

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS ARARANGUÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

MURILLO HENRIQUE FABRIS DE SOUZA

**ANÁLISE DE MÉTODOS DE ATERRAMENTO DE PROTEÇÃO PARA SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS**

Araranguá, SC

2020

MURILLO HENRIQUE FABRIS DE SOUZA

**ANÁLISE DE MÉTODOS DE ATERRAMENTO DE PROTEÇÃO PARA SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Energia do Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde (CTS) da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Engenheiro de Energia.

Orientadora: Profa. Me. Letícia Toreti Scarabelot.  
Coorientador: Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli.

Araranguá, SC

2020

MURILLO HENRIQUE FABRIS DE SOUZA

**ANÁLISE DE MÉTODOS DE ATERRAMENTO DE PROTEÇÃO PARA SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS**

O presente Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia de Energia, foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa. Me. Letícia Toreti Scarabelot (Orientadora)  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Luciano Lopes Pfitscher  
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng<sup>o</sup>. Álvaro Coelho Bratti  
Engenheiro Eletricista na CERSUL

Certificamos que essa é a versão original e final do trabalho que foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro/a de Energia.

Prof. Dr. Rogério Gomes de Oliveira  
Coordenador do Curso

Profa. Me. Letícia Toreti Scarabelot  
Orientadora

Murillo Henrique Fabris de Souza  
Autor

Araranguá, 2020.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Souza, Murillo Henrique Fabris de  
Análise de métodos de aterramento de proteção para  
sistemas fotovoltaicos / Murillo Henrique Fabris de Souza  
; orientadora, Leticia Toreti Scarabelot, coorientador,  
Giuliano Arns Rampinelli, 2020.  
50 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá,  
Graduação em Engenharia de Energia, Araranguá, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia de Energia. 2. Sistema fotovoltaico. 3.  
Aterramento elétrico. 4. Aterramento de proteção. I.  
Scarabelot, Leticia Toreti. II. Rampinelli, Giuliano Arns.  
III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia de Energia. IV. Título.

*“It always seems impossible until it’s done”*

*Nelson Mandela*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha mãe, Viviani Fabris, pelo amor, incentivo e apoio incondicional ao longo de toda minha vida.

À minha parceira Maria Eduarda, que esteve ao meu lado nas dificuldades e alegrias e que não hesitou em me ajudar ao longo dessa trajetória.

Aos amigos de graduação Ana Júlia, Arieli, Danilo, Gabriel, Giovana, Júlia, Karoline e Roberto que somaram ao meu aprendizado e que, se fizeram presentes nos momentos críticos do curso.

À professora e orientadora Letícia Scarabelot, por ter sido extremamente prestativa e por todo o suporte e conhecimento transmitido durante a elaboração deste trabalho.

À ENEjr e aos amigos que me proporcionou, em especial, ao Felipe Dezan e João Paulo Sacani, que desde a conversa mais curta sempre agregaram no meu desenvolvimento pessoal.

À equipe da WEG, em especial, ao Levi Cidral por ter ajudado a enriquecer meu conhecimento técnico profissional durante o estágio da graduação.

À todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

# **ANÁLISE DE MÉTODOS DE ATERRAMENTO DE PROTEÇÃO PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

**Murillo Henrique Fabris de Souza**

## **RESUMO**

A expansão do mercado de energia solar distribuída no Brasil ocorreu no ano de 2012 e, desde então, este mercado tem crescido exponencialmente no país acumulando R\$4,8 bilhões em investimentos, segundo os dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Entretanto, as normatizações acerca do tema não têm acompanhado de forma concomitante este desenvolvimento no Brasil, principalmente no que se diz respeito ao aterramento desses sistemas. Assim sendo, através do estudo de normas nacionais e internacionais de padronizações de instalações elétricas, o presente trabalho aborda os métodos de aterramento em sistemas fotovoltaicos e demais orientações. Desta forma, foi realizada uma análise nacional de métodos utilizados por empresas instaladoras destes sistemas no país através de uma pesquisa dos integradores parceiros da empresa WEG. Através deste estudo 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, Aterramento elétrico, Aterramento de proteção.

# **ANÁLISE DE MÉTODOS DE ATERRAMENTO DE PROTEÇÃO PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

**Murillo Henrique Fabris de Souza**

## **ABSTRACT**

The expansion of the distributed solar energy market in Brazil occurred in 2012 and, since then, this market has grown exponentially in the country, accumulating R \$ 4.8 billion in investments, according to data from the Brazilian Solar Photovoltaic Energy Association. However, the norms on the subject have not followed this development in Brazil concurrently, especially with regard to the grounding of these systems. Therefore, through the study of national and international standards for standardization of electrical installations, the present work addresses the grounding methods in photovoltaic systems and other guidelines. Thus, a national analysis of methods used by companies that install these systems in the country was carried out through a survey of the integrating partners of the company WEG. Through this study, 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 correct electrical grounding were listed.

**Keywords:** Grounding Systems, Photovoltaic System, Protective 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

c.a – Corrente Alternada

c.c – Corrente Contínua

DPS – Dispositivo de Proteção contra Surtos

DR – Dispositivo Diferencial Residual

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

NEC – National Electrical Code

QGD – Quadro Geral de Distribuição

SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

SPDA – Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

UC – Unidade Consumidora

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS .....	14
1.1.1 <b>Objetivo Geral</b> .....	<b>14</b>
1.1.2 <b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>14</b>
<b>REVISÃO TEÓRICA</b> .....	<b>15</b>
1.2 ATERRAMENTO E EQUIPOTENCIALIZAÇÃO .....	15
1.2.1 <b>Classificação dos esquemas de aterramento</b> .....	<b>15</b>
1.2.2 <b>Esquema TT</b> .....	<b>16</b>
1.2.3 <b>Esquema TN</b> .....	<b>17</b>
1.2.4 <b>Esquema IT</b> .....	<b>18</b>
1.3 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS .....	19
1.3.1 <b>Método de Franklin</b> .....	<b>19</b>
1.3.2 <b>Método da Gaiola de Faraday</b> .....	<b>20</b>
1.3.3 <b>Método Eletrogeométrico ou Esfera Rolante</b> .....	<b>20</b>
1.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE – SFCR.....	21
1.4.1 <b>Módulo fotovoltaico</b> .....	<b>22</b>
1.4.2 <b>Inversores c.c / c.a</b> .....	<b>22</b>
1.4.3 <b>Medidor de energia elétrica</b> .....	<b>23</b>
1.4.4 <b>Periféricos</b> .....	<b>24</b>
1.4.4.1 <i>Dispositivos de proteção contra surtos (DPS)</i> .....	<i>24</i>

1.4.4.2	<i>Disjuntores</i> .....	26
1.4.4.3	<i>Fusíveis c.c.</i> .....	26
1.4.4.4	<i>Estruturas metálicas</i> .....	26
1.5	<b>SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS</b> .....	27
1.5.1	<b>Unidade consumidora</b> .....	27
1.5.2	<b>Equipamentos</b> .....	28
1.5.3	<b>Pessoas</b> .....	28
1.5.3.1	<i>Potencial de toque</i> .....	28
1.5.3.2	<i>Potencial de passo</i> .....	29
1.6	<b>PROTEÇÃO E ATERRAMENTO DE SFCR</b> .....	31
	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	32
	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	34
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	42
	<b>SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS</b> .....	43
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	44
	<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS INTEGRADORES</b> ..	49



## 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, o ganho de espaço de outras fontes de geração no sistema elétrico dos principais países consumidores de energia elétrica, entre eles, o Brasil (ASSAIFE, 2013).

A energia solar fotovoltaica surge então como uma opção que satisfaz no atual momento, as exigências da sociedade como um todo por um mundo sustentável. Além de apresentarem diversas vantagens, tanto para o sistema de energia elétrica, como para o meio ambiente, pode ser um sistema de fácil adaptação as estruturas físicas já existentes (FERREIRA, 2015).

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).

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 e isto é feito através de um aterramento de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA).

Um SPDA mal dimensionado pode causar prejuízos a estrutura e em alguns casos nas pessoas, no momento que estão expostos 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).

Diante disso, há a necessidade de se desenvolver artifícios, os quais protejam desde as pessoas até os módulos fotovoltaicos, como a utilização de sistemas de aterramento de

proteção. 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).

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise das normas regulamentadoras nacionais para instalação e aterramento de sistemas fotovoltaicos. Bem como, desenvolver um estudo de sua eficácia e detalhamento das instalações. Além disso, foi verificado artigos e outros trabalhos científicos tais como dissertações, teses e/ou legislações sobre Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas e Sistemas de Aterramento de Proteção conectado a um sistema fotovoltaico.

## 1.1 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem o objetivo de apresentar de forma direta uma análise de métodos de aterramento e proteção de sistemas fotovoltaicos adotados no Brasil no âmbito da microgeração.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Colaborar com discussões iniciais sobre aterramento fotovoltaico, visto que é um tema pouco explorado no país, bem como, discutir as normas e/ou regulamentos específicos.

Além de apresentar as problemáticas das configurações de aterramento em conjunto com sistemas fotovoltaicos.

## REVISÃO TEÓRICA

Nesta seção serão apresentados tópicos específicos que contribuem para o entendimento geral deste trabalho.

