UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

# SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM UMA CENTRAL DE GLP: ESTUDO DE CASO

FELIPE ANDRÉ DE QUADROS

Lajeado, novembro de 2020

Felipe André de Quadros

# SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM UMA CENTRAL DE GLP: ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Vale do Taquari UNIVATES, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.
Área de concentração: Instalações Elétricas.

Orientador: Prof. Me. Yuri Solis Stypulkowski

Lajeado, novembro de 2020

*“A coisa mais indispensável a um Homem/Mulher é reconhecer o uso que deve fazer do seu próprio conhecimento”* Platão

## RESUMO

O presente trabalho possui o intuito de realizar a análise e especificação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas para uma estrutura de armazenamento de gás liquefeito de petróleo (GLP). Utilizando como referência as especificações técnicas das normas IEC 62305:2010 e ABNT NBR 5419:2015, é possível especificar um conjunto de práticas que constitui o sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). A implementação de um SPDA se inicia por meio de uma análise de riscos para verificar a necessidade de instalação de um sistema de proteção. Após a especificação de um SPDA para a estrutura, é possível realizar uma avaliação dos resultados preliminares, verificando se o risco total *R* existente é superior ou inferior ao risco tolerável *RT*, implicando na adição de medidas de proteção adicionais no caso de R > RT. O sistema de proteção para essa unidade de armazenamento de GLP se enquadra como categoria I, levando em consideração suas peculiaridades, como a equipotencialização do gradil metálico que cerca a estrutura e da carcaça dos tanques, e principalmente o risco de explosão devido ao centelhamento ocasionado por uma descarga atmosférica, atingindo assim um risco inferior a RT.



**Palavras chave:** Descarga atmosférica; Proteção; SPDA.

## ABSTRACT

The present work has the intention to carry out the analysis and specify of a protection system against atmospheric discharges for a storage structure of liquefied petroleum gas (LPG). Using the technical specifications of the IEC 62305: 2010 and ABNT NBR 5419: 2015 standards as a reference, it is possible to specify a set of practices that constitute the lightning protection system (LPS). The implementation of an LPS starts with a risk analysis to verify the need to install a protection system. After specifying an LPS for the structure, it is possible to carry out an assessment of the preliminary results, verifying whether the existing total R risk is greater than or less than the tolerable risk RT, implying the addition of additional protection measures in the case of R> RT. The protection system for this LPG storage unit is classified as category I, taking into account its peculiarities, such as the equipotentialization of the metallic railing that surrounds the structure and the tank carcass, and especially the risk of explosion due to the sparking caused by an atmospheric discharge, thus reaching a risk lower than RT.



**Keywords:** Lighning; Protection; LPS.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Altura de formação das *cumuloninbous* ..... 18
Figura 2 - Formações de canais de descarga ..... 20
Figura 3 - Conformação da onda típica de descarga atmosférica em função do tempo ..... 21
Figura 4 - Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas antes e depois da revisão de 2015 ..... 23
Figura 5 - Estrutura da ABNT NBR 5419:2015 ..... 24
Figura 6 - Relação de riscos, perdas e danos ..... 27
Figura 7 - Fluxograma de realização do gerenciamento de risco ..... 32
Figura 8 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas no Brasil ..... 35
Figura 9 - Áreas de exposição equivalente ..... 36
Figura 10 - Cálculo de área para edificações quadradas ..... 36
Figura 11 - Cálculo de área para estruturas com formato complexo ..... 37
Figura 12 - Subsistemas do SPDA ..... 54
Figura 13 - Volume de proteção provido por mastro ..... 55
Figura 14 - Volume de proteção provido por um mastro para duas alturas diferentes ..... 55
Figura 15 - Ângulo de proteção correspondente a classe do SPDA ..... 56
Figura 16 - Volume de proteção provido por condutor suspenso ..... 56
Figura 17 - Projeção do método das esferas rolantes ..... 57
Figura 18 - Laço em um condutor de descida ..... 61
Figura 19 - Comprimento mínimo $l_1$ do eletrodo de aterramento ..... 63
Figura 20 - Método da Ponte de Kelvin ..... 68
Figura 21 - Método da Queda de Potencial ..... 69

Figura 22 - Curva característica da resistência de aterramento em função da distância .....70
Figura 23 - Fluxograma de análise.....72
Figura 24 - Central de GLP .....73
Figura 25  Central GLP: ângulo oposto .....74
Figura 26 - Localização da cidade de Caxias do Sul para obtenção do índice $N_G$....75
Figura 27 - Gráfico com a amplitude dos riscos .....80
Figura 28 - Gráfico com as novas amplitudes dos riscos .....81
Figura 29 - Ângulo de proteção para a estrutura.....83
Figura 30 - Ângulo de proteção sobre os tanques: vista lateral .....83
Figura 31 - ângulo de proteção sobre os tanques: vista frontal.....83
Figura 32 - Solda exotérmica .....84
Figura 33 - Detalhe do formato de malha de aterramento.....85
Figura 34 - Detalhe do local de instalação da malha de aterramento .....86
Figura 35 - Detalhes de instalação dos eletrodos verticais de aterramento .....87
Figura 36 - Comprimento total do eletrodo de aterramento.....88
Figura 37 - Painel elétrico existente da Central de GLP.....89
Figura 38 - Motobomba de gás existente .....89

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Fontes de dano .....25
Tabela 2 - Tipos de dano .....25
Tabela 3 - Tipos de perdas .....25
Tabela 4 - Tipos de riscos .....26
Tabela 5 - Níveis de proteção (NP) .....29
Tabela 6 - Componentes de risco relacionados a descargas atmosféricas na estrutura (S1) .....30
Tabela 7 - Componentes de risco relacionados a descargas atmosféricas próximas a estrutura (S2) .....30
Tabela 8 - Componentes de risco relacionados a descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas da estrutura (S3) .....30
Tabela 9 - Componentes de risco relacionados a descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas da estrutura (S4) .....30
Tabela 10 - Componentes de riscos .....31
Tabela 11 - Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura .....31
Tabela 12 - Risco tolerável (RT) para cada tipo de perda .....33
Tabela 13 - Relação de eventos perigosos e riscos relacionados .....33
Tabela 14 – Variação da variável $Y$ em função do local de exposição .....35
Tabela 15 - Fator de localização da estrutura ($C_D$) .....37
Tabela 16 - Fator de linha ($C_T$) .....38
Tabela 17 - Fator de instalação da linha $C_I$ .....40
Tabela 18 - Fator ambiental da linha $C_E$ .....40

Tabela 19 - Valores de probabilidade $P_{TA}$ de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas .....41
Tabela 20 - Valores de probabilidade $P_B$ dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos (contínua) .....41
Tabela 21 - Valores de probabilidade de $P_{SPD}$ em função do NP para o qual os DPS foram projetados .....42
Tabela 22 - Valores dos fatores $C_{LD}$ e $C_{LI}$ dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento.....43
Tabela 23 - Valor do fator $K_{S3}$ dependendo da fiação interna .....44
Tabela 24 - Valores da probabilidade $P_{TU}$ de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas.....45
Tabela 25 - Valor da probabilidade $P_{EB}$ em função do NP para o qual os DPS foram projetados.....45
Tabela 26 - Valores da probabilidade $P_{LD}$ dependendo da resistência RS da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso $U_W$ do equipamento.....45
Tabela 27 - Valores da probabilidade $P_{LI}$ dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso UW dos equipamentos .....47
Tabela 28 - Tipo de perda L1: Valores médios típicos de $L_T$, $L_F$ e $L_O$.....48
Tabela 29 - Fator de redução $r_t$ em função do tipo da superfície do solo ou piso .....48
Tabela 30 - Fator de redução $r_p$ em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio .....49
Tabela 31 - Fator de redução $r_f$ em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura .....49
Tabela 32 - Fator $h_z$ aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial .....49

Tabela 33 - Tipo de perda L2: valores médios típicos de $L_F$ e $L_O$.....50
Tabela 34 - Tipo de perda L3: valor médio típico de $L_F$.....51
Tabela 35 - Tipo de perda L4: valores médios típicos de $L_T$, $L_F$ e $L_O$ .....52
Tabela 36 - Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA.....53
Tabela 37 - Relação do raio da esfera rolante .....57
Tabela 38 - Afastamento máximo dos condutores de malha .....58
Tabela 39 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas.....59
Tabela 40 - Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas.....60
Tabela 41 - Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA.....60
Tabela 42 - Isolação do SPDA externo – Valores do coeficiente ki.....62
Tabela 43 - Isolação do SPDA externo – Valores aproximados do coeficiente kc ....62
Tabela 44 - Isolação do SPDA externo – Valores do coeficiente km .....62
Tabela 45 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento .....64
Tabela 46 - Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) .....65
Tabela 47 - Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento.....66
Tabela 48 - Dados da estrutura.....76
Tabela 49 – Área de Exposição equivalente .....76
Tabela 50 - Número de eventos perigosos .....76
Tabela 51 - Componentes de riscos S1: descargas atmosféricas na estrutura .....77
Tabela 52 - Componentes de riscos S1: $R_A$ e $R_B$ .....77

Tabela 53 - Componentes de riscos S2: descargas atmosféricas perto da estrutura77
Tabela 54 - Componentes de riscos S2: $R_M$.....77
Tabela 55 - Componentes de risco S3: descargas atmosféricas na linha conectada78
Tabela 56 - Componentes de risco S3: $R_U$, $R_V$ e $R_W$.....78
Tabela 57 - Componentes de risco S4: descargas atmosféricas perto da linha conectada.....79
Tabela 58 - Componentes de risco S4: $R_Z$.....79
Tabela 59 - Avaliação dos novos componentes de risco e R1.....79
Tabela 60 - Avaliação dos novos componentes de risco e R1.....81

## Lista de Abreviações

| | |
|---|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AT | Alta Tensão |
| BEL | Barramento de equipotencialização local |
| BEP | Barramento de equipotencialização principal |
| BT | Baixa Tensão |
| DPS | Dispositivo de proteção contra surtos |
| ELAT | Grupo de Eletricidade Atmosférica |
| GLP | Gás liquefeito de petróleo |
| Hz | Hertz |
| IEC | *International Electrotechnical Commission* |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| MPS | Medidas de proteção contra surtos |
| NBR | Norma Brasileira |
| RT | Risco tolerável |
| SPDA | Sistema de proteção contra descargas atmosféricas |

