melhor no sistema. Entretanto, caso não haja o reforço do aterramento, a corrente vai para o condutor neutro e terá que ser suprimida pela haste localizada no medidor de energia elétrica. O reforço de aterramento pode ser feito de diversas maneiras, como por exemplo, aumentando a quantidade de hastes de aterramento, realizando-se um tratamento do solo ou modificando o tipo de haste de aterramento. E por fim analisando os resultados, foi observado que 66,7% utilizam o aterramento existente da UC e 11,1% responderam que é feita medição, para tomada de decisão. Salienta-se que, uma das grandes desvantagens de utilizar o aterramento existente é a possibilidade de haver degradação da haste, manutenções não executadas, dispositivos inoperantes, entre outros fatores, resultando em maior insegurança na instalação.

Ao serem questionados quando é necessário reforçar o aterramento existente, obtivemos as seguintes repostas:

- Através das normas e medições feitas com o termômetro;
- O critério utilizado é o detalhado nas normas da Cemig;
- Depende da necessidade, para o dimensionamento dos materiais uso a NBR 5419 caderno 4;
- Utilização de haste galvanizada tipo cantoneira (padrão Cemig) de 2,40 metros, utilizando-se de medição de resistência de aterramento para verificação.

Posteriormente foi questionado qual o procedimento era adotado no momento de não haver aterramento de proteção na UC. Foram obtidas as seguintes respostas indicadas na Figura 24.

Figura 24 - Procedimento adotado pelos integradores quando não há aterramento de proteção na UC



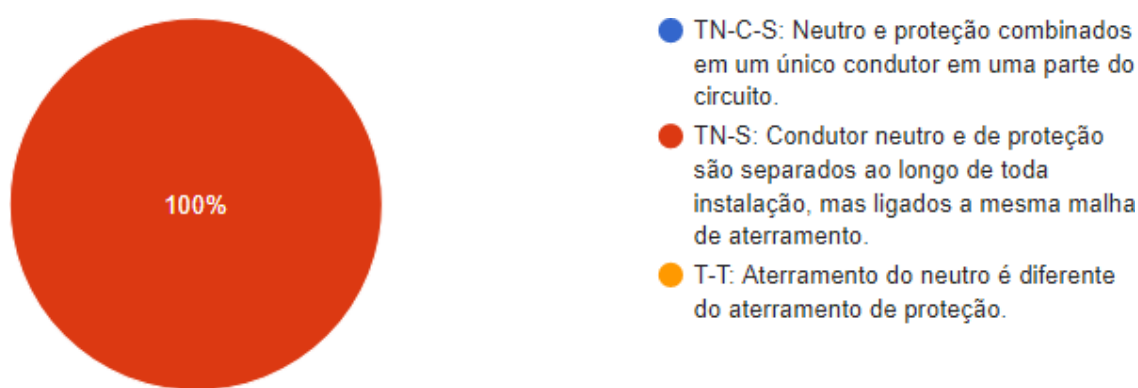
Fonte: A autora (2022).

Neste item, 77,8% das empresas responderam que é feito um aterramento dedicado ao SFCR. Para haver um aterramento exclusivo, deve-se aterrar as estruturas de fixação, os módulos FV e o inversor do sistema. O qual é denominado sistema T-T, em que criam-se diferenças de potenciais dentro de uma mesma UC. Consequente 22,2% das empresas responderam que é feito um aterramento e equipotencializado ao funcional. Equipotencializar é ajustar os sistemas elétricos para evitar descargas elétricas inesperadas, a intenção é que o potencial elétrico em diferentes sistemas seja equivalente. Diferente do aterramento, onde os elementos condutores obrigatoriamente precisam ter contato direto com a terra, a

equipotencialização não envolve a ligação direta com a terra. O mais importante em qualquer ligação é que os elementos condutores, as massas e a terra estejam o mais próximo possível de um mesmo potencial. Dessa forma, o risco de choques é evitado, assim como o mau funcionamento e os danos dos equipamentos.

A próxima pergunta relacionava-se ao esquema de aterramento mais aplicado nas instalações de sistemas FV's e as respostas obtidas estão apresentadas na Figura 25.

Figura 25 - Esquema de aterramento aplicado nas UC's na instalação do sistema



Fonte: A autora (2022).