### 1.2 ATERRAMENTO E EQUIPOTENCIALIZAÇÃO

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 ao terra, e aterramento funcional do sistema, onde é realizado a conexão do circuito elétrico ao terra, através do condutor neutro, no lado c.a.

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).

#### 1.2.1 Classificação dos esquemas de aterramento

A ABNT NBR 5410 (2015) e atualizações, é a norma que estabelece os critérios e materiais para instalação elétrica de sistemas de aterramento e equipotencialização, determina que seja utilizada a seguinte simbologia:

“Primeira letra (situação da alimentação em relação a terra):

- T – ponto diretamente aterrado;
- I – isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de impedância.

Segunda letra (situação das massas da instalação elétrica em relação a terra):

- T – massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto da alimentação;

- N – massas ligadas ao ponto da alimentação aterrado (em corrente alternada, o ponto aterrado é normalmente o ponto neutro).

Outras letras (disposição do condutor neutro e do condutor de proteção):

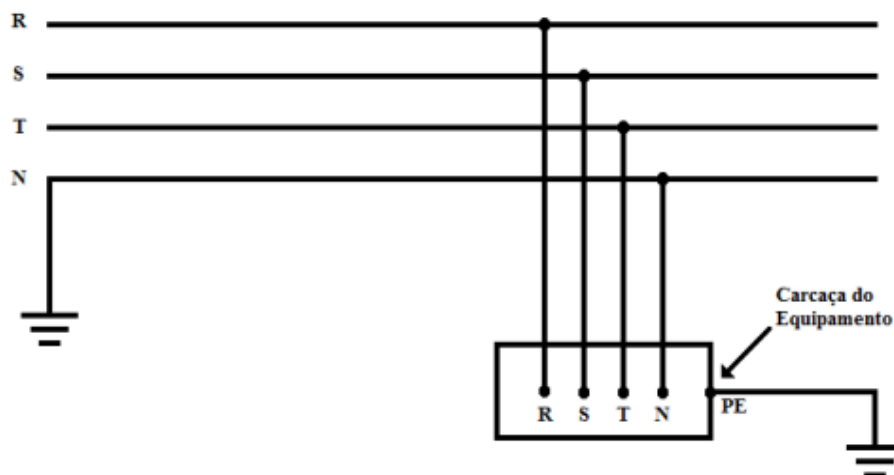
- S – funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos;
- C – funções de neutro e de proteção combinadas em um único condutor.”

### 1.2.2 Esquema TT

Nesse sistema, um ponto (geralmente o centro da estrela em um sistema de baixa tensão ligado em estrela) da fonte é conectado diretamente à terra. Todas as partes metálicas expostas e todas as partes metálicas estranhas à instalação são ligadas a um eletrodo de terra separado na instalação (ABNT NBR 5410, 2015).

Nesse caso, o percurso de uma corrente fase-massa inclui a terra, o que limita em muito o valor da corrente devido ao elevado valor da resistência de terra.

Figura 1 – Esquema TT.



Fonte: ABNT NBR 5410/2015.

Para esta configuração, é necessário o uso de dispositivos de corrente residual e não há limites em relação ao comprimento dos circuitos elétricos, exceto para evitar quedas de tensão excessivas. Desta maneira, uma instalação pode ser modificada ou ampliada sem cálculos ou medições no local (SCHNEIDER ELETRIC, 2014).

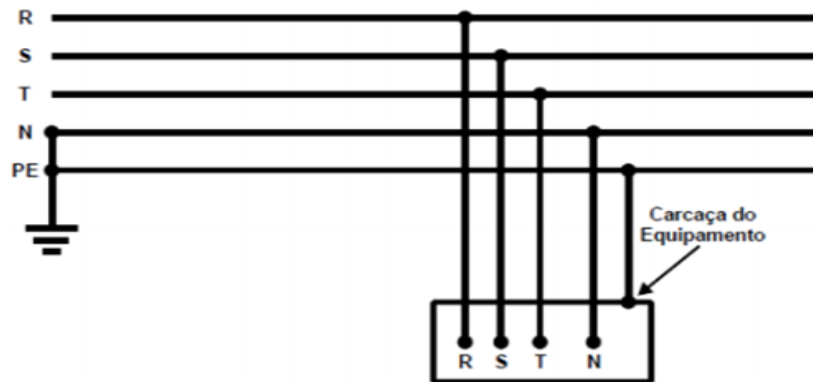


### 1.2.3 Esquema TN

O esquema TN possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a esse ponto através de condutores de proteção. São consideradas três variantes de esquema TN, de acordo com a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção, a saber (ABNT NBR 5410, 2015):

Esquema TN-S, no qual o condutor neutro e o condutor de proteção são distintos.

Figura 2 – Esquema TN-S.

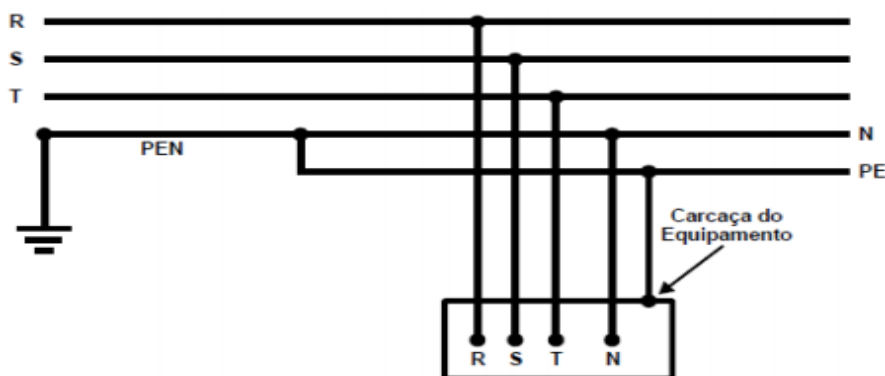


Fonte: ABNT NBR 5410/2015.

O aterramento é através do aterramento do ponto neutro do transformador, enquanto que as partes metálicas externas ao equipamento são conectadas aos condutores de proteção os quais, são ligados ao neutro do transformador (SCHNEIDER ELETRIC, 2014).

Esquema TN-C-S, em parte do qual as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor.

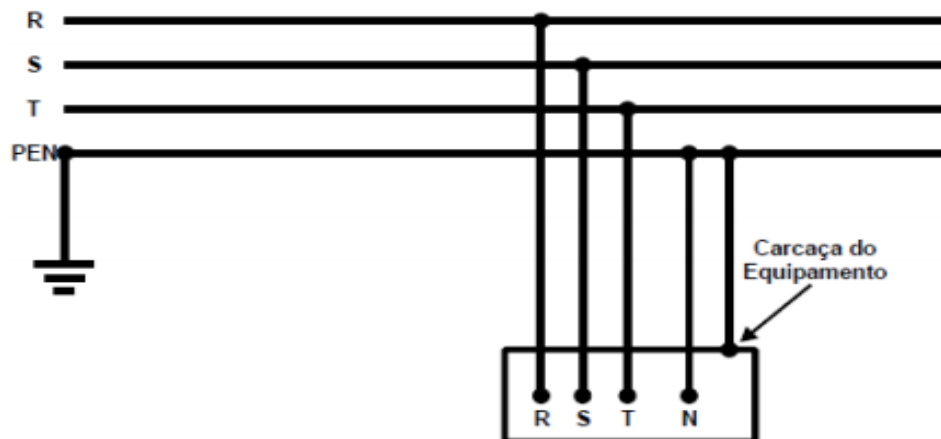
Figura 3 – Esquema TN-C-S.



Fonte: ABNT NBR 5410/2015.

Esquema TN-C, no qual as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor, na totalidade do esquema.

Figura 4 – Esquema TN-C.



Fonte: ABNT NBR 5410/2015.

Por combinar o condutor neutro e o condutor de proteção na totalidade do esquema formando um único condutor é denominado condutor PEN e este esquema não é permitido para condutores de seção inferior a 10 mm<sup>2</sup> e para equipamentos portáteis (SCHNEIDER ELETRIC, 2014).

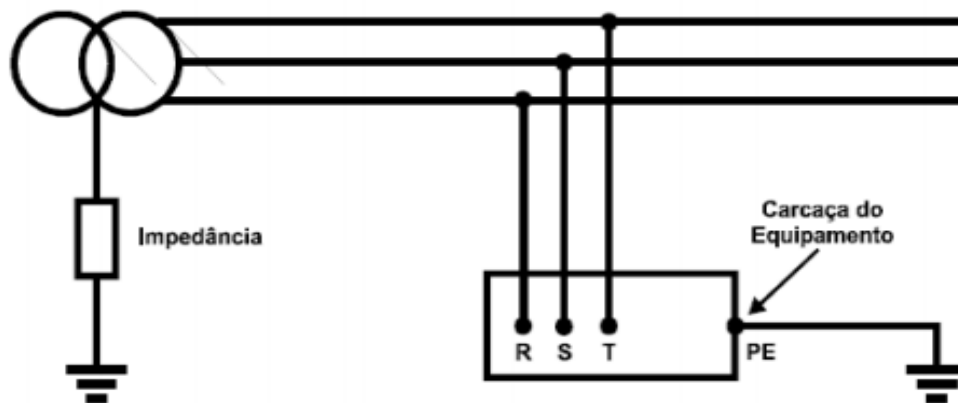
#### 1.2.4 Esquema IT

No esquema IT todas as partes vivas são isoladas da terra ou um ponto da alimentação é aterrado através de impedância. As massas da instalação são aterradas, verificando-se as seguintes possibilidades (ABNT NBR 5410, 2015):

Massas aterradas no mesmo eletrodo de aterramento da alimentação, se existente;

Massas aterradas em eletrodo (s) de aterramento próprio (s), seja porque não há eletrodo de aterramento da alimentação, sejam porque o eletrodo de aterramento das massas é independente do eletrodo de aterramento da alimentação.