# SUMÁRIO


1. INTRODUÇÃO ..... 14

1.1. Justificativa ..... 16
1.2. Objetivos ..... 17
1.2.1. Objetivo Geral ..... 17
1.2.2. Objetivos específicos ..... 17
1.3. Estrutura e organização do trabalho ..... 17

2. REFERENCIAL TEÓRICO ..... 18
2.1. Descarga atmosférica ..... 18
2.1.1. Ocorrência de descargas atmosféricas no Brasil ..... 21
2.2. NBR 5419 - Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas ..... 22
2.2.1. Histórico ..... 22
2.2.2. Danos ocasionados por descargas atmosféricas ..... 24
2.2.3. Necessidade e vantagem econômica da proteção contra descargas atmosféricas ..... 26
2.2.4. Medidas de proteção ..... 27
2.2.5. Critérios básicos para proteção de estruturas ..... 28
2.3. Métodos para elaboração de um SPDA ..... 29
2.3.1. Gerenciamento de risco ..... 29
2.3.2. Projeto executivo ..... 52
2.4. Método para avaliação de um SPDA ..... 67
2.4.1. Ordem das inspeções ..... 67
2.4.2. Manutenção ..... 70
2.4.3. Documentação ..... 71

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS ..... 72

4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS ..... 73
4.1. Análise da estrutura ..... 73
4.2. Análise da documentação existente ..... 74
4.3. Elaboração do sistema de proteção contra descargas atmosféricas ..... 74
4.3.1. Gerenciamento de risco ..... 75
4.3.1. Projeto executivo do SPDA ..... 82

**5. CONCLUSÕES.....91**
**5.1. Trabalhos futuros .....91**

**REFERÊNCIAS .....92**

**APÊNDICE A – PROJETO EXECUTIVO DE SPDA PARA CENTRAL DE GLP .....94**

# 1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais primórdios o homem deslumbra-se com os fenômenos da natureza, alguns pela beleza e simplicidade, outros pelo poder de destruição e modificação do ambiente. Associando tal deslumbramento com a curiosidade naquilo que não possamos tocar ou nos aproximar, o interesse por raios e relâmpagos sempre cativou o interesse de pesquisadores e aventurados.

Ao longo das décadas diversas teorias manifestaram-se para explicar o surgimento das descargas atmosféricas, tanto entre nuvens, quanto entre nuvens e o solo. A teoria consolidada atualmente é de que o posicionamento das partículas de água dentro das nuvens, causado pelos ventos ascendentes, faz com que a nuvem apresente cargas elétricas de uma única polaridade em sua região inferior, e cargas elétricas opostas na área superior (MAMEDE FILHO, 2017).

Como o ar é um bom isolador elétrico, as nuvens não descarregam sua energia elétrica a todo momento. Quando as nuvens estão com uma alta concentração de energia elétrica (cargas positivas e negativas, alojadas em regiões diferentes da nuvem), a proximidade ou o contato com outras nuvens também carregadas faz com que o ar fique ionizado e a sua rigidez dielétrica seja rompida, permitindo o deslocamento de cargas elétricas de uma nuvem a outra. (MACINTYRE; NISKIER, 2000).

Visacro Filho (2005) complementa que esse fluxo intenso de energia ocasiona um elevado aumento de temperatura e um efeito luminoso, chamado de relâmpago. O aumento da temperatura implica na dilatação do ar circunvizinho ao canal de ocorrência da descarga atmosférica, provocando um deslocamento do ar em formato de onda sonora, denominado trovão. O autor ainda afirma que o relâmpago se propaga na velocidade da luz é observado assim que ocorre, enquanto o trovão se propaga a velocidades menores, e possui sua audição normalmente limitado a distância de até 10 km.

A troca de fluxo elétrico que ocorre entre nuvens também pode acontecer entre nuvens e o solo, e em ambos os casos, são chamadas de descargas atmosféricas. Cavalin e Cervelin (2006) descrevem que uma descarga atmosférica entre nuvens e o solo pode apresentar amplitudes de intensidade elétrica de 2 kA até 200 kA, e durar apenas milésimos de segundos. A ocorrência de descargas atmosféricas é um evento

que danificam processos biológicos, químicos e físicos de nosso planeta, além de promover riscos à segurança de seres vivos e a integridade de estruturas, e ainda danificar e comprometer o funcionamento de sistemas elétricos e eletrônicos (VISACRO FILHO, 2005).

Os danos e consequências causadas pelas descargas atmosféricas podem ser diretas ou indiretas. A forma direta ocorre quando uma descarga atmosférica atinge diretamente uma estrutura, por exemplo, e causa danos à própria estrutura ou a seus elementos internos por meio da dissipação de sua energia, podendo ainda causar perigo aos seres vivos de seu interior. Já as indiretas são causadas por descargas atmosféricas próximas ao local, que criam uma indução de sobretensões por meio de campos magnéticos (CAVALIN; CERVELIN, 2005).

Pensando em evitar as perdas ocasionadas por descargas atmosféricas, o homem pesquisou e desenvolveu métodos para proteger as estruturas e os seres vivos, e atenuar as perdas e os riscos. Dessa forma, surgiram as normas de regulação para sistemas de proteção contra as descargas atmosféricas. No Brasil, a aplicação destas normas começou na década de 1950, por meio da NB 165, uma norma de poucas páginas e baseada em normas internacionais. Ao longo dos anos, a norma específica para proteção contra descargas atmosféricas foi trocando de nome ganhando volume, porém sempre baseada em normas internacionais, onde a cada nova versão, mais detalhes e informações sobre novos métodos eram dispostos.

No ano de 2015 nasce a última revisão da ABNT NBR 5419, uma norma extensa e completa, segmentada em 4 partes, e que busca a proteção de estruturas e seres vivos de forma eficiente, abordando diversas características construtivas. Cada parte da norma aborda assuntos específicos, desde os requisitos básicos, passado por uma análise dos riscos, até os detalhes técnicos construtivos sobre as medidas de proteção que podem ser implementadas.

Algumas aplicações da ABNT NBR 5419:2015 podem apresentar características singulares, como equipotencialização de partes metálicas ou cautela com áreas com perigo de explosão. O projeto deste trabalho visa a análise e elaboração de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas para uma unidade de armazenamento de gás, chamada de Central de GLP, localizada dentro de uma indústria metalúrgica na cidade de Caxias do Sul, no estado do Rio Grande do Sul.

Tal trabalho será relacionado como um estudo de caso, e terá suas análises e desenvolvimento baseado nas premissas da norma ABNT NBR 5419:2015. Assim, será elaborada uma análise de riscos para verificação das medidas de segurança necessárias, e um projeto executivo com os detalhes do sistema de proteção que deve ser implementado para garantir a segurança do local e dos funcionários do estabelecimento.

## 1.1. Justificativa

Embora o Brasil possua uma alta incidência de descargas elétricas anualmente, inclusive provocando óbitos, muitos profissionais do setor elétrico desconhecem (ou conhecem muito pouco) sobre os sistemas de prevenção contra danos ocasionados por descargas atmosféricas. Essa carência de conhecimento técnico está refletida em nossa sociedade, onde parte da população não entende a importância de sistemas de aterramento, que também faz parte de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

Desde a última atualização da norma ABNT NBR 5419 em 2015, muitos profissionais acham difícil e maçante realizar um estudo sobre o sistema de proteção, devido ao tamanho que a norma adquiriu, o que pode ocasionar erros ou divergências nos projetos. Ainda assim, há poucos livros técnicos relacionados ao tema, com exceção das instituições dedicadas para o segmento, que realizam testes e estudos para validar e apresentar novas perspectivas junto as normas vigentes, apresentando artigos e estudos de casos para exemplificar tais estudos.

A explicação dos aspectos técnicos da norma de forma didática, simples e direta contribui para um melhor entendimento para aqueles que possuem dúvidas, e auxilia na divulgação de informações corretas e verdadeiras quanto a necessidade de instalação e manutenção de sistemas de proteção.

## 1.2. Objetivos

Para este trabalho, os objetivos a serem alcançados estão dispostos nos itens abaixo.

### 1.2.1. Objetivo Geral

Analisar as características do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) e projetar as medidas de proteção necessárias para uma estrutura de armazenamento de gás liquefeito de petróleo (GLP).

### 1.2.2. Objetivos específicos

São designados como objetivos específicos:

- Estudar a formação de descargas atmosféricas produzidas por fenômenos atmosféricos
- Identificar e estruturar os procedimentos necessários para elaboração de um projeto de SPDA conforme as normas vigentes;
- Realizar uma análise da implementação de um SPDA em uma estrutura de armazenamento de gás;
- Dimensionar, especificar e projetar as características do SPDA para a estrutura, caso seja necessário;
- Realizar a especificação de SPDA para uma central de armazenamento de gás através de um projeto executivo, utilizando como embasamento a norma vigente ABNT NBR 5419:2015.

## 1.3. Estrutura e organização do trabalho

O documento está organizado em cinco capítulos. O capítulo 2 retrata as referências bibliográficas sobre os principais aspectos teóricos que envolvem o desenvolvimento do trabalho. No capítulo três está descrito as características metodológicas do projeto, no capítulo 4 serão abordados o desenvolvimento, os resultados e as discussões, enquanto no capítulo 5 serão explanadas as conclusões e trabalhos futuros.

# 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica com abordagem dos conteúdos que fundamentam o tema escolhido para o trabalho.

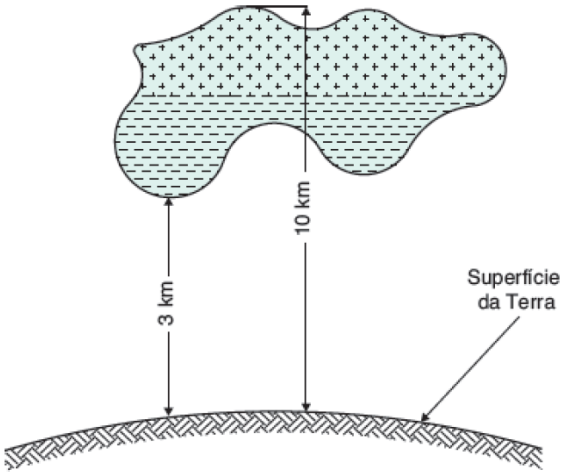
## 2.1. Descarga atmosférica

A pesquisa sobre os fenômenos atmosféricos provém de muitos séculos, sempre envolvendo experimentos e testes para fundamentar os novos conceitos. Desde o início destes estudos, os autores sempre adotaram uma ideologia simples para explicar este fenômeno (LIMA FILHO, 2006).