Observa-se que 100% das empresas utiliza o método TN-S, o qual possui aterramento individual de cada massa (SFCR, medidor de energia e quadro geral de distribuição) e equipotencialização dos equipamentos.

Na sétima pergunta analisou a opinião das empresas sobre qual a melhor maneira de garantir a segurança das pessoas e dos equipamentos. As respostas estão descritas a seguir:

- Fazendo um aterramento adequado, bem feito, e utilizando dispositivos de proteção contra surtos (DPS);
- Proteção com disjuntores residuais para segurança das pessoas e dispositivos de proteção contra surto para ambos. E sistema de aterramento atendendo a ABNT NBR 5410 e ABNT NBR 5419 para ambos;
- Sempre seguindo as normas de proteção vigentes;
- Acredito que o mais seguro seria o esquema T-T;
- Uma instalação feita dentro das normas técnicas, e execução com excelência;
- Realizar a proteção separando a do sistema fotovoltaico do restante da instalação;

- Fazendo sempre um novo aterramento;
- Realizando o aterramento das carcaças dos equipamentos e a utilização de procedimentos durante as intervenções;
- Aterramento de proteção dedicado e interligado ao aterramento funcional, com a utilização de condutores de proteção e equipotencialização em toda a edificação.

E, por fim, a última pergunta era um espaço para o entrevistado inserir informações complementares, caso as perguntas acima não abordassem de fato o que era feito na execução do projeto. Obtivemos as seguintes repostas:

- Normalmente por questões de custo as empresas optam pela opção mais barata, que seria no caso, ligar diretamente ao terra do padrão;
- Gostaria de receber uma cópia de seu TCC, por favor. É um assunto que gostaria de me aprofundar mais;
- Na 5410 fala que todo circuito elétrico tem que possuir o condutor de aterramento e todos os aterramentos tem que estar conectados ao BEP da instalação;
- Faça sempre um bom aterramento.

5 CONCLUSÃO

A instalação de um sistema fotovoltaico é considerada uma reforma e este fato implica que a instalação elétrica do mesmo deve atender à norma NBR 5410, que determina: todas as instalações novas ou reformadas devem obrigatoriamente dispor de uma infraestrutura de aterramento.

Então, se no local da instalação, o sistema de aterramento não existir, o mesmo deverá ser providenciado. Se o sistema de aterramento existir e não atender às normas vigentes, o mesmo deverá ser readequado, por se tratar de uma reforma na instalação elétrica.

Caso já exista sistema de aterramento, e ele seja adequado segundo a NBR 5410, ele pode ser usado no aterramento da nova instalação, ficando a cargo do projetista manter o mesmo número de hastes ou ampliando o número das mesmas.

Além de ser um requisito de segurança básico, que pode prevenir acidentes perigosos, o aterramento também garante o bom funcionamento dos equipamentos conectados.

O aterramento ameniza instabilidades, ao garantir que a diferença de potencial entre a terra e os equipamentos elétricos e eletrônicos seja nula. Com isso, eles sempre operam em condições ideais, o que reduz desgastes, ampliando sua durabilidade. Pelo mesmo motivo, a eficiência do equipamento conectado também será maior.

Um sistema elétrico pode operar sem o aterramento. No entanto, caso aconteça algum acidente elétrico, como um curto-circuito, os danos provavelmente serão maiores sem um aterramento adequado. Em um sistema fotovoltaico de geração local, o aterramento se torna ainda mais valioso, porque protege também os equipamentos, como painéis e, especialmente os inversores.

Por fim, pudemos ver que o esquema de aterramento TN-S é um dos mais usados no Brasil atualmente. Esse aterramento usa o neutro como referência. É sabível que o neutro se origina no transformador da concessionária e que o seu valor de tensão é “0”, como tem que ser no caso a terra. Mas acontece que por instabilidades no sistema da concessionária, e por irregularidades (famosos gatos) nas instalações elétricas, sempre haverá ruídos no neutro.

Para evitar tal situação, o neutro é aterrado ainda no poste, no transformador. Encontramos um fortalecimento do neutro ainda no pé dos padrões de entrada, onde é conectada uma haste terra.