Figura 5 – Esquema IT.



Fonte: ABNT NBR 5410/2015.

O método de aterramento proporciona que a primeira falta da isolação não produz qualquer queda de tensão na rede, sendo assim, devido a proporcionar continuidade no fornecimento de energia, esta configuração é recomendada para unidades consumidoras específicas, como por exemplo, hospitais e salas de cirurgia (SCHNEIDER ELETRIC, 2014).

### 1.3 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

A norma NBR 5419-1 define um SPDA por um sistema completo, composto por elementos internos e externos, destinado a proteger uma estrutura contra os efeitos de descargas atmosféricas. Os requisitos básicos, assim como o dimensionamento dos componentes, dependem das características físicas da estrutura, condições naturais da região e finalidade funcional do local, devendo sempre respeitar a legislação vigente afim de garantir a segurança necessária (MAMEDE FILHO, 2010).

A seleção e posicionamento dos componentes de um sistema externo de proteção resultam, basicamente, do uso de um dos três métodos de proteção (MAMEDE FILHO, 2010). Abaixo estão elencados os métodos citados.

#### 1.3.1 Método de Franklin

Este método é utilizado em estruturas com área horizontal pequena e altura limitada de acordo com a classe do SPDA a ser implementado (ABNT NBR 5419, 2015). O mesmo deve oferecer uma proteção que é efetivada através de um cone com vértice na extremidade superior do captor e cuja geratriz faz um ângulo  $\alpha^\circ$  com a vertical. Caso a área correspondente

ao cone seja menor do que a área da edificação a ser protegida, mais de um captor deve ser instalado na edificação a fim de proteger a mesma em sua totalidade (MARTINS, 2017).

A Figura 13 demonstra a área protegida ao realizar este método.

Figura 13 – Cone correspondente ao Método do Ângulo de Proteção.



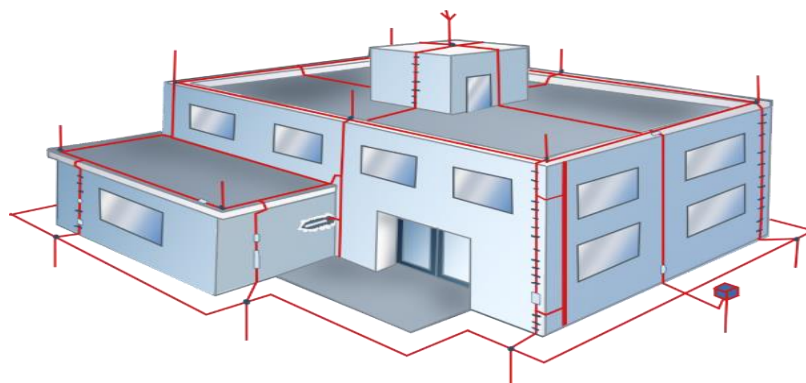
Fonte: (SABERELÉTRICA, 2016).

### 1.3.2 Método da Gaiola de Faraday

Este método é aconselhável para estrutura com uma grande área horizontal, diferentemente do Método de Franklin, além de ser apropriado para proteger superfícies planas laterais contra descargas atmosféricas (ABNT NBR 5419, 2015).

O mesmo consiste em uma malha captora de condutores espaçados entre si de uma distância correspondente ao seu nível de proteção (MARTINS, 2017), vide Figura 14.

Figura 14 – Malha correspondente ao Método Gaiola de Faraday.



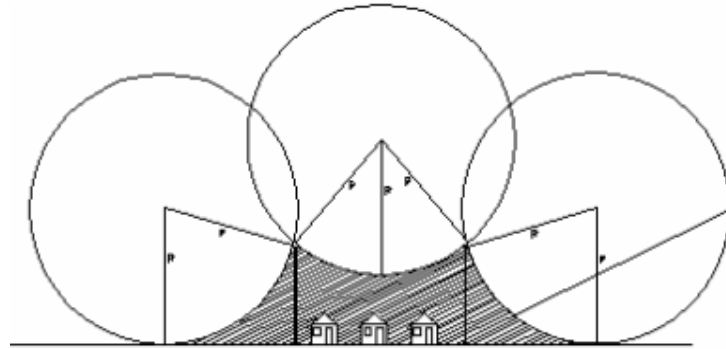
Fonte: (TERMOTÉCNICA, 2017).

### 1.3.3 Método Eletrogeométrico ou Esfera Rolante

O método eletrogeométrico baseia-se no estudo de registros fotográficos, parâmetros das descargas atmosféricas, ensaios laboratoriais de alta tensão e simulações de modelagens matemáticas. Inicialmente, seu uso restringia-se à linhas de transmissão, mas foi logo adaptado

para estruturas em geral (COUTINHO; ALTOÉ, 2003). É possível observar as áreas protegidas na Figura 15.

Figura 15 – Seção correspondente ao Método Eletrogeométrico.



Fonte: (PINHEIRO; OLIVEIRA; SILVEIRA JUNIOR, 2012).

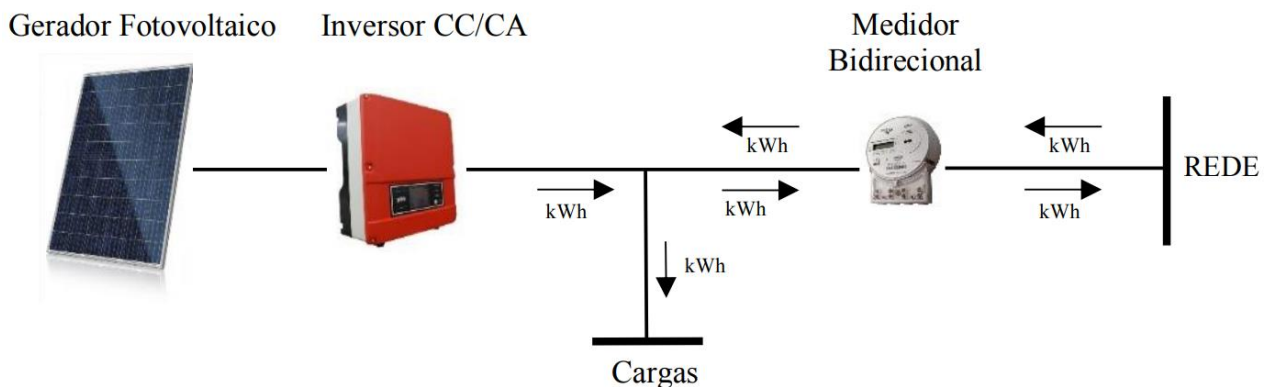
Segundo a NBR 5419 (2015), não há contraindicações para o uso do método da esfera rolante. Recomenda-se, em especial, o uso deste método em estruturas complexas, que necessitem soluções híbridas.

#### 1.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE – SFCR

O sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) também é conhecido como *on grid*. Esse sistema é composto por um gerador de eletricidade que utiliza o sol como fonte de energia elétrica (GEHRING, 2015).

A distribuição dos componentes do SFCR está apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Diagrama esquemático para a conexão de um sistema fotovoltaico à rede.



Fonte: (SCARABELOT; RAMPINELLI; RAMBO, 2019).

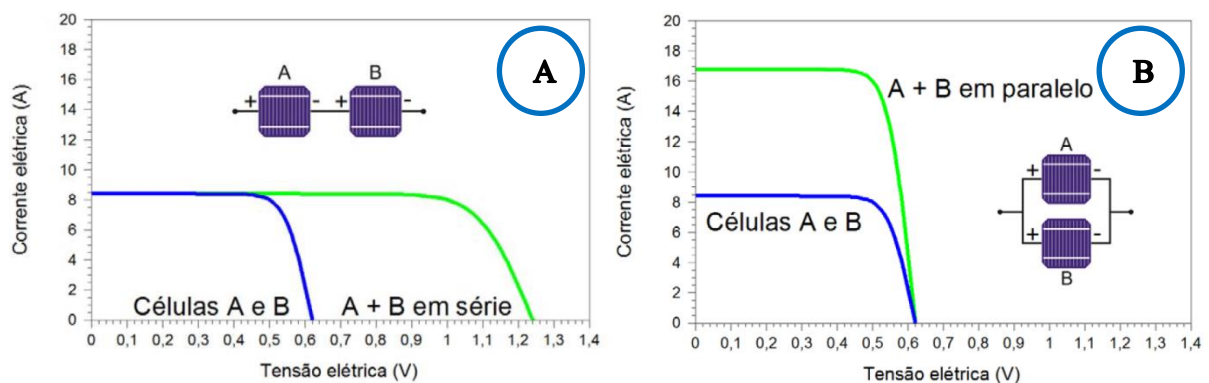
Os SFCR dispensam o uso de baterias, pois toda potência gerada pelo sistema fotovoltaico é consumida pelas cargas ou são injetadas diretamente na rede elétrica local (GEHRING, 2015).