No Brasil, a norma técnica que traz as definições sobre esse tema é a ABNT NBR 5419-1:2015, que é baseada na norma internacional IEC 62305:2010. Estas normas trazem que a descarga atmosférica é definida como uma descarga de energia elétrica entre nuvens, ou entre nuvens e a terra. A norma ainda descreve que uma descarga atmosférica é normalmente identificada como uma descarga de curta duração e com elevado valor de pico de corrente (ABNT, 2015) (IEC, 2010).

Tanto Carvalin e Cervelin (2006), quanto Mamede Filho (2017), afirmam que a origem da descarga atmosférica se dá nas nuvens chamadas *cumuloninbous*, que são mais extensas que as demais. Os autores expressam que essas nuvens se formam a alturas de 2000 a 3000 metros e se prolongam de 10000 até 18000 metros acima. A figura abaixo ilustra esses dados.

Figura 1 - Altura de formação das *cumuloninbous*




Fonte: adaptado de Mamede Filho, 2017.

Nestas nuvens, o vapor se mistura com ar quente, formando granizo, ocasionando movimentação de partículas internas a nuvem, fazendo com que a mesma fique eletricamente carregada. O granizo, por ser mais pesado se desloca até a região inferior da nuvem e recebe as cargas negativas, enquanto outras partículas mais leves (como cristais de gelo) se deslocam para a parte superior e recebem as cargas positivas da nuvem. Dessa forma, o carregamento elétrico da nuvem consiste em possuir cargas negativas na região inferior, e cargas positivas na região superior. (CARVALIN, CERVELIN, 2006) (MAMEDE FILHO, 2017).

Carvalin e Cervelin ainda afirmam que a maioria das descargas atmosféricas ocorrem entre nuvens, e poucas vezes entre nuvens e Terra. Mamede Filho (2017) explica que devido à grande concentração de cargas elétricas em determinada região, faz com que surja uma diferença de potencial entre as nuvens e a Terra. Macintyre e Niskier (2000) explicam que essa diferença de potencial entre nuvens e Terra forma um grande capacitor, já que conforme a movimentação das nuvens, a zona de carga positiva do solo sempre a acompanha.

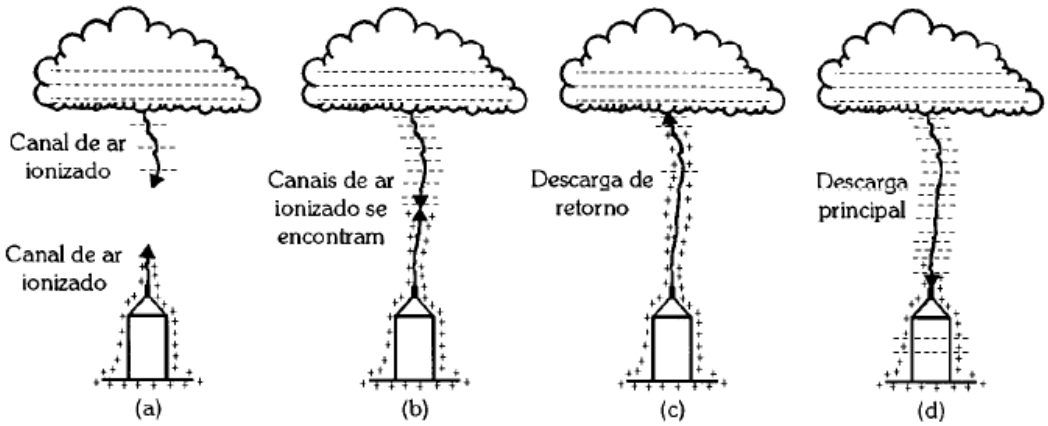
A diferença de potencial entre nuvens e o solo é preenchida por um ótimo isolante, o próprio ar, que é possui alta rigidez dielétrica (MACINTYRE, NISKIER; 2000). O aumento da diferença de potencial entre estes pontos é chamado de gradiente de tensão, que pode atingir valores extremamente elevados, até o ponto de romper a rigidez dielétrica do ar. Com esse rompimento, as cargas negativas da região inferior da nuvem se deslocam em direção ao solo por meio de um trajeto tortuoso e ramificado, constituindo assim o fenômeno chamado descarga atmosférica descendente, caracterizada por possuir um líder descendente. Para conseguir romper a rigidez dielétrica do ar, é necessário que o valor do gradiente de tensão seja de aproximadamente 1 kV/mm (MAMEDE FILHO, 2017).

Lima Filho (2006) explica que a primeira descarga atmosférica descendente é chamada de descarga piloto, podendo atingir a velocidade de 1500 km/s. Por meio da descarga piloto, é formado um canal contínuo e ionizado entre a nuvem e o solo, proporcionando a ocorrência de uma descarga atmosférica ascendente (da Terra para a nuvem).

Após haver o encontro do piloto descendente com a descarga ascendente, ocorre uma terceira descarga, porém com intensidade ínfera, formando assim a descarga completa. Algumas nuvens possuem um elevado carregamento elétrico e necessitam de diversas descargas subsequentes para conseguir realizar seu devido

descarregamento. Para Lima Filho, isto é conhecido como descargas múltiplas. A figura 2 abaixo ilustra a formação dos canais e o fluxo da descarga atmosférica.

Figura 2 - Formações de canais de descarga




Fonte: Lima Filho, página 214.

Diversos estudos sobre o assunto apresentaram dados referentes a ocorrência de descargas e sua intensidade. A lista abaixo apresenta a intensidade da corrente elétrica dissipada em função da probabilidade de ocorrência. Conforme Mamede Filho (2017), o valor de pico das descargas atmosféricas segue a seguinte probabilidade:

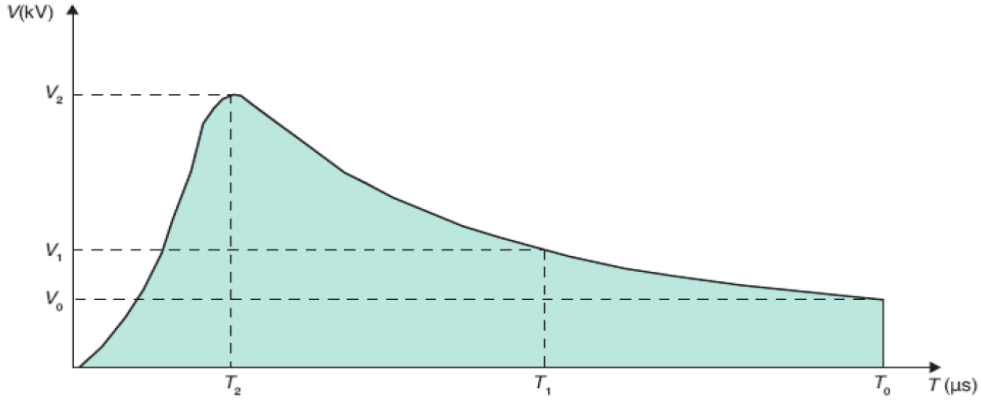
- 95 % de chances de ocorrer descargas com valor igual ou inferior a 5 kA;
- 80 % de chances de ocorrer descargas com valor igual ou inferior a 20 kA;
- 60 % de chances de ocorrer descargas com valor igual ou inferior a 30 kA;
- 20 % de chances de ocorrer descargas com valor igual ou inferior a 60 kA;
- 10 % de chances de ocorrer descargas com valor igual ou inferior a 80 kA.

Mamede Filho (2017) descreve que a corrente da descarga atmosférica possui uma única polaridade, ou seja, uma única direção. Estudos específicos foram capazes de descrever a onda típica de descargas atmosféricas, associando a tensão da descarga em função do tempo de duração.

Segundo IEC 62305 (2010) e Mamede Filho (2017), o valor máximo da onda ocorre em um período T2, entre 1 a 10 µs, e seu valor médio de tensão ocorre no tempo T1, de 20 a 50 µs, reduzindo a zero entre 100 e 200 µs. A normalização da onda tensão definiu os valores de 50 µs para T1 e 1,5 µs para T2, comumente conhecida como onda 10 x 350 us. Semelhantemente, a onda característica de corrente é normalizada com 20 µs para T1 e 8 µs para T2, sendo conhecida como

onda 8 x 20 us. A figura 3 abaixo apresenta a conformação da amplitude da descarga atmosférica em função do tempo.

Figura 3 - Conformação da onda típica de descarga atmosférica em função do tempo




Fonte: Mamede Filho (2017, pág. 1022)

A análise do formato da onda, juntamente com os valores típicos de tempo, amplitude de tensão, e probabilidade de ocorrência, proporcionam a prática de estudos para dimensionamento dos dispositivos de proteção contra descargas atmosféricas. (MAMEDE FILHO, 2017).

### 2.1.1. Ocorrência de descargas atmosféricas no Brasil

Segundo os dados do website do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio do Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT), estima-se que o Brasil registre cerca de 77,8 milhões de relâmpagos por ano, o equivalente a 2 relâmpagos por segundo. Este valor é equivalente a 9 relâmpagos por m² por ano (INPE, 2017).

Conforme publicação do website Agência Brasil, o ELAT realizou um estudo quantitativo de mortes causadas por raios no Brasil, e chegou a conclusão que de 2000 a 2014 foram 1792 mortes, obtendo uma média de 120 óbitos anuais. A região com maior número de mortes é a Região Sudeste, com 28%, e todas as demais regiões possuem 18% dos casos. Fazendo uma lista dos estados com maior número de mortes, temos a seguinte sequência: São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Pará, Mato Grosso e Goiás (INPE, 2015).

Neste estudo, o ELAT chegou à conclusão que 43% dos óbitos ocorreram durante o verão, e que 2 a cada 3 mortes aconteceram em espaços aberto ao ar livre.

De cada 50 mortes decorrentes de raios no mundo, pelo menos uma ocorre no Brasil (CAZARRÉ, 2017).

## 2.2. NBR 5419 - Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas

Perante a impossibilidade de criar um dispositivo ou método que seja capaz de alterar fenômenos climáticos naturais com o intuito de precaver ocorrências de descargas atmosféricas, se torna necessário a implementação de medidas de proteção para redução dos riscos a vida dos seres vivos e às estruturas (ABNT, NBR 5419-1, 2015).

Atualmente, a norma NBR 5419:2015 é a norma responsável por especificar as diretrizes dos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

### 2.2.1. Histórico

O início das normas referentes a proteção contra descargas atmosféricas deu-se na década de 1950. Nesta ocasião, foi publicada a norma NB 165, baseada em documentos Belgas e contendo cerca de 6 páginas. Em 1970, houve uma revisão com base em documentos americanos, passando a ter 7 páginas (MODENA, 2010).