Partindo do princípio de que o neutro é aterrado, podemos usar o próprio neutro como condutor de proteção. Do ponto aonde ele é aterrado, surge outro cabo (que será a terra) e seguirá paralelo e separado do neutro até o quadro de distribuição. Sua principal

característica, que diferencia esse tipo de aterramento dos demais, é que é interligado o aterramento funcional juntamente com o aterramento de proteção, ou seja, o neutro e o terra são interligados em um ponto determinado.

A recomendação para instaladores de sistemas fotovoltaicos é sempre vistoriar cuidadosamente o aterramento presente, utilizando um terrômetro para medir a impedância do aterramento, que deve ser a mais próximo de zero possível. Se não existir aterramento ou se o que existir não for satisfatório, é melhor fazer um novo do que correr riscos.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR-5410. **Norma Brasileira: Instalações elétricas de baixa tensão**. São Paulo, 2004.
- ALVES, Marliana de Oliveira Lage. **Energia Solar: Estudo da Geração De Energia Elétrica Através dos Sistemas Fotovoltaicos On-Grid E Off-Grid**. 2019. 76f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019.
- ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. 2016. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/PRODISTM%C3%B3dulo5_Revisao4/1cf80370-3db4-4fa3-97db-d581d91a0568. Acesso em: 14 out. 2021.
- ASSAIFE, Bruno Monteiro. **Aterramento e proteção de sistemas fotovoltaicos**. 2013. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **Energia Solar Fotovoltaica: Panorama, Oportunidades e Desafios**. 2021. Disponível em: http://www.greenrio.com.br/arquivos/Eduardo-Miklos_-_ABSOLAR.pdf. Acesso em: 14 out. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16690**: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2015.
- _____. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil** / Agência Nacional de Energia Elétrica. Ed. – Brasília: ANEEL, 236p. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **A aceleração da energia solar fotovoltaica no mundo**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/a-aceleracao-da-energia-solar-fotovoltaica-no-mundo/>. Acesso em: 20 jul. 2021.
- BEZERRA, Gabriel Vidal Negreiros. **Análise de Sistemas de Aterramento com Hastes Concretadas Submetidos a Correntes Impulsivas**. 2017. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.
- BLUESOL- ENERGIA SOLAR. **Os sistemas de Energia Solar Fotovoltaica – Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares**. 2021. Disponível em: <https://bluesol.com.br/>. Acesso em: 20 jul. 2021.
- BLUESOL- ENERGIA SOLAR. **Célula Fotovoltaica – O Guia Técnico Absolutamente Completo**. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BLUESOL- ENERGIA SOLAR. **Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede ou Isolados?**. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/diferenca-sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-e-isolados/>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BRAGA, Renata Pereira. **Energia Solar Fotovoltaica - Fundamentos e Aplicações**. 2008.80f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

BATISTA, Gleicielma de Sousa. **Tendências Tecnológicas Ligadas À Utilização Das Células Fotovoltaicas**. 2019. 22f. TCC (Graduação) – Curso de Física, Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2019.

CANAL SOLAR. **Tipos de string box e seus elementos**. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/tipos-de-string-box-e-seus-elementos/>. Acesso em: 30 jul. 2021.

CERSUL. **Entrada Consumidora de Baixa Tensão**. 2010. Norma Técnica e Padronização. Disponível em: <http://www.cersul.com.br/arquivos/FECOD04.pdf>. Acesso em: 14 out. 2021.

CLAMPER. **Guia de aplicação para a proteção de sistemas fotovoltaicos**. Disponível em: https://clamper.com.br/wpcontent/uploads/2017/06/MKT_012015_Guia_SistemasFotovoltaicos_DIGITAL.pdf. Acesso em: 25 jul. 2021.

CRESESB. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**, Rio de Janeiro, 1999.

CRESESB. **Energia solar - Princípios e Aplicações**. Rio de Janeiro, 2006.

ECORI ENERGIA SOLAR. **Sistema de Aterramento vs Sistema Fotovoltaico**. Disponível em: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/sistema-de-aterramento-vs-sistema-fotovoltaico-e-o-que-ainda-nao-te-contaram>. Acesso em: 20 jul. 2021.

EPE. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira Balanço Energético Nacional**. MME, maio 2017.

FERREIRA, Fabiano Marques. **Geração distribuída por sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. 2015. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia Mecatrônica Industrial, Faculdade de Tecnologia, Garça, 2015.

FOURIER ENGENHARIA. **Aterramentos**. Disponível em: <http://www.fourier.com.br/aterramento.html>. Acesso em: 30 jul. 2021.