#### 1.4.1 Módulo fotovoltaico

O efeito fotovoltaico ocorre quando a luz do sol incide sobre uma célula constituída de material semicondutor. Uma célula fotovoltaica típica é composta por duas camadas de material semicondutor dos tipos p e n, no qual o silício policristalino é comercialmente mais difundido, 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 7 demonstra as características de corrente e tensão ao realizar as ligações em série e/ou paralelo entre os módulos.

Figura 7 – Ligação dos módulos fotovoltaicos, (A) em série e (B) em paralelo.



Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014).

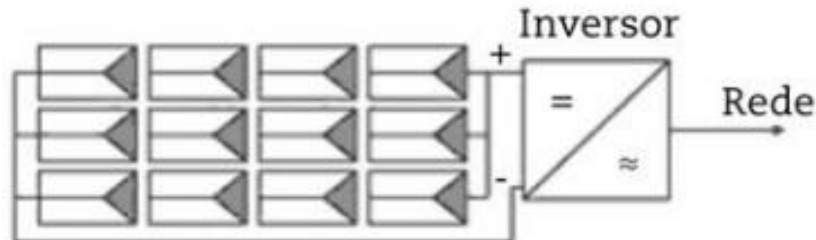
A quantidade de módulos conectados em série irá determinar a tensão de operação do sistema em corrente contínua (c.c.). Enquanto que a corrente elétrica do gerador solar é definida pelo somatório de conexões em paralelo de módulos individuais ou de *strings* (conjunto de módulos conectados em série).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

#### 1.4.2 Inversores c.c / c.a

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, que convertem

essa corrente contínua em corrente alternada, com frequência e tensão compatíveis com os valores da rede elétrica (GEHRING, 2015).

Figura 8 – Módulos fotovoltaicos e inversor.



Fonte: (ZILLES, 2012).

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; KREZNINGER; ROMERO, 2013).

Suas principais características técnicas estão ligadas aos parâmetros elétricos, como seus limites de tensão e corrente de entrada. Outro ponto é a detecção de ilhamento ou anti-ilhamento, essa função é exigida pelas normas que especificam a conexão de sistemas fotovoltaicos a rede elétrica, esse recurso é responsável por perceber a ausência de alimentação da rede elétrica e automaticamente deve se desligar ou desconectar o inversor para evitar acidentes. Desta forma, garantindo maior segurança do sistema e da UC (unidade consumidora) (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, estando sob critérios técnicos para funcionar corretamente nos sistemas geradores (GEHRING, 2015).

### 1.4.3 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 com a 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 necessidade da medição nos dois sentidos de fluxo, ou seja, medição bidirecional. Para sistema em Baixa Tensão a troca para um medidor bidirecional não gera ônus ao consumidor.

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

#### **1.4.4 Periféricos**

Para exercerem um funcionamento adequado, os SFCR possuem componentes indispensáveis em suas instalações à rede elétrica e no sistema de aterramento. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na NBR 16690, os componentes possuem as seguintes definições.

##### *1.4.4.1 Dispositivos de proteção contra surtos (DPS)*

Os dispositivos de proteção contra surtos (DPS) são incorporados em instalações elétricas para limitar sobre tensões transitórias de origem atmosférica (transmitidas pelos sistemas de alimentação, sejam eles em corrente alternada, corrente contínua ou ambos), e surtos decorrentes de manobras, além de serem aterrados juntamente com o sistema fotovoltaico (ABNT NBR 16690, 2019).

A norma ABNT NBR 5410/2004, em seu item 5.4.2.1 estabelece que todas as edificações dentro do território brasileiro que situam-se em locais onde há a ocorrência de trovoadas em mais de 25 dias por ano, devem ser providas de DPS. Bem como, quando partes da instalação estão situadas no exterior das edificações, expostas a descargas diretas, o DPS também é obrigatório.

Segundo a norma ABNT NBR 16690/2019, os DPS podem ser classificados em duas classes:

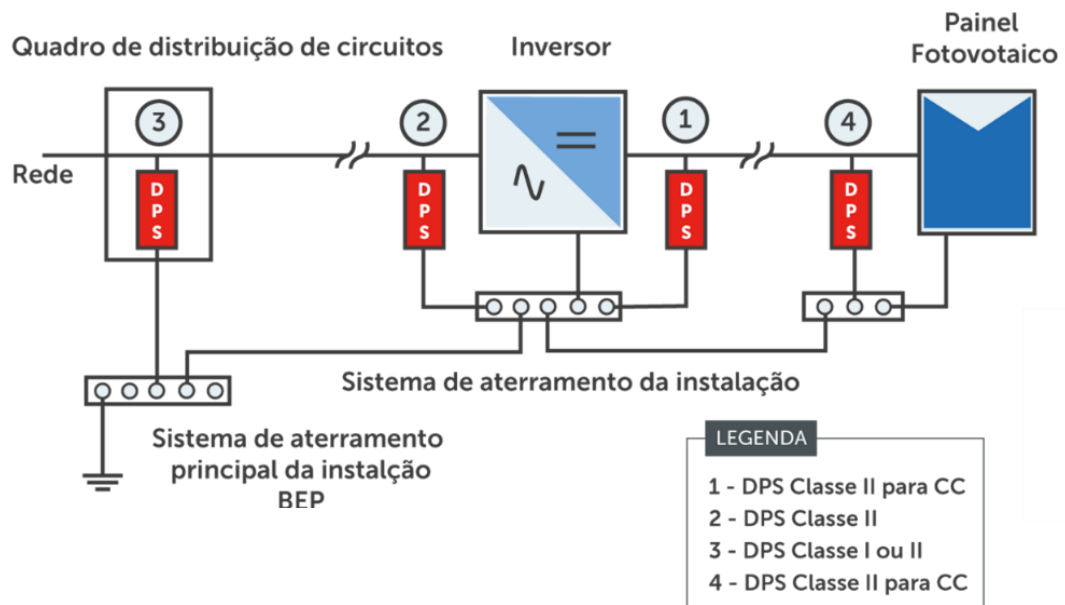
- Classe I - São indicados para locais sujeitos a descargas elétricas de alta intensidade, característica típica de instalações e edificações alimentadas diretamente por rede de distribuição aérea, por exemplo, alguns fabricantes sugerem que possua um nível de proteção de 40 até 70 kA. É recomendada sua instalação no ponto de entrada da rede elétrica na edificação.



- Classe II - São indicados para locais onde a rede elétrica não está exposta a descargas atmosféricas diretas, por exemplo, alguns fabricantes sugerem que possua um nível de proteção de 15 kA até 40 kA. É recomendada sua instalação no quadro de distribuição.
- Classe III - DPS destinado à proteção dos equipamentos eletro-eletrônicos, sendo uma proteção fina, de ajuste, proporcionando uma menor tensão residual, com isso uma proteção efetiva para os equipamentos específicos. Indicado para proteção de redes elétricas, de dados e sinais.

Nesta norma, cita-se apenas a aplicação das Classes I e II em SFCR, para melhor compreensão de distribuição dos DPS no sistema vide Figura 9.

Figura 9 – Localização das diferentes classes de DPS no sistema fotovoltaico.



Fonte: (CLAMPER, 2017).

Os DPS Classe II são normalmente utilizados nos circuitos de c.c. e de corrente alternada (c.a.) do SFCR, porém há diferenças na tensão de operação. Para o circuito c.c. as tensões variam até 1.500 V, enquanto que para o circuito c.a. a tensão varia até 220 V. No circuito c.c., ambos os polos devem ser protegidos, independentemente de a instalação possuir ou não aterramento funcional em um de seus polos, ou seja, o aterramento de um dos condutores vivos. Após uma descarga atmosférica direta ou indireta no SFCR, é recomendado realizar uma inspeção visual nos DPS (NASCIMENTO, 2013).

#### 1.4.4.2 Disjuntores

Os Disjuntores são dispositivos de proteção, usados também para acionar ou interromper circuitos elétricos. Podem ser de corrente contínua (c.c.), ou de corrente alternada (c.a.), 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, 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 c.a. são utilizados na proteção e manobra dos circuitos de corrente alternada, comumente requisito para aprovação da concessionária.
- Disjuntores c.c. são utilizados na proteção e manobra dos circuitos de corrente contínua dos módulos fotovoltaicos, sendo usados também para auxiliar na manutenção.

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

#### 1.4.4.3 Fusíveis c.c.

Em uma instalação FV, os fusíveis têm por função a proteção do circuito elétrico, garantindo a integridade dos condutores e módulos FV (NASCIMENTO, 2013).

#### 1.4.4.4 Estruturas metálicas

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 devem estar em conformidade com as normas pertinentes que dizem respeito as características de carregamento mecânico. Para isso devem-se entender dois conceitos básicos que dizem respeito a estruturas no âmbito de instalação.

- 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).

## 1.5 SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Segundo Moreno (1996), para possibilitar segurança aos equipamentos elétricos, unidades consumidoras e pessoas devemos estar cientes de quais formas mitigam os riscos de choques e danos elétricos.

Cabe ressaltar, 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 ao 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.

### 1.5.1 Unidade consumidora

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 falamos em unidade consumidora, estamos nos referindo 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).

### **1.5.2 Equipamentos**

A 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 do 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).