Em 1977 a NB 165 é cancelada, dando lugar a primeira versão da norma NBR 5419 – Proteção de estruturas contra descargas elétricas atmosféricas. Essa nova norma possui 16 páginas e usava como base uma norma internacional da *International Electrotechnical Commission* (IEC). A nova NBR fixava os requisitos básicos requeridos para estudo, projeto e instalação de para-raios em edificações, visando protegê-las contra descargas atmosféricas.

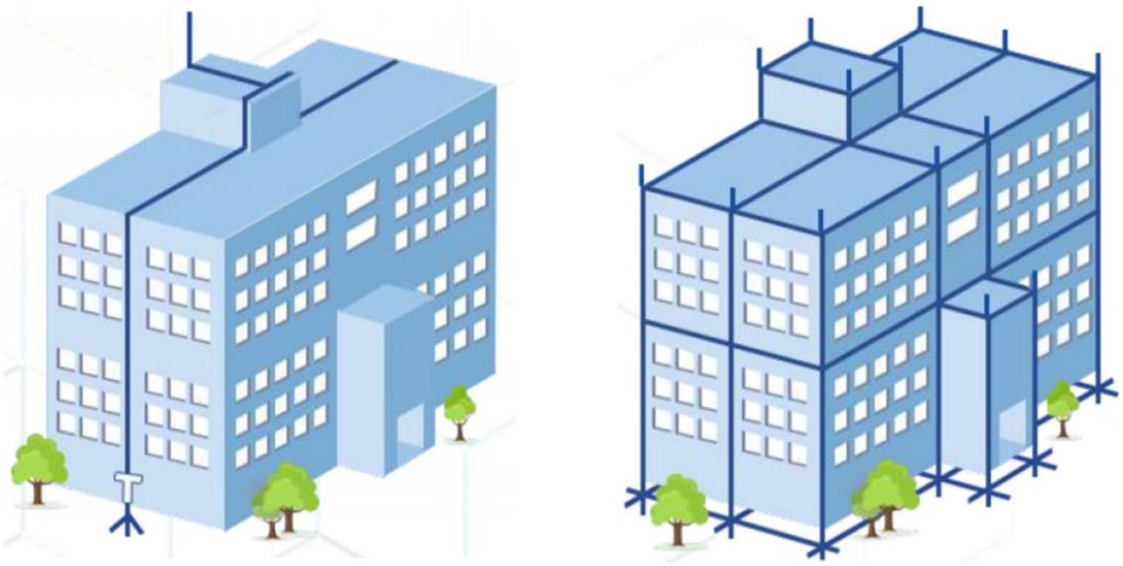
Em 1993 sofre uma revisão, passando a contar com 27 páginas, onde foram definidas as exigências para os projetos, instalação e manutenção de sistemas contra descargas atmosféricas. Em 2001 passa por outra revisão, que lhe atribui um total de 32 páginas.

Em 2005 por meio de uma nova revisão, a norma passa a se chamar NBR 5419:2005 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Nessa revisão, a norma conta com 42 páginas, fazendo referência a projetos e medidas de proteção para atenuar riscos e danos em virtude da ocorrência de descargas atmosféricas. Essa norma ainda aborda medidas de proteção para incidência direta de raios sobre

pessoas e equipamentos que estejam dentro da edificação protegida pelo sistema de proteção instalado.

Publicada em maio de 2015, e entrando em vigor em junho do mesmo ano, a NBR 5419:2015 passou a possuir um total de 366 páginas, sendo dividida em 4 partes, NBR 5419-1, NBR 5419-2, NBR 5419-3, E NBR 5419-4. O aumento significativo da norma se deu pela nova reestruturação da norma, segmentando o conteúdo em partes e facilitando a interpretação dos tópicos e itens. A figura abaixo exemplifica a diferença de um sistema antes de depois da revisão de 2015 da ABNBT NBR 5419, onde o desenho da esquerda está apresentando um sistema não convencional, e o desenho da direita apresenta um sistema que atende aos requisitos da última revisão na norma.

Figura 4 - Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas antes e depois da revisão de 2015



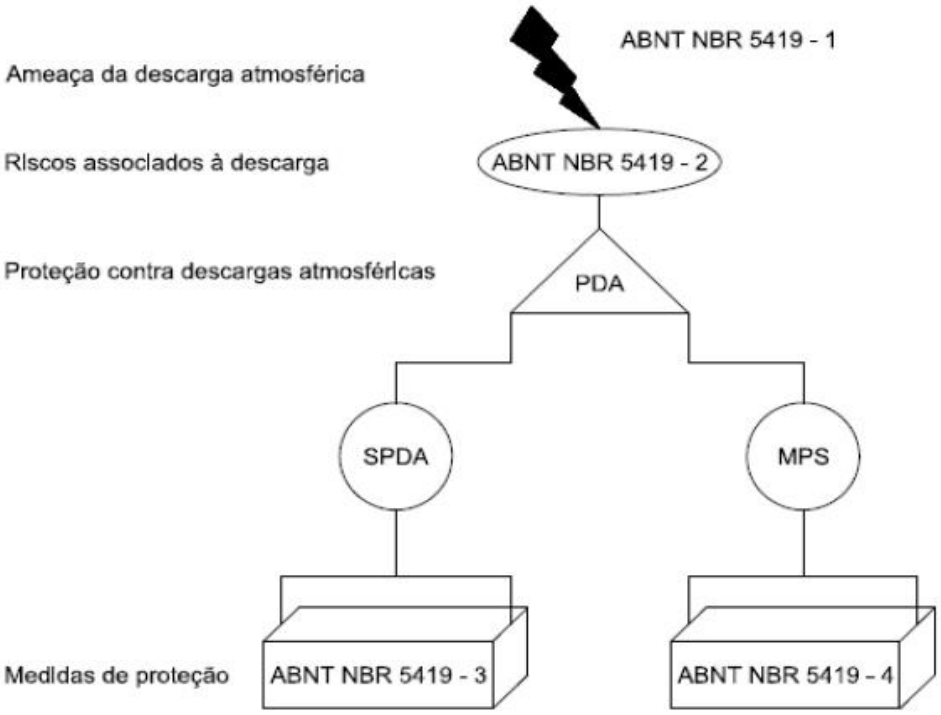
Fonte: Adaptado de Barbosa, 2017.

A primeira parte da nova norma aborda os requisitos básicos para a elaboração de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Ela também é responsável por realizar a conexão das demais partes, apresentando e explicando a importância de cada componente e item que compõe o sistema completo de proteção.

A segunda parte da norma apresenta os detalhes técnicos sobre a elaboração do gerenciamento de risco, que é um estudo responsável por verificar a necessidade de implementação de um sistema de proteção, ou avaliação de um sistema existente. As partes 3 e 4 trazem detalhes técnicos quanto a medidas de proteção, onde a parte 3 faz referência às edificações que necessitam de proteção, visando reduzir os danos

físicos e os perigos a vida por meio de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). A parte 4 aborda a utilização de medidas para redução dos riscos de dano nos sistemas eletrônicos das estruturas, através de medidas de proteção contra surtos (MPS). A figura abaixo apresenta a nova organização da ABNT NBR 5419:2015.

Figura 5 - Estrutura da ABNT NBR 5419:2015




Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419:2015

### 2.2.2. Danos ocasionados por descargas atmosféricas

Quando uma estrutura é atingida por uma descarga atmosférica, ela pode sofrer danos em sua estrutura, danos às pessoas que se encontram em seu interior, e danos às estruturas próximas. Estes danos também podem ocorrer caso uma descarga ocorra próximo a estrutura, ou ainda em linhas elétricas e tubulações metálicas que penetram na estrutura (ABNT NBR 5419-1, 2015).

Tais danos ocorrem em função da elevada amplitude da corrente elétrica presente na descarga atmosférica. A tabela 1 a seguir expressa as situações que devem ser consideradas em função do local do ponto de impacto da descarga atmosférica alusivo a estrutura atingida (ABNT NBR 5419-1, 2015):

Tabela 1 - Fontes de dano

| Símbolo | Descrição |
|---|---|
| S1 | Descargas atmosféricas na estrutura |
| S2 | Descargas atmosféricas próximas à estrutura |
| S3 | Descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura |
| S4 | Descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura |

Fonte: do autor, adaptado de ABNT NBR 5419, 2015

As descargas atmosféricas podem causar diversos tipos de danos, como por exemplo danos mecânicos, fogo e explosão, falha ou mau funcionamento de sistemas internos, e danos às pessoas por choque elétrico. De forma geral, as descargas podem ocasionar três tipos básicos de danos (ABNT NBR 5419-1, 2015):

Tabela 2 - Tipos de dano

| Símbolo | Descrição |
|---|---|
| D1 | Danos às pessoas devido a choque elétrico |
| D2 | Danos físicos devido aos efeitos das correntes das descargas atmosféricas, inclusive centelhamento |
| D3 | Falhas de sistemas internos devido a LEMP |

Fonte: do autor, adaptado de ABNT NBR 5419, 2015

Cada dano pode, de forma individual ou em conjunto com outros, de forma consequente ocasionar diferentes tipos de perdas. Cada tipo de perda possui sua singularidade conforme as características da estrutura ou de seu conteúdo. Para a NBR 5419-1 (2015), as perdas são classificadas das seguintes formas:

Tabela 3 - Tipos de perdas

| Símbolo | Descrição |
|---|---|
| L1 | Perda de vida humana |
| L2 | Perda de serviço ao público |
| L3 | Perda de patrimônio cultural |
| L4 | Perda de valor econômico |

Fonte: do autor, adaptado de ABNT NBR 5419, 2015

Ressaltando que perdas de vida humana, de serviço ao público e de patrimônio cultural são consideradas perdas de valor social, enquanto a as demais são consideradas perda puramente econômicas.