GOMES, Allyson José De Sousa. **Proteção contra raios e surtos em Sistemas Fotovoltaicos**. 2018. 73f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2018.

INPE. **Brasil registra média de 78 milhões de raios por ano**. Agência Brasil-Lisboa, 2017.

KAFER, Eduardo Marcon. **Sistema de proteção contra descargas atmosféricas para uma indústria têxtil: estudo de caso**. 2018. 121 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

MARTINS, Fábio de Moura. **Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas**. 2017. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

MORENO, Hilton. **Aterramento Elétrico**. São Paulo: Procobre, 43 p.1996.

OSORIO, Edson Alexandre Arévalo. **Dimensionamento de um sistema de aterramento em uma usina solar**. 2018. 10 f. TCC (Graduação) - Curso de Física - Energias Renováveis, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

PIMENTA, Camila Madeiros Alcantara. **Avaliação da influência da resistividade elétrica do solo e de tipos de envelopamento no sistema de aterramento elétrico de subestações**. 2017. 128 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2017.

PINHEIRO, Tiago Figueira Leão. **Sistemas de aterramento em baixa tensão**. 2013. 102 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2014. 530 p. Grupo de trabalho de energia solar, CEPEL, CRESESB, Rio de Janeiro, 2014.

RAMPINELLI, Giuliano Arns; KRENZINGER, Arno; ROMERO, Faustino Chenlo. **Descrição e Análise de Inversores Utilizados em Sistemas Fotovoltaicos**. 2013. 26 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2013.

RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. [S.l.]: LABSOLAR, 2004.

SCHNEIDER ELETRIC (Brasil). **Esquemas de Aterramento**. São Paulo, 2014. 15 p. Disponível em: https://dicasdozebio.files.wordpress.com/2014/02/tema3_aterramento.pdf. Acesso em: 10 nov. 2021.

SOUZA, Murillo Henrique Fabris. **Análise de Métodos de Aterramento de Proteção para Sistemas Fotovoltaicos**. 2020. 50f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2020.

TAKASAKI, Silvestri. **Estudo de viabilidade para implantação de geração fotovoltaica em shopping centers na região de Curitiba**. 2014. 101 f. TCC (Graduação) - Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná –UTFPR, Curitiba, 2014.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1ª ed. Editora Érica, São Paulo, 2012.

VISACRO FILHO, Silvério. **Aterramentos Elétricos**. São Paulo: Artliber, 46 p. 2002.

ANEXO

1) Qual sua região de atuação?

- Região Norte.
- Região Nordeste.
- Região Centro-Oeste.
- Região Sudeste.
- Região Sul.

2) No dia a dia, qual tipo de aterramento é encontrado com maior frequência? Funcional ou de Proteção? O funcional consiste em um aterramento da concessionária, onde é feito por condutores independentes até chegar no padrão. O de proteção é a ligação dos equipamentos à terra, com finalidade de proteção, ou seja, um sistema de aterramento independente do aterramento da concessionária.

- Apenas aterramento funcional.
- Aterramento funcional e proteção.
- Apenas aterramento de proteção.
- Sem aterramento.

3) Quando a Unidade Consumidora possui aterramento (proteção ou funcional), qual procedimento é adotado na instalação?

- É sempre reforçado, ou seja, será acrescentado um sistema de aterramento adicional.
- É utilizado o aterramento existente.

4) Quando tem que reforçar o aterramento da concessionária existente no local da instalação, quais os critérios utilizados e como é feito o dimensionamento?

5) Quando não há aterramento de proteção, qual procedimento é adotado pela sua empresa?

- É feito um aterramento dedicado ao sistema fotovoltaico.
- É feito um aterramento e equipotencializado ao funcional.

6) O esquema de aterramento mais aplicado em seus clientes é:

- TN-C-S: Neutro e proteção combinados em um único condutor em uma parte do circuito.

() TN-S: Condutor neutro e de proteção são separados ao longo de toda instalação, mas ligados a mesma malha de aterramento.

() T-T: Aterramento do neutro é diferente do aterramento de proteção.

7) Na sua opinião, qual a melhor maneira de garantir a segurança das pessoas e dos equipamentos?

8) Espaço destinado a informações complementares (dúvidas, observações, outros).