### **1.5.3 Pessoas**

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).

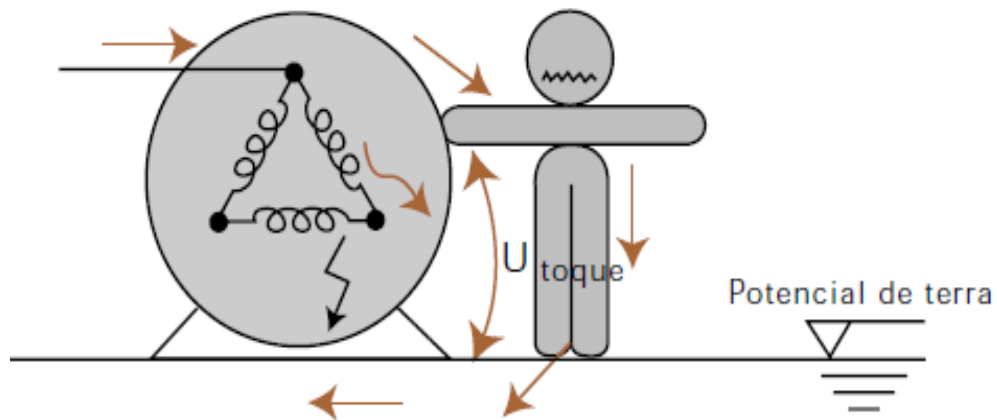
Existem dois principais tipos de ocorrência de choque elétrico envolvendo pessoas.

#### *1.5.3.1 Potencial de toque*

Se uma pessoa toca um equipamento sujeito a uma tensão de contato, pode ser estabelecida uma tensão entre mãos e pés. Em consequência, poderemos ter a passagem de uma corrente elétrica pelo braço, tronco e pernas, cuja duração e intensidade poderão provocar fibrilação cardíaca, queimaduras ou outras lesões graves ao organismo.

A Figura 11 demonstra como a passagem de corrente flui pelo corpo de uma pessoa.

Figura 11 – Potencial de toque.



Fonte: (MORENO, 1996).

O potencial de toque máximo permissível entre a mão e o pé, para causar fibrilação ventricular. Esse limite pode ser expresso de maneira quantitativa pela equação abaixo (PINHEIRO, 2013).

$$V_{m\acute{a}ximo} = (1000 + 1,5 * \rho_s) * \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad (1)$$

Sendo:

$\rho_s$  = resistividade superficial do solo, ou da primeira camada do solo;

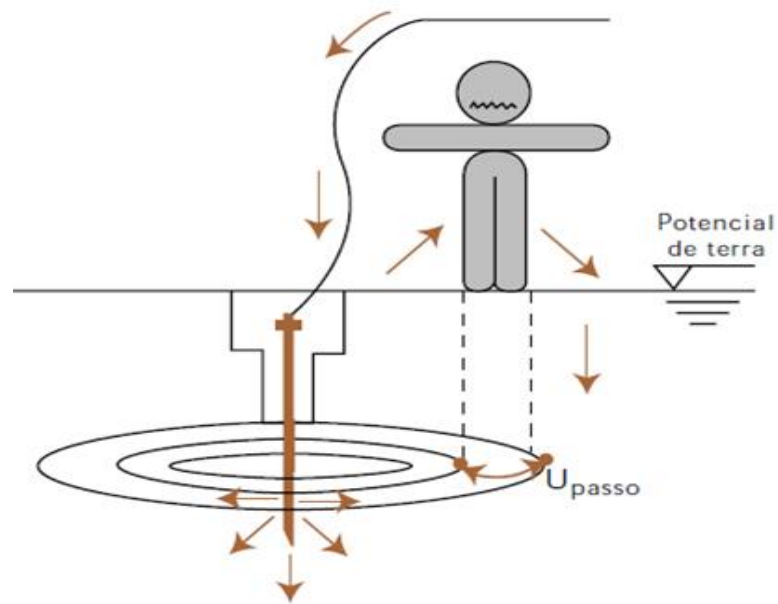
$t$  = tempo.

### 1.5.3.2 Potencial de passo

Quando uma corrente elétrica é descarregada para o solo, ocorre uma elevação do potencial em torno do eletrodo de aterramento. Se uma pessoa estiver em pé em qualquer ponto dentro da região onde passa o potencial, entre seus pés haverá uma diferença de potencial.

A Figura 12 demonstra como ocorre a passagem de corrente entre os pés de uma pessoa.

Figura 12 – Potencial de passo.



Fonte: (MORENO, 1996).

O potencial de passo máximo tolerável é limitado pela máxima corrente permissível pelo corpo humano que não causa fibrilação e pode ser calculado pela equação abaixo (PINHEIRO, 2013).

$$V_{\text{máximo}} = (1000 + 6 * \rho_s) * \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad (2)$$

Sendo:

$\rho_s$  = resistividade superficial do solo, ou da primeira camada do solo;

$t$  = tempo.

## 1.6 PROTEÇÃO E ATERRAMENTO DE SFCR

Em SFCR's, o aterramento de um dos polos do circuito c.c depende da tecnologia de 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.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Com base nas normas vigentes, foram definidas estratégias de aterramento para proteção dos SFCR e proteção das pessoas conforme disponibilidade técnica de cada UC. Os métodos avaliados tiveram como referência os modelos de ligações explicados anteriormente, T-T, TN-S e TN-C-S, conectados juntamente com um sistema fotovoltaico.

Foi aplicada uma metodologia de avaliação de aterramento de proteção através de um questionário 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 questionário (vide apêndice A) na Internet sobre aterramento elétrico de proteção e boas práticas para empresas integradoras da WEG de todo o Brasil, com perguntas relacionadas ao que é encontrado nas UC's no âmbito dos sistemas de aterramento no momento da instalação do sistema FV. A WEG atualmente possui mais de 200 integradores distribuídos em todo território nacional, selecionados para instalar sistemas geradores de energia. A decisão de conduzir a pesquisa no âmbito das empresas integradoras da WEG foi por possuir unidades em todo o país e, com isso, obter maior abrangência nacional. Cabe salientar que a WEG foi a empresa onde realizou-se o estágio obrigatório da graduação do autor, possibilitando presenciar diversas situações com relação a sistemas de geração de energia solar e as práticas de instalação, dentre elas, o aterramento em sistemas FV.

O questionário foi aplicado pela Internet a partir do dia 26 de março de 2020 e finalizado no dia 14 de maio de 2020. A pesquisa foi enviada para 201 empresas integradoras da WEG 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.

A primeira pergunta relacionava-se à Região de atuação da empresa no Brasil com o objetivo de verificar a distribuição das respostas pelo país.

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



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

Ressaltando que, o aterramento funcional relaciona-se a 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. Enquanto que o aterramento de proteção relaciona-se à ligação à terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação, com finalidade de proteção.

O desenvolvimento da terceira pergunta teve como objetivo verificar qual procedimento era adotado no momento que a UC possuía aterramento instalado, dentre as alternativas elencadas:

- Era feita medição *in loco*, 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, abordava uma situação em que a UC não possuía aterramento de proteção e questionava qual era o procedimento adotado. Sendo assim, haviam duas alternativas, sendo desenvolvido um aterramento dedicado ao sistema FV ou desenvolvido um aterramento de proteção e equipotencializado ao aterramento funcional.

A quinta 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 pergunta seguinte questionava do ponto de vista do entrevistado, a melhor maneira de garantir a segurança das pessoas e dos equipamentos, em que a pergunta era aberta para abordar mais detalhes.

Por fim, a sétima pergunta era um espaço para o entrevistado inserir informações complementares, caso as perguntas acima não abordssem de fato o que era feito na execução do projeto. Após a coleta dos resultados foi calculado o nível de confiança da amostra para visualizar a possibilidade de aplicação para uma amostra maior.

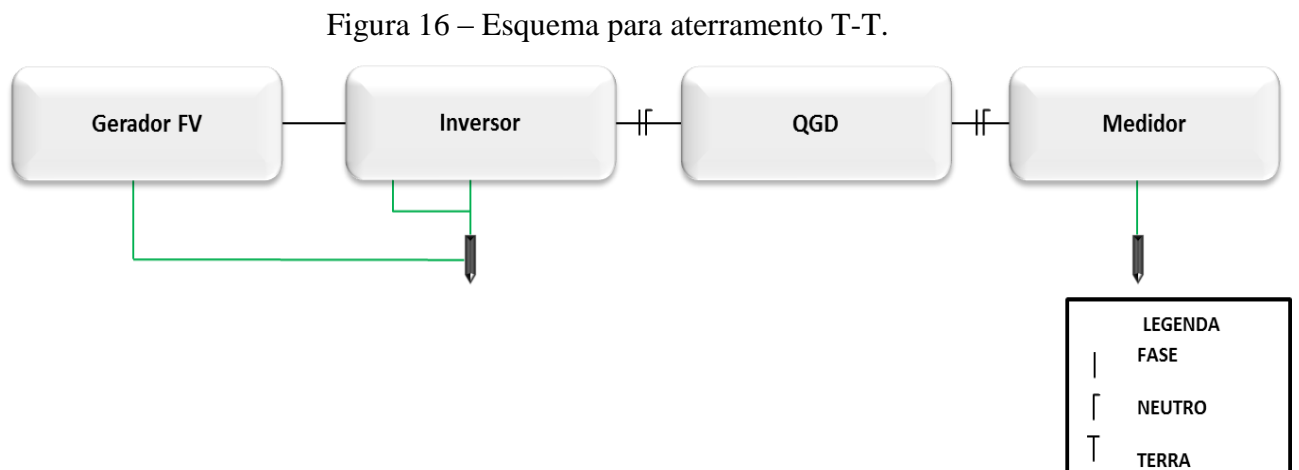
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão analisados os métodos de aterramento para os sistemas FV e, posteriormente, apresentados os resultados obtidos através do questionário. Após elencados, será levantada uma discussão dos resultados e suas possíveis soluções.