### 2.2.3. Necessidade e vantagem econômica da proteção contra descargas atmosféricas

Para avaliar a necessidade de implementação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, é realizada uma avaliação de risco seguindo os procedimentos presentes na segunda parte da ABNT NBR 5419. Levando em consideração as perdas citadas anteriormente, deve-se considerar em correspondência os seguintes tipos de perdas:

Tabela 4 - Tipos de riscos

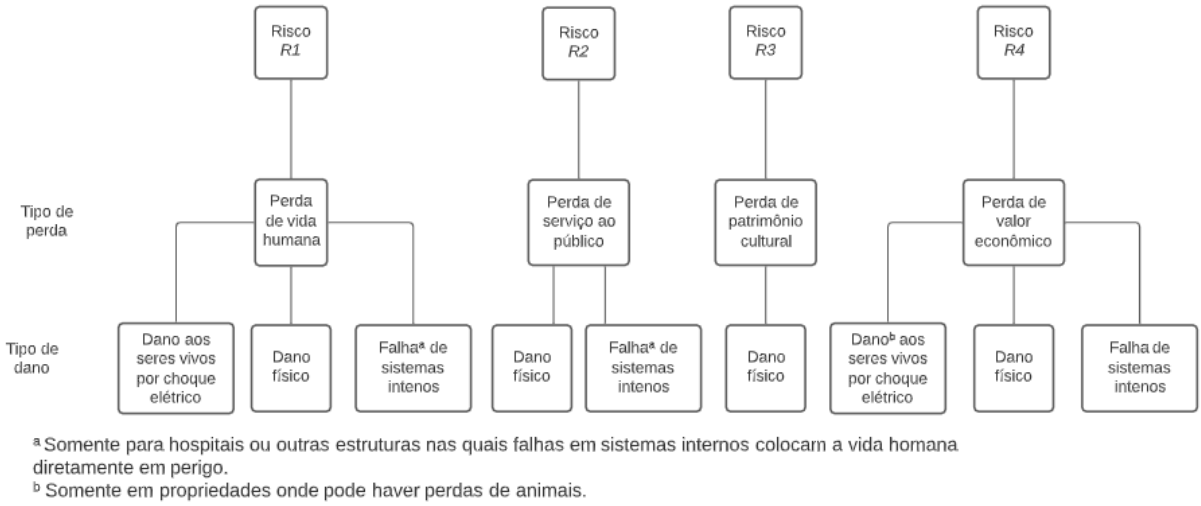
| Símbolo | Descrição |
|---|---|
| R1 | Risco de perdas ou danos permanentes em vidas humanas |
| R2 | Risco de perdas de serviços ao público |
| R3 | Risco de perdas do patrimônio cultural |
| R4 | Risco de perdas de valor econômico |

Fonte: do autor, adaptado de ABNT NBR 5419, 2015

Conforme a norma ABNT NBR 5419-1(2015) descreve, o sistema de proteção contra descargas atmosféricas é necessário sempre que o risco R (R1 a R3) for maior que o risco tolerado (RT). Assim, medidas devem ser aplicadas para reduzir o risco R a um nível admissível.

As perdas de valor econômico devem ser avaliadas sempre que a vantagem econômica da proteção for considerada. Dessa forma, é possível avaliar o custo da perda com e sem a implementação das medidas de proteção. A proteção é conveniente se a soma de custos das perdas residuais for menor que a perda total sem nenhuma medida de proteção. A figura a seguir apresenta uma relação entre os tipos de riscos, tipos de perdas e danos resultantes.

Figura 6 - Relação de riscos, perdas e danos




[a] Somente para hospitais ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo.
[b] Somente em propriedades onde pode haver perdas de animais.

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419:2015

### 2.2.4. Medidas de proteção

As medidas de proteção são adotadas para reduzir o risco em função do tipo de dano. Para reduzir o dano D1 (ferimento em pessoas por meio de choque elétrico), é possível isolar de forma adequada as partes condutoras que estão expostas, realizar e equipotencialização através de um sistema de aterramento distribuído no formato de malha, realizar restrições físicas e por meio de avisos, realizar a ligação equipotencial para as descargas atmosféricas.

A proteção contra o dano D2 (danos físicos) é atingida por meio do emprego de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). O SPDA é caracterizado por possuir um subsistema de captação, um subsistema de descidas, um subsistema de aterramento, equipotencialização para descargas atmosféricas (EB) e isolação elétrica.

Para a redução do dano D3 (falha de sistemas eletrônicos) é necessário aplicar medidas de proteção contra surtos (MPS). Essas medidas contemplam aterramento e equipotencialização, blindagem magnética, roteamento de fiação, utilização de interfaces isolantes, e um sistema de DPS coordenado.

### 2.2.5. Critérios básicos para proteção de estruturas

Seguindo as premissas da norma ABNT NBR 5419-1 (2015), a proteção ideal de uma estrutura deve contemplar seu envolvimento completo por meio de uma blindagem continua condutora, que deve estar aterrada e possuir espessura adequada. Ainda, deve possuir ligações equipotenciais adequadas com as linhas elétricas e estruturas metálicas que adentram na estrutura.

Tais medidas inibem a penetração de corrente elétrica proveniente de descargas atmosféricas e campos magnéticos na estrutura, e evitam a efeitos térmicos e eletrodinâmicos perigosos da corrente elétrica, como por exemplo centelhamento e sobretensões prejudiciais aos sistemas internos.

Apesar das recomendações, a aplicação destas medidas visando a proteção total se torna inviável em situações práticas. Tanto a falta de continuidade na blindagem, quanto sua espessura inadequada permitem que haja penetração de corrente elétrica das descargas atmosféricas, que podem ocasionar danos físicos, risco a vida, e falha de sistemas internos.

Para reduzir os danos e perdas relevantes, devem ser tomadas medidas de proteção. Essas medidas devem ser projetadas para um conjunto determinado de parâmetros das correntes de descargas, seguindo o nível de proteção contra descargas atmosféricas.

A norma ABNT NBR 5419:2015 considera quatro níveis de proteção (NP) contra descargas atmosféricas, numerados de I a IV. Cada NP possui um conjunto de parâmetros máximos e mínimos das correntes das descargas atmosféricas, e uma probabilidade aceitável de ocorrência onde os valores possam ser ultrapassados. Estes parâmetros são utilizados para o dimensionamento dos componentes de proteção contra descargas atmosféricas, como por exemplo a seção transversal dos condutores, capacidade de condução de corrente dos DPS, distanciamento seguro contra centelhamentos, e também para simulação dos efeitos das descargas em tais componentes.

De forma resumida, o NP I é capaz de suportar descargas atmosféricas de 3 a 200 kA, com probabilidade desses valores serem excedidos em 1% dos casos. Desse modo, o NP I é o nível mais alto de proteção, e caso a amplitude das descargas atmosféricas exceda seus limites, será necessário implementar medidas de proteção

adicionais, que se mostrem mais eficientes, escolhidas e implementadas para cada caso distinto. A tabela 5 abaixo apresenta a relação de cada NP com seus parâmetros.

Tabela 5 - Níveis de proteção (NP)

| Nível de proteção | Corrente de pico da descarga atmosférica (kA) | Corrente de interceptação (kA) | Probabilidade de exceder valor máximo de corrente | Probabilidade de exceder valor mínimo de corrente |
|---|---|---|---|---|
| I | 200 | 3 | 1% | 1% |
| II | 150 | 5 | 2% | 3% |
| III | 100 | 10 | 5% | 9% |
| IV | 100 | 16 | 5% | 16% |

Fonte: do autor, adaptado de ABNT NBR 5419-1, 2015.

## 2.3. Métodos para elaboração de um SPDA

Para reduzir as perdas ocasionadas por descargas atmosféricas, é possível adotar medidas de proteção. É papel do gerenciamento de risco verificar a necessidade do sistema de proteção contra descargas atmosféricas, e em quais medidas deva ser empregado (ABNT NBR 5419-2, 2015).

### 2.3.1. Gerenciamento de risco

Esta parte da ABNT NBR 5419 possui o intuito de fornecer um procedimento para a avaliação dos riscos em uma estrutura devido a descargas atmosféricas. Após a escolha dos limites toleráveis de risco, o gerenciamento de risco permite a escolha das medidas de proteção mais apropriadas para implementação, a fim de reduzir o risco até seu limite tolerável.

Conforme já mencionado anteriormente, o risco *R* é um valor relativo de risco associado a cada tipo de perda. Cada risco *R* é a soma de seus componentes de risco. Durante o cálculo de R, seus componentes podem ser agrupados de acordo com as fontes de danos e seus respectivos tipos de dano, conforme expresso nas tabelas abaixo.

Tabela 6 - Componentes de risco relacionados a descargas atmosféricas na estrutura (S1)

| Símbolo | Descrição |
|---|---|
| $R_A$ | Risco relativo a ferimentos aos seres vivos causado por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora das zonas até 3 m ao redor dos condutores. Perdas L1, e L4 (caso a estrutura possua animais vivos em seu interior) |
| $R_B$ | Risco relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura, promovendo incêndios ou explosões. Perdas L1, L2, L3 e L4. |
| $R_C$ | Risco relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Podem ocorrer perdas L2 e L4 em conjunto com L1 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419:2015

Tabela 7 - Componentes de risco relacionados a descargas atmosféricas próximas a estrutura (S2)

| Símbolo | Descrição |
|---|---|
| $R_M$ | Risco relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Podem ocorrer perdas L2 e L4 em conjunto com L1. |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419:2015

Tabela 8 - Componentes de risco relacionados a descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas da estrutura (S3)

| Símbolo | Descrição |
|---|---|
| $R_U$ | Risco relativo a ferimentos aos seres vivos causado por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura. Perdas L1, e L4 (em propriedades agrícolas) |
| $R_V$ | Risco relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura, promovendo incêndios ou explosões, causados pela corrente da descarga atmosférica transmitida ao longo das linhas. Perdas L1, L2, L3 e L4. |
| $R_W$ | Risco relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas. Podem ocorrer perdas L2 e L4 em conjunto com L1 |

Fonte: do autor, adaptado de ABNT NBR 5419:2015

Tabela 9 - Componentes de risco relacionados a descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas da estrutura (S4)

| Símbolo | Descrição |
|---|---|
| $R_Z$ | Risco relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas. Podem ocorrer perdas L2 e L4 em conjunto com L1 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419:2015

Cada tipo de perda possui uma composição diferente de riscos, em função de suas características, originando uma função de soma dos riscos associados. Na tabela a seguir está expresso a composição dos componentes de riscos que gera a equação de cada um.

Tabela 10 - Componentes de riscos

| Símbolo | Descrição | Equação |
|---|---|---|
| R1 | Risco de perder a vida humana | $R1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^{1} + R_{M1}^{1} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^{1} + R_{Z1}^{1}$ |
| R2 | Risco de perdas de serviço ao público | $R2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + RZ2$ |
| R3 | Risco de perdas de patrimônio cultura | $R3 = R_{B3} + R_{V3}$ |
| R4 | Risco de perdas de valor econômico | $R4 = R_{A4}^{2} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^{2} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4}$ |

Fonte: do autor, adaptado de ABNT NBR 5419:2015

Onde:

- [1] Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa pôr em perigo a vida humana.
- [2] Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

A relação entre os riscos considerados em cada tipo de perda nas estruturas pode ser visualizada na Tabela 11.

Tabela 11 - Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura

| Fontes de dano | Descarga atmosférica na estrutura S1 | | | Descarga atmosférica na estrutura S2 | Descarga atmosférica na estrutura S3 | | | Descarga atmosférica na estrutura S4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Componentes de risco | $R_A$ | $R_B$ | $R_C$ | $R_M$ | $R_U$ | $R_V$ | $R_W$ | $R_Z$ |
| Risco para cada tipo de perda | | | | | | | | |
| R1 | * | * | *a | *a | * | * | *a | *a |
| R2 | | * | * | * | | * | * | * |
| R3 | | * | * | | | * | | |
| R4 | *b | * | | * | *b | * | * | * |

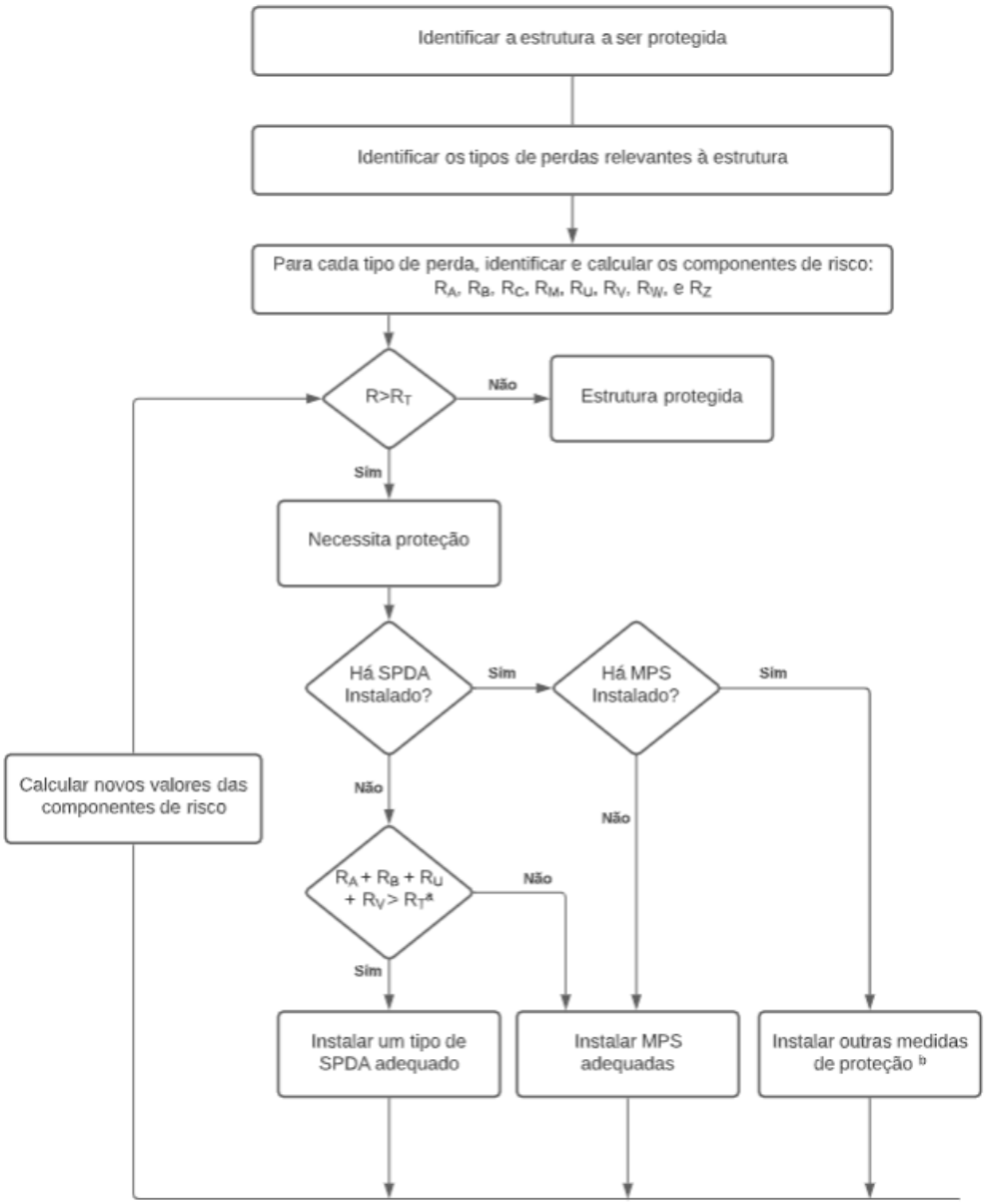
a - Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa colocar em perigo a vida humana
b - Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419:2015

### 2.3.1.1.Procedimento específico para avaliar a necessidade de proteção

De acordo com a ABNT NBR 5419-2 (2015), o procedimento para a realização de um gerenciamento de risco deve seguir uma determinada ordem, conforme disposto no fluxograma da imagem abaixo.

Figura 7 - Fluxograma de realização do gerenciamento de risco




Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-2, 2015.

Para analisar a estrutura a ser protegida, deve-se levar em consideração (além da própria estrutura) as instalações da estrutura, o seu conteúdo, as pessoas que estão em seu interior ou até 3 metros para fora da estrutura, e o meio ambiente afetado por danos na estrutura.

Cada tipo de perda possui um valor de risco tolerável (RT) que pode ser comparado com o valor de risco R encontrado através da soma de seus componentes de risco. Os procedimentos da figura anterior são repetidos até que o risco R seja menor que o RT.

Tabela 12 - Risco tolerável (RT) para cada tipo de perda

| | **Tipo de perda** | **RT($y^{-1}$)** |
|---|---|---|
| L1 | Perda de vida humana ou ferimentos permanentes | $10^{-5}$ |
| L2 | Perda de serviço ao público | $10^{-3}$ |
| L3 | Perda de patrimônio cultural | $10^{-4}$ |
| L4 | Perda de valor econômico | $10^{-3}$ |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

### 2.3.1.2.Cálculo dos componentes de risco

De acordo com a NBR 5419-2 (2015), é possível expressar cada componente de risco por meio da seguinte equação:

$$R_X = N_X * P_X * L_X \quad (1)$$

Onde:

$N_X$ = número de eventos perigosos por ano

$P_X$ = probabilidade de dano à estrutura

$L_X$ = perda consequente

Para a variável $N_X$, o termo $X$ é encontrado através de suas variações em função do tipo de risco relacionado, como é possível visualizar na tabela abaixo.

Tabela 13 - Relação de eventos perigosos e riscos relacionados

| **Símbolo** | **Descrição** |
|---|---|
| $N_D$ | Descarga atmosférica que atinge diretamente a estrutura |
| $N_M$ | Descarga atmosférica que atinge próximo à estrutura |
| $N_L$ | Descarga atmosférica que atinge a linha conectada à estrutura |
| $N_I$ | Descarga atmosférica que atinge próximo à linha conectada à estrutura |
| $N_{DJ}$ | Descarga atmosférica que atinge diretamente a estrutura adjacente (desprezada em alguns casos) |

Fonte: do autor, adaptado de ABNT NBR 5419-1, 2015.

Para realizar a avaliação dos riscos ocasionados por descargas atmosféricas diretamente na estrutura (S1), é possível aplicar as seguintes equações:

$$R_A = N_A * P_A * L_A \quad (2)$$

$$R_B = N_B * P_B * L_B \quad (3)$$

$$R_C = N_C * P_C * L_C \quad (4)$$

Onde $R_A$ é relacionado a ferimentos em seres vivos através de choques elétricos (D1), $R_B$ é relacionado a danos físicos (D2), e $R_C$ é relacionado às falhas dos sistemas internos (D3).

Para realizar a avaliação dos componentes de risco ocasionados por descargas atmosféricas próximas a estrutura (S2), é aplicada a seguinte equação abaixo, onde RM é o componente relacionado à falha dos sistemas interno (D3).

$$R_M = N_M * P_M * L_M \quad (5)$$

Para realizar a análise dos componentes de riscos ocasionados por descargas atmosféricas na linha elétrica da estrutura, são utilizadas as equações:

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) * P_U * L_U \quad (6)$$

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) * P_V * L_V \quad (7)$$

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) * P_W * L_W \quad (8)$$

Onde $R_U$ é relacionada aos ferimentos aos seres vivos por choque elétrico (D1), $R_V$ é relacionado aos danos físicos (D2), e $R_W$ é relacionado às falhas dos sistemas internos (D3).

A análise dos componentes de risco ocasionados por descargas atmosféricas próximos a linha conectada a estrutura é obtida por meio do componente $R_Z$, que está relacionada a falha dos sistemas internos (D3), conforme a equação abaixo:

$$R_Z = N_I * P_Z * L_Z \quad (9)$$

### 2.3.1.3.Análise do número de eventos perigosos (N)

De acordo com a NBR 5419-2 (2015), o número médio anual (N) de eventos perigosos ocasionados por descargas atmosféricas que influenciam a estrutura a ser protegida, pode ser obtido por meio da seguinte equação:

$$N_Y = N_G * A_Y \quad (10)$$

Onde:

$N_G$ = densidade de descargas atmosféricas para a terra

A = área de exposição equivalente da estrutura, considerando os fatores de correção para as características físicas da estrutura.