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

Para as configurações estudadas será usado um sistema FV monofásico como referência para facilitar a compreensão e análise dos dados. O primeiro esquema de aterramento é o T-T, onde é aterrado o sistema separadamente do medidor de energia.

A Figura 16 apresenta a configuração citada acima.



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.

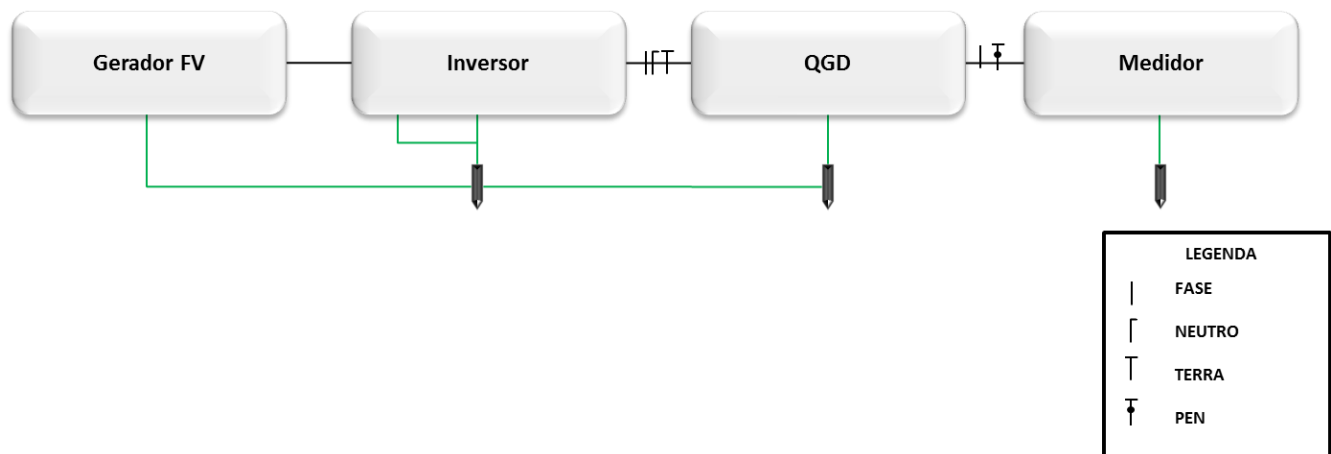
Ressalta-se a definição de correntes de fuga, que é caracterizada pela corrente elétrica que flui para além do circuito original sendo escoada para outras massas (FIGUEIREDO, 2015).

Os principais riscos são a energização das carcaças dos equipamentos e o choque elétrico. Para mitigar as correntes de fuga é a utilização do Dispositivo Diferencial Residual (DR), que detecta a ocorrência desse efeito e desarma no ato. Logo, para viabilizar esse esquema é necessário o uso de para conferir a proteção necessária para correta atuação do SFCR.

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 poupa gastos com material e tempo de serviço.

O segundo esquema sugerido é o TN-C-S, nele é feito o aterramento em todos os componentes do sistema. A Figura 17 apresenta o SFCR com aterramento próprio e equipotencializado ao aterramento existente do quadro geral de distribuição (QGD).

Figura 17 – Esquema para aterramento TN-C-S.



Fonte: O autor.

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.

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

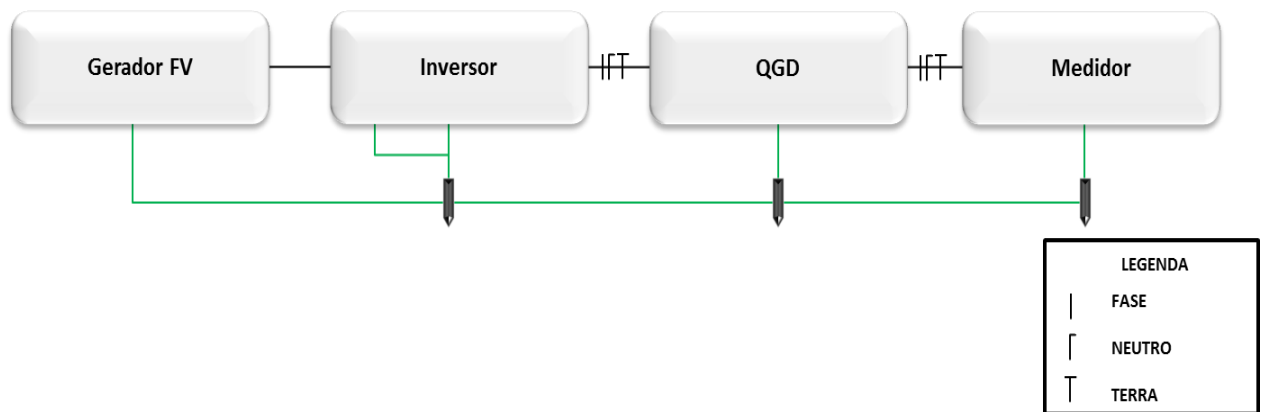
de correntes de fuga. Este sistema é uma configuração mais confiável que a configuração T-T, visto aterramentos adicionais em outros pontos do sistema.

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.

A terceira e última configuração sugerida é o TN-S, onde todos os componentes do circuito são aterrados e equipotencializados.

A Figura 18 apresenta o SFCCR com aterramento próprio e equipotencializado ao aterramento existente do quadro geral de distribuição (QGD) e ao aterramento da medição.

Figura 18 – Esquema para aterramento TN-S.



Fonte: O autor.

Segundo Pinheiro (2013), 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.

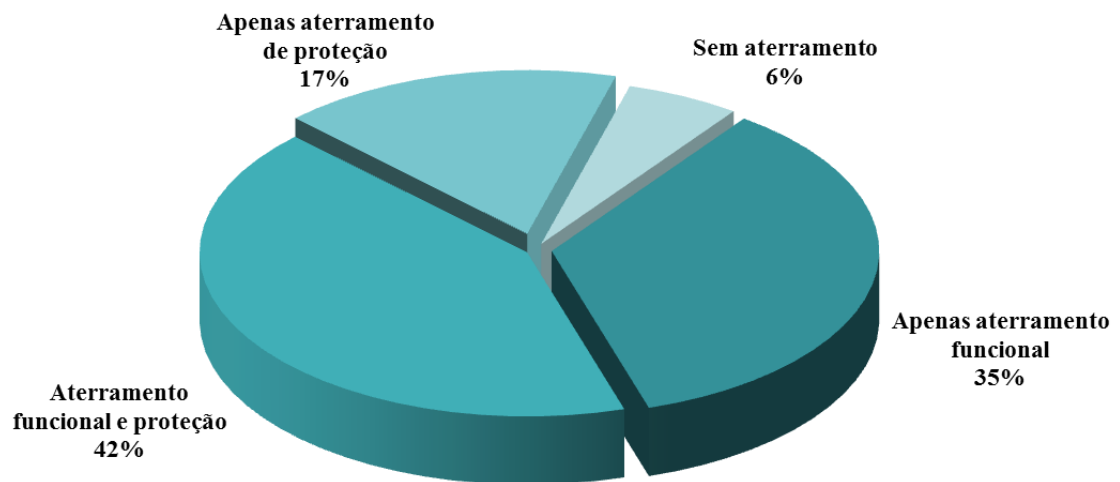
Osorio (2018, p. 9) aponta que para obter maior grau de proteção no aterramento é necessário o uso de mais hastes, devido a possibilitar a criação de uma malha e, conseqüentemente, essa prática diminui a resistência de aterramento além de facilitar o escoamento da corrente de falta. Relembrando que quanto menor a resistência de aterramento do sistema, maior a segurança para a UC e para o SFCCR. 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.

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.

Durante a verificação dos dados da pesquisa, obteve-se 71 respostas, totalizando 35,3% de participação da amostra. Dentre as respostas obtidas, 6 respostas foram da Região Norte, 7 respostas foram da Região Nordeste, 14 respostas foram da Região Centro-Oeste, 21 respostas foram da Região Sudeste e 23 respostas foram da Região Sul.

A pergunta seguinte relacionava-se ao tipo mais frequente de aterramento existente nas UC's no momento da instalação do sistema FV.

Figura 19 – Tipo frequente de aterramento no momento da instalação do sistema.



Fonte: O autor.

Nesta questão, 12 empresas responderam que se depararam com apenas aterramento funcional, 30 responderam que apenas aterramento de proteção estava instalado na UC, 25 responderam que a UC possuía aterramento funcional e proteção e 4 empresas responderam que a UC não possuem aterramento no momento da instalação.