O termo $_Y$ é uma variável em função do local de exposição, e apresenta as seguintes possibilidades:

Tabela 14 – Variação da variável $_Y$ em função do local de exposição

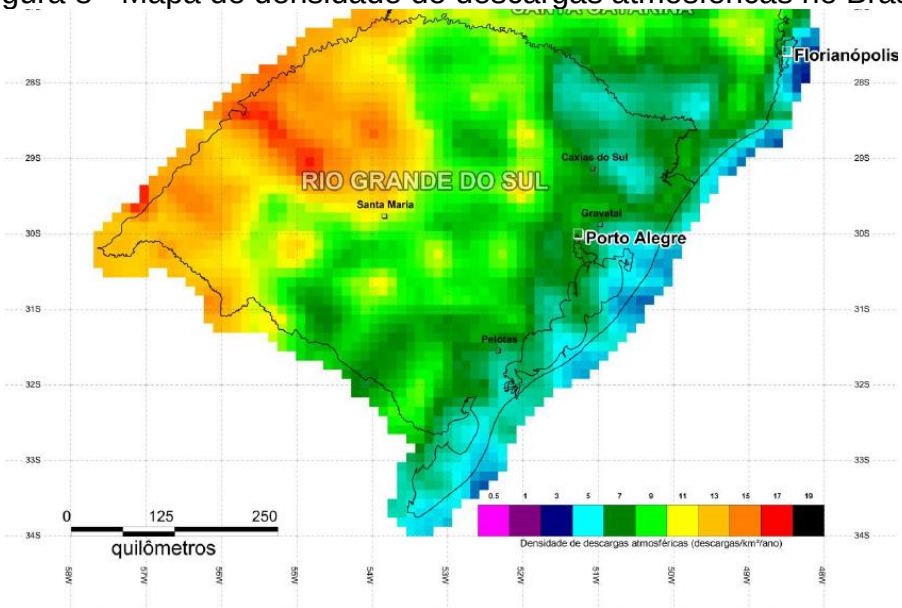
| Símbolo | Descrição |
|---|---|
| D | Área da estrutura |
| M | Área próxima a estrutura |
| L | Área da linha conectada a estrutura |
| I | Área próxima da linha conectada a estrutura |
| DJ | Área da estrutura adjacente (podendo desprezar determinados casos) |

Fonte: do autor, adaptado de ABNT NBR 5419-1, 2015.

A variável $N_G$ representa a quantidade de descargas atmosféricas por k² por ano no local da instalação. Este valor é disponível nas redes de localização de descargas atmosféricas para a terra em diversas áreas no mundo. No Brasil, o órgão que disponibiliza essas informações é o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), através do Grupo de Eletricidade Atmosférica.

No ano de publicação da norma, o mapa contendo os valores de $N_G$ para o país poderia ser encontrado de duas formas, através de mapas impressos e por meio de um endereço eletrônico atrelado ao site do INPE, porém, atualmente só é possível obter esse mapa através do modo impresso no Anexo F da NBR 5419-2:2015. A figura a seguir ilustra o mapa de densidade $N_G$ no estado do Rio Grande do Sul.

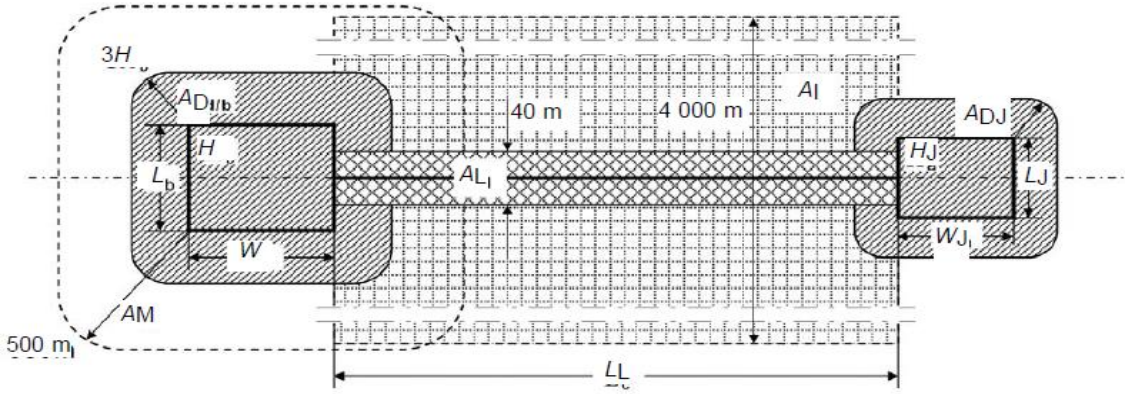
Figura 8 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas no Brasil




Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-2, 2015.

A norma faz menção as áreas de exposição equivalente da estrutura diante de uma descarga atmosférica. A figura abaixo exemplifica as regiões das áreas de exposição equivalente da estrutura a ser analisada, onde a região esquerda da imagem faz referência a estrutura a ser protegida, a região central à linha conectada a ela, e na região direita está a estrutura adjacente de onde provém a linha.

Figura 9 - Áreas de exposição equivalente



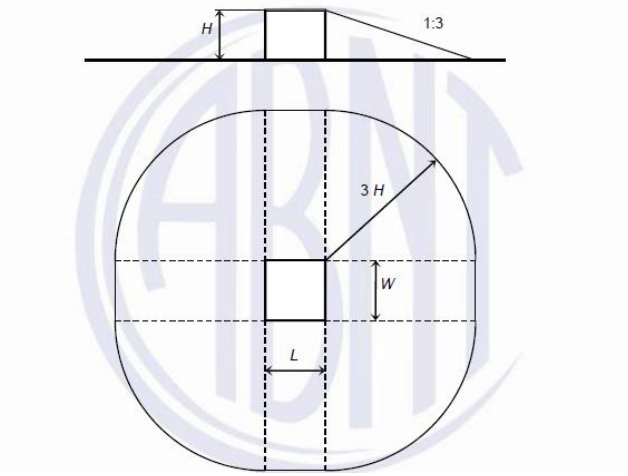

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-2, 2015.

Para realizar a análise do número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na estrutura ($N_D$), é preciso antecipadamente calcular a área de exposição equivalente ($A_D$) para estruturas de forma retangular, e calcular a área de exposição equivalente ($A_{D'}$), para estruturas que possuem formato complexo. Dessa forma, para as estruturas retangulares utiliza-se a seguinte equação:

$$A_D = L * W + 2 * (3 * H) * (L + W) + \pi * (3 + H)^2 \quad (11)$$

Onde L (comprimento), H (altura) e W (largura) são expressos em metros. A figura a seguir ilustra estas medidas.

Figura 10 - Cálculo de área para edificações quadradas



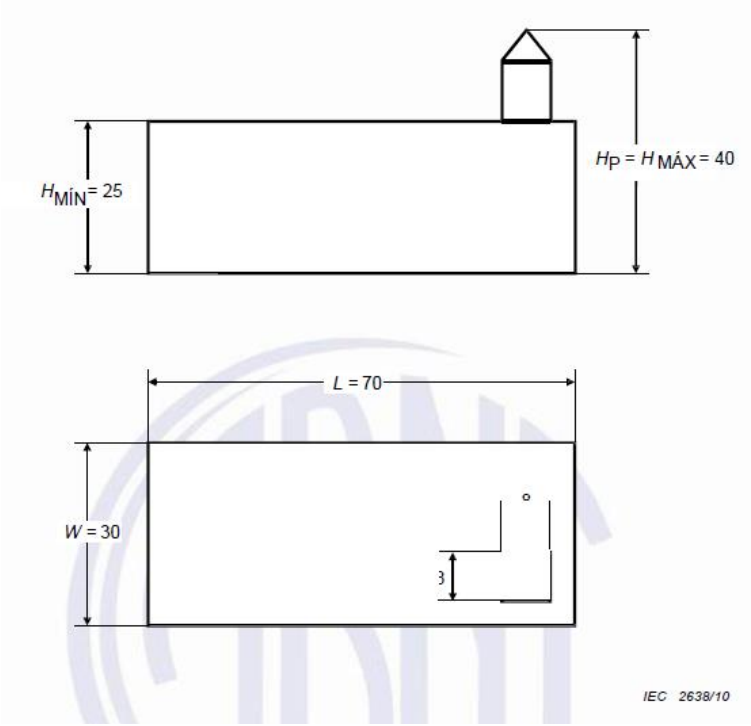

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-2, 2015.

Para o cálculo das estruturas com formato complexo, utiliza-se a equação a seguir.

$$A_D, = \pi * (3 * H_P)^2 \quad (12)$$

Onde $H_P$ é a altura da saliência da edificação, exemplificada na figura abaixo.

Figura 11 - Cálculo de área para estruturas com formato complexo




Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-1, 2015.

Outro fator a ser considerado é o fator de localização ($C_D$), que é diretamente influenciado pelas estruturas próximas à edificação. A relação dos valores de $C_D$ pode ser observada na tabela a seguir.

Tabela 15 - Fator de localização da estrutura ($C_D$)

| **Localização relativa** | **$C_D$** |
|---|---|
| Estrutura cercada por objetos mais altos | 0,25 |
| Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos | 0,5 |
| Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças | 1 |
| Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte | 2 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

Com os valores de $C_D$ e $A_D$ devidamente especificados, é possível então calcular o número de eventos perigosos $N_D$ para a estrutura, através de:

$$N_D = N_G * A_D * C_D * 10^{-6} \quad (13)$$

Onde:

$N_G$ = densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km$^2$ × ano)

$A_D$ = área de exposição equivalente da estrutura, expressa em metro quadrado (m$^2$) (equação 11 ou 12)

$C_D$ = fator de localização da estrutura (ver Tabela 13).

Para calcular o número médio anual de eventos perigosos ocasionados por descargas atmosféricas diretas em estruturas adjacentes ($N_{DJ}$), ou seja, conectadas na extremidade de uma linha, utiliza-se a seguinte equação:

$$N_{DJ} = N_G * A_{DJ} * C_{DJ} * C_T * 10^{-6} \quad (14)$$

Onde:

$N_G$ = densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km$^2$ × ano);

$A_{DJ}$ = área de exposição equivalente da estrutura adjacente, expressa em metro quadrado (m$^2$);

$C_{DJ}$ = fator de localização da estrutura adjacente;

$C_T$ = fator tipo de linha.

Quando a estrutura adjacente possuir um formato retangular, é utilizado o termo $A_{DJ}$, e quando possuir formato complexa é utilizado o termo $A_{DJ'}$. Para realizar o cálculo destes 02 termos, pode-se utilizar as mesmas equações das variáveis $A_D$ e $A_D$', já descritas anteriormente nas equações 11 e 12. O fator de localização $C_{DJ}$ pode ser obtido por meio da Tabela 15. e o fator de linha $C_T$ pode ser definido por meio da tabela a seguir.

Tabela 16 - Fator de linha ($C_T$)

| **Instalação** | **$C_T$** |
|---|---|
| Linha de energia ou sinal | 1 |
| Linha de energia em AT (com transformador AT/BT) | 0,2 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

Para realizar a avaliação do número médio anual de eventos perigosos ocasionados por descargas atmosféricas próximas às estruturas ($N_M$), é necessário implementar a equação abaixo:

$$N_M = N_G * A_M * 10^{-6} \quad (15)$$

Onde:

$N_G$ = a densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km$^2$ × ano);

$A_M$ = área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura, expressa em metro quadrado (m$^2$).