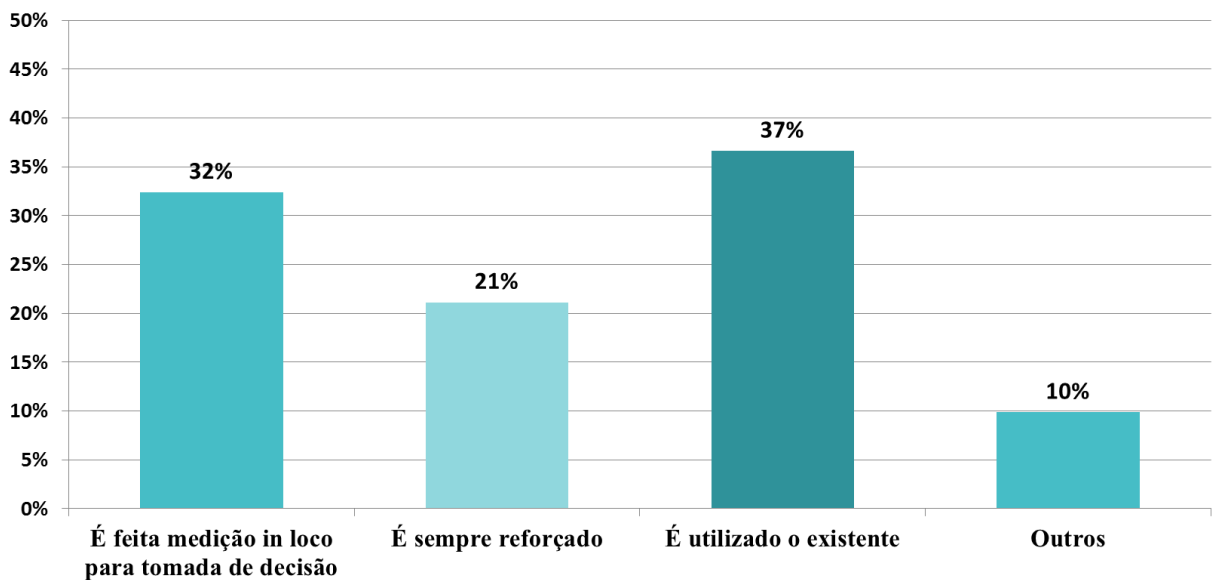
A maior parcela respondeu que encontram aterramento funcional e proteção, contudo as empresas integradoras que encontram apenas aterramento funcional ou não encontram aterramento no local de instalação totalizam 41%, evidenciando o descaso para a proteção da UC e das pessoas, isto pode ser devido a tratar-se de UC's residenciais, que de acordo com normas de prefeituras e concessionárias, o projeto elétrico não é obrigatório em alguns casos. Como é o exemplo da concessionária de energia elétrica CERSUL (2010, p. 25), que elenca

um dos requisitos para a obrigatoriedade do projeto elétrico em edificações de possuírem área construída maior que 200 m<sup>2</sup> ou que possuírem ligação com carga instalada acima de 30 kW.

No momento que a UC possui aterramento (proteção ou funcional), foi questionado o procedimento adotado pela empresa instaladora. Entre as alternativas poderia ser feita a medição *in loco* para tomada de decisão, reforçar o aterramento presente na UC, utilizar o aterramento presente na UC sem modificá-lo e a opção Outros, onde possibilitou que o integrador detalhasse qual procedimento era feito na instalação do sistema.

A Figura 20 demonstra quais foram os procedimentos mais adotados pelos integradores.

Figura 20 – Procedimento adotado na instalação do sistema quando a UC possui aterramento.



Fonte: O autor.

Dentre as respostas, 23 empresas relataram que é feita medição *in loco* para tomada de decisão, entretanto para haver medição do aterramento no local, Bezerra (2017, p. 26) aponta a necessidade de utilizar um terrômetro, que é um equipamento usado para medir a resistência do terra, empresas que optam por tomar esta decisão deverão possuir este instrumento, devidamente calibrado e seguindo as recomendações para validação das medida. Outro fator importante na tomada de decisão é a análise do solo em que o sistema será instalado, cada região possui um tipo de solo com características próprias.

No estudo de Pimenta (2017, p. 69), é relatada a diferença na qualidade do sistema de aterramento ao possuir brita no terreno. Bem como, uma diferença nas tensões de toque e de passo.

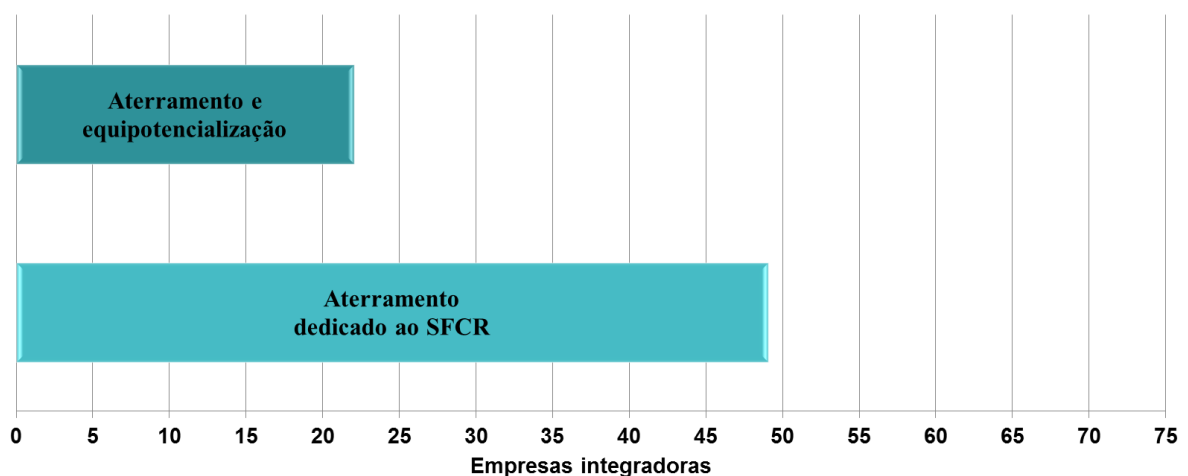
Posteriormente, 15 empresas reforçam o aterramento existente na UC, Visacro Filho (2002) ressalta que, ao reforçar o aterramento mitiga-se a possibilidade de falhas e acidentes na UC, pois ao executar um reforço no aterramento existente a corrente flui melhor no sistema. Entretanto, caso não haja o reforço 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.

Ao observarmos as respostas, temos que 37 % dos participantes utilizam o aterramento existente da UC, 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.

As demais empresas responderam que utilizam outros critérios na instalação do sistema FV. Como foi o caso da resposta de um dos integradores, que é utilizado o aterramento existente em sistemas de pequeno porte (< 75 kW) e reforçado em usinas de médio ou grande porte. Em outra resposta foi obtido o seguinte relato: “Se for de proteção utilizamos o existente, se for apenas funcional é feito um novo aterramento para o sistema FV”.

Ao serem questionados sobre qual procedimento era adotado no momento de não haver aterramento de proteção na UC foram obtidas as seguintes respostas, vide Figura 21.

Figura 21 – Procedimento adotado pelos integradores quando não há aterramento de proteção.



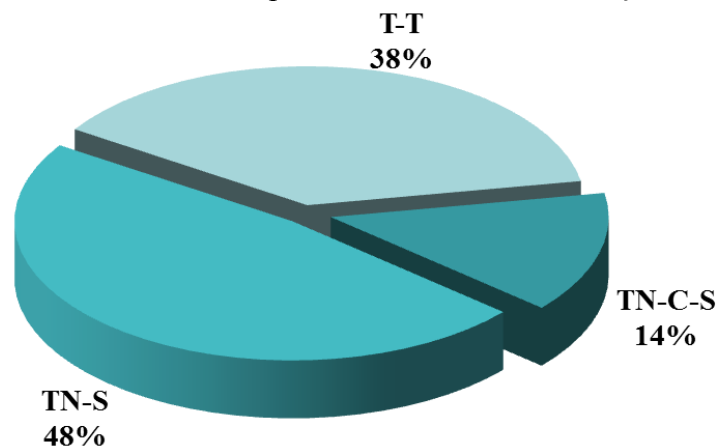
Fonte: O autor.

Neste item, 69 % das empresas responderam que é feito um aterramento dedicado ao SFCR, para haver um aterramento exclusivo deve-se aterrar as estruturas de fixação, módulos FV e o inversor do sistema. Desta forma, possui-se o sistema T-T, onde cria-se diferenças de potenciais dentro de uma mesma UC.

Ao passo que, 31 % responderam que é feito aterramento e equipotencializado ao sistema FV, sendo necessário que o sistema e a UC possuam aterramento próprio para possibilitar a igualdade de potencial de ambos.

A última pergunta relacionava-se ao esquema de aterramento mais aplicado em seus clientes e a resposta obtida está apresentada na Figura 22.

Figura 22 – Esquema de aterramento aplicado nas UC's na instalação do sistema.



Fonte: O autor.

Observa-se que a maioria das empresas utiliza o método TN-S, método que possui aterramento individual de cada massa (SFCR, medidor de energia e quadro geral de distribuição) e equipotencialização dos equipamentos. Por outro lado, 38 % das empresas aplicam o método T-T, este que possui apenas aterramento no inversor do sistema e no medidor de energia.

Durante as análises das respostas, foi calculado o nível de confiança da amostra para visualizar a possibilidade de aplicação para uma amostra maior. O nível de confiança é a frequência com a qual o intervalo observado contém o parâmetro real de interesse quando o experimento é repetido várias vezes. Em outras palavras, o nível de confiança seria a proporção de intervalos de confiança construídos em experimentos separados da mesma população e com o mesmo procedimento que contém o parâmetro de interesse real.



Tabela 2 – Validação da amostra a partir de dados e ponderações estatísticas.

<b>Parâmetro</b>	<b>Nível de confiança</b>	<b>Proporção</b>	<b>Erro padrão</b>
T-T	95%	38%	$\pm 3,57\%$
	90%		$\pm 2,99\%$
	80%		$\pm 2,33\%$
TN-S	95%	48%	$\pm 3,67\%$
	90%		$\pm 3,07\%$
	80%		$\pm 2,40\%$
TN-C-S	95%	14%	$\pm 2,55\%$
	90%		$\pm 2,14\%$
	80%		$\pm 1,67\%$

Fonte: O autor.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou diferentes configurações de aterramento para sistemas fotovoltaicos conectados à rede com base em diferentes normas regulamentadoras. Também foi realizada uma pesquisa com empresas instaladoras de todo o Brasil com o intuito de levantar as reais práticas no momento da instalação.

Ao analisar normas e documentos referentes a este tema, foi possível elencar pontos nos quais algumas configurações de aterramento desempenham papel de maior proteção no sistema. Entre as configurações analisadas, a conexão T-T apresentou menor nível de proteção, devido ao quadro geral de distribuição não ser aterrado e aos componentes não serem equipotencializados, resultando em vulnerabilidade no sistema caso haja irregularidades na rede e/ou descargas indiretas nos componentes. A configuração TN-S apresentou maior confiabilidade, devido ao aterramento de todos os componentes e equipotencialização dos mesmos, bem como, a criação de uma malha de aterramento por possuir mais hastes e, conseqüentemente, diminuir o valor da resistência de aterramento e possibilitando o escoamento de correntes de falta.

O questionário, por sua vez, evidenciou que os integradores seguem padrões de aterramento distintos, pois não há uma norma que regulamente métodos de aterramento para determinadas características da instalação. Além de identificar que, dentre as configurações aplicadas, 48 % das empresas realizam a configuração TN-S, enquanto 52 % refere-se às empresas que aplicam os métodos TN-C-S e T-T.

Por fim, no momento do dimensionamento e instalação do sistema deve-se entender que, o custo do sistema jamais se equiparara ao custo de uma vida humana, logo, no momento do balanço econômico deve-se levar em consideração que a proteção do sistema é prioridade, visto que, os riscos que envolvem a atuação do sistema FV são letais e em alguns casos, fatais.

## SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Com base no trabalho apresentado pode-se apontar uma sugestão para um trabalho futuro:

Realizar medições *in loco* em uma UC referência aplicando diferentes testes, variando, por sua vez, a configuração dos aterramentos.

As configurações sugeridas são:

- Com aterramento da carcaça;
- Sem aterramento da carcaça;
- Com aterramento c.a;
- Sem aterramento c.a;
- Com aterramento c.c;
- Sem aterramento c.c;
- Com equipotencialização do aterramento existente;
- Sem equipotencialização do aterramento existente;
- Com SPDA (se houver);
- Sem SPDA;
- Com aterramento reforçado;
- Sem aterramento reforçado.

Após efetuar as medições, pode ser feita uma análise dos dados e traçar um paralelo entre o presente trabalho e as medições *in loco*. Bem como, pode ser feito uma análise de práticas seguras e necessárias para a correta instalação e aterramento do sistema FV.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional** – **PRODIST**. 2016. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/PRODIST-M%C3%B3dulo5\\_Revisao4/1cf80370-3db4-4fa3-97db-d581d91a0568](https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/PRODIST-M%C3%B3dulo5_Revisao4/1cf80370-3db4-4fa3-97db-d581d91a0568). Acesso em: 15 março 2020.

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 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.

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.

CERSUL. **Entrada Consumidora de Baixa Tensão**. 2010. Norma Técnica e Padronização. Disponível em: <http://www.cersul.com.br/arquivos/FECOD04.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2020.

CLAMPER. **Guia de aplicação para a proteção de sistemas fotovoltaicos**. 2017. Disponível em: [https://clamper.com.br/wp-content/uploads/2017/06/MKT\\_012015\\_Guia\\_Sistemas-Fotovoltaicos\\_DIGITAL.pdf](https://clamper.com.br/wp-content/uploads/2017/06/MKT_012015_Guia_Sistemas-Fotovoltaicos_DIGITAL.pdf). Acesso em: 16 jan. 2020.

COUTINHO, Fernando Nominato; ALTOÉ, Cássio Alexandre. **Levantamento de estruturas que necessitam de SPDA na UnB e análise de seus efetivos sistemas de proteção.** 2003. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

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.

FIGUEREDO, R. S. **Corrente de fuga em inversores monofásicos sem transformador para conexão de sistemas fotovoltaicos à rede de distribuição de energia elétrica: Análise e proposta de filtro passivo integrado de modo comum e diferencial.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica.** São Paulo: Atitude Editorial, 2012. 11 p.

GEHRING, Adriano de Araújo. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: acompanhamento dos índices de mérito no escritório verde da UTFPR e análise da viabilidade econômica de implantação em residências.** 2015. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

IBRAP. **Estrutura para energia solar.** 2018. Disponível em: <http://ibrap.com.br/aluminio/fotovoltaico/>. Acesso em: 14 fev. 2020.

INPE. **Incidência de raios no Brasil.** 2020. Disponível em: [http://www.inpe.br/webelat/elatMidia/arquivos/20200515122315clipping\\_istoe.jpg](http://www.inpe.br/webelat/elatMidia/arquivos/20200515122315clipping_istoe.jpg). Acesso em: 12 fev. 2020.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60898-2:** Dispositivos elétricos - Disjuntores para a proteção contra as sobrecorrentes para instalações domésticas e análogas - Parte 2: Disjuntores para funcionamento em corrente alternada e em corrente contínua. Genebra, 2019.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60947-2**: Aparelhos de manobra e controle de baixa tensão Parte 2: Disjuntores. Genebra, 2013.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60364-7-712**: Requisitos para instalações ou locais especiais - Sistemas de energia solar fotovoltaica (FV). Genebra, 2002.

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.

KINDERMANN, Geraldo. **Aterramento Elétrico**. 3. ed. Porto Alegre: Sagra -dc Luzzatto, 1995. 113 p.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 8. ed. São Paulo: Ltc, 2010. 976 p.

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, 1996. 43 p.

NASCIMENTO, Lucas Rafael do. **Avaliação de longo prazo de um sistema fotovoltaico integrado à edificação urbana e conectado à rede elétrica pública**. 2013. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

NATIONAL ELECTRICAL CODE. **IEC 690-2**: Solar Photovoltaic Systems. Genebra, 2014.

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.

PINHEIRO, Luis Henrique; OLIVEIRA, Marcio Soares de; SILVEIRA JUNIOR, Landulfo. **Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas para subestações.** 2012. 4 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2012.

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 integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil.** Florianópolis: LABSOLAR, 2004. 114 p. ISBN 85-87583-04-2. Disponível em: <<https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>>. Acesso em 08 fev. 2020.

SABERELÉTRICA. **Elaborando Um Projeto De Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas.** 2016. Disponível em: <https://www.sabereletrica.com.br/projeto-de-spda/>. Acesso em: 25 fev. 2020.

SCARABELOT, Letícia Toreti; RAMPINELLI, Giuliano Arns; RAMBO, Carlos Renato. **Avaliação do sistema de compensação de geração distribuída com sistemas fotovoltaicos**

**em unidades prosumidoras residenciais.** 2019. 17 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2019.

SCHNEIDER ELETRIC (Brasil). **Esquemas de Aterramento.** São Paulo, 2014. 15 p. Disponível em: [https://dicasdozebio.files.wordpress.com/2014/02/tema3\\_aterramento.pdf](https://dicasdozebio.files.wordpress.com/2014/02/tema3_aterramento.pdf). Acesso em: 24 jun. 2020.

SOLAR, Portal. **Estrutura de Suporte para Fixação de Pannel Solar Fotovoltaico.** 2019. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-pannel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 17 abr. 2020.

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

ZILLES, Roberto. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 24 p.



**APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS INTEGRADORES**

1) Qual sua região de atuação?

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

2) Qual tipo de aterramento é encontrado com maior frequência?

- Funcional: Ligação 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.
- Proteção: Ligação à terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação, com finalidade de proteção.

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

3) Quando a UC possui aterramento (proteção ou funcional), qual procedimento é adotado?

- É feita medição *in loco*, para tomada de decisão.
- É sempre reforçado.
- É utilizado o existente.
- Outros: \_\_\_\_\_.

4) Quando não há aterramento de proteção, qual procedimento é adotado?

( ) É feito um aterramento dedicado ao sistema fotovoltaico.

( ) É feito um aterramento e equipotencializado ao funcional.

5) 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.

6) Na sua opinião, qual a melhor maneira de garantir a segurança das pessoas e dos equipamentos? (Faça um balanço entre custo e proteção).

---

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

---