A área de exposição equivalente $A_M$ se estende a uma linha localizada a uma distância de 500 m do perímetro da estrutura, obtida por meio de:

$$A_M = 2 * 500 * (L + W) + \pi * 500^2 \quad (16)$$

O cálculo de avaliação do número de eventos perigosos ocasionados por descargas atmosféricas diretamente sobre as linhas ($N_L$). Como a linha pode ser constituída por diversas seções, os eventos podem ser avaliados por:

$$N_L = N_G * A_L * C_I * C_E * C_T * 10^{-6} \quad (17)$$

Onde:

$N_L$ = número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;

$N_G$ = densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km$^2$ × ano);

$A_L$ = área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, expressa em metro quadrado (m$^2$);

$C_I$ = fator de instalação da linha;

$C_T$ = fator tipo de linha;

$C_E$ = fator ambiental;

Utiliza-se a seguinte área de exposição equivalente para a linha:

$$A_L = 40 * L_L \quad (18)$$

Onde $L_L$ é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m). Caso o comprimento da seção da linha não é conhecido, assume-se o valor de $L_L$ igual a 1000 m. Para encontrar os valores de $C_I$ e $C_E$, utiliza-se as seguintes tabelas a seguir.

Tabela 17 - Fator de instalação da linha $C_I$

| **Roteamento** | **$C_I$** |
|---|---|
| Aéreo | 1 |
| Enterrado | 0,5 |
| Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento | 0,01 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

Tabela 18 - Fator ambiental da linha $C_E$

| **Ambiente** | **$C_E$** |
|---|---|
| Rural | 1 |
| Suburbano | 0,5 |
| Urbano | 0,1 |
| Urbano com edifícios mais altos que 20 m | 0,01 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

É possível realizar a avaliação do número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da linha ($N_I$) por meio de:

$$N_I = N_G * A_I * C_I * C_E * C_T * 10^{-6} \quad (19)$$

Onde:

$N_I$ = número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;

$N_G$ = densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km$^2$ × ano);

$A_I$ = área de exposição equivalente de descargas atmosféricas para a terra perto da linha, expressa em metro quadrado (m$^2$);

$C_I$ = fator de instalação;

$C_T$ = fator tipo da linha;

$C_E$ = fator ambiental.

Para encontrar a área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto da linha, realizamos o seguinte cálculo:

$$A_I = 400 * L_L \quad (20)$$

Onde $L_L$ é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m). Caso não se conheça o comprimento total de $L_L$, adota-se o valor de 1000 m.

### 2.3.1.4.Cálculo da probabilidade de danos ($P_X$)

A norma NBR5419-2:2015 determina que o valor da probabilidade de ocorrerem choques a seres vivos ($P_A$) devido à tensão de toque e passo, ocasionados por descargas atmosféricas em uma estrutura, possui variação em função das medidas de proteções implementadas e do SPDA instalado. O valor de $P_A$ pode ser encontrado por meio de:

$$P_A = P_{TA} * P_B \quad (21)$$

Onde:

$P_{TA}$ = valor pertinente as medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo, como as listadas na Tabela 19.

$P_B$ = valor pertinente ao nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o SPDA de acordo com o ABNT NBR 5419-3 foi projetado.

As tabelas abaixo apresentam os valores possíveis para $P_{TA}$ e $P_B$.

Tabela 19 - Valores de probabilidade $P_{TA}$ de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas

| **Medida de proteção adicional** | **$P_{TA}$** |
|---|---|
| Nenhuma medida de proteção | 1 |
| Avisos de alerta | $10^{-1}$ |
| Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de descidas) | $10^{-2}$ |
| Equipotencialização efetiva do solo | $10^{-2}$ |
| Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida | 0 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

Tabela 20 - Valores de probabilidade $P_B$ dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos (contínua)

| **Características da estrutura** | **Classe do SPDA** | **$P_B$** |
|---|---|---|
| Estrutura não protegida por SPDA | - | 1 |
| Estrutura protegida por SPDA | IV | 0,2 |
| | III | 0,1 |
| | II | 0,05 |
| | I | 0,02 |

Tabela 20 - Valores de probabilidade $P_B$ dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos (conclusão)

| Características da estrutura | Classe do SPDA | $P_B$ |
|---|---|---|
| Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural | | 0,01 |
| Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas natural | | 0,001 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

Para encontrar a probabilidade $P_C$ de ocorrência de descargas atmosféricas em uma estrutura, e causar falha em seus sistemas internos, utiliza-se a equação a seguir. A NBR 5419-2 (2015) afirma que a utilização de DPS coordenados é um meio eficiente de proteção para a redução do índice $P_C$.

$$P_C = P_{SPD} * C_{LD} \quad (22)$$

Onde:

$P_{SPD}$ = variável que depende do sistema coordenado de DPS conforme a ABNT NBR 5419-4 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados (ver Tabela 21).

$C_{LD}$ = fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha a qual o sistema interno está conectado (ver Tabela 22).

É possível obter os valores de $P_{SPD}$ e $C_{LD}$ por meio das tabelas abaixo.

Tabela 21 - Valores de probabilidade de $P_{SPD}$ em função do NP para o qual os DPS foram projetados

| NP | PSPD |
|---|---|
| Nenhum sistema de DPS coordenado | 1 |
| III-IV | 0,05 |
| II | 0,02 |
| I | 0,01 |
| Para DPS que tenha características de proteção melhores que NPI nos locais relevantes de instalação | 0,005 - 0,001 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

Tabela 22 - Valores dos fatores $C_{LD}$ e $C_{LI}$ dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

| Tipo de linha externa | Conexão na entrada | $C_{LD}$ | $C_{LI}$ |
|---|---|---|---|
| Linha aérea não blindada | Indefinida | 1 | 1 |
| Linha enterrada não blindada | Indefinida | 1 | 1 |
| Linha de energia com neutro multiaterrado | Nenhuma | 1 | 0,2 |
| Linha enterrada blindada (energia ou sinal) | Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento | 1 | 0,3 |
| Linha aérea blindada (energia ou sinal) | Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento | 1 | 0,1 |
| Linha enterrada blindada (energia ou sinal) | Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento | 1 | 0 |
| Linha aérea blindada (energia ou sinal) | Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento | 1 | 0 |
| Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos para cabo protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos | Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento | 0 | 0 |
| (Nenhuma linha externa) | Sem conexões com linhas externas (sistemas independentes) | 0 | 0 |
| Qualquer tipo | Interfaces isolantes de acordo com a ABNT NBR 5419-4 | 0 | 0 |

Para avaliar a probabilidade de uma descarga atmosférica ocorrer próxima a uma estrutura e causar falha em seus sistemas internos ($P_M$), é empregada a seguinte equação:

$$P_M = P_{SPD} * P_{MS} \quad (23)$$

O valor de $P_M$ é dependente das medidas de proteção contra surtos instaladas, e quando não for instalado um sistema de DPS coordenados o valor de $P_M$ deve ser igual a $P_{MS}$. Caso sejam instalados equipamentos que não suportem a tensão contida nas normas específicas do produto, adota-se $P_M = 1$. O termo $P_{MS}$ é obtido por meio de:

$$P_{MS} = (K_{S1} * K_{S2} * K_{S3} * K_{S4})^2 \quad (24)$$

Onde:

$K_{S1}$ = fator que leva em consideração a eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface $Z_{PR}$ 0/1;

$K_{S2}$ = fator que leva em consideração a eficiência da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface $Z_{PR}$ X/Y (X > 0, Y > 1);

$K_{S3}$ = fator que leva em consideração as características da fiação interna (ver Tabela 23);

$K_{S4}$ = fator que leva em consideração a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido.

Tabela 23 - Valor do fator $K_{S3}$ dependendo da fiação interna

| Tipo de fiação interna | $K_{S3}$ |
|---|---|
| Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços [a] | 1 |
| Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços [b] | 0,2 |
| Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar laços [c] | 0,01 |
| Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos [d] | 0,0001 |

[a] Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m2).
[b] Condutores em laço roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10 m2).
[c] Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5 m2).
[d] Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

Já o fator $K_{S4}$ é avaliado por:

$$K_{S4} = {}^{1}/_{U_W} \tag{25}$$

Onde $U_W$ é tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido, expressa em quilovolts (kV). Para avaliar a probabilidade de uma descarga atmosférica ocasionar ferimentos em seres vivos por meio de choque elétrico ($P_U$), é aplicada a seguinte equação:

$$P_U = P_{TU} * P_{EB} * P_{LD} * C_{LD} \tag{26}$$

Onde:

$P_{TU}$ = fator que depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta. (ver Tabela 24);

$P_{EB}$ = fator que depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme a ABNT NBR 5419-3:2015 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o DPS foi projetado (ver Tabela 25);

$P_{LD}$ = probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica na linha conectada dependendo das características da linha (ver Tabela 26);

$C_{LD}$ = fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições da isolação da linha (ver Tabela 22).

Tabela 24 - Valores da probabilidade $P_{TU}$ de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas

| **Medida de proteção** | **$P_{TU}$** |
|---|---|
| Nenhuma medida de proteção | 1 |
| Avisos visíveis de alerta | $10^{-1}$ |
| Isolação elétrica | $10^{-2}$ |
| Restrições físicas | 0 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

Tabela 25 - Valor da probabilidade $P_{EB}$ em função do NP para o qual os DPS foram projetados

| **NP** | **$P_{EB}$** |
|---|---|
| Sem DPS | 1 |
| III-IV | 0,05 |
| II | 0,02 |
| I | 0,01 |
| Para DPS que tenha características de proteção melhores que NPI nos locais relevantes de instalação | 0,005 - 0,001 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

Tabela 26 - Valores da probabilidade $P_{LD}$ dependendo da resistência RS da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso $U_W$ do equipamento

| **Tipo da linha** | **Condições do roteamento, blindagem e interligação** | | **Tensão suportável $U_W$ (kV)** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **1** | **1,5** | **2,5** | **4** | **6** |
| Linhas de energia ou sinal | Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento | $5\Omega/km < RS \leq 20\ \Omega/km$ | 1 | 1 | 0,95 | 0,9 | 0,8 |
| | | $1\Omega/km < RS \leq 5\ \Omega/km$ | 0,9 | 0,8 | 0,6 | 0,3 | 0,1 |
| | | $RS \leq 1\ \Omega/km$ | 0,6 | 0,4 | 0,2 | 0,04 | 0,02 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

Para realizar a avaliação da probabilidade de uma descarga atmosférica ocorrer em uma linha e causar danos físicos (PV), é adotada a equação:

$$P_V = P_{EB} * P_{LD} * C_{LD} \quad (27)$$

Onde:

$P_{EB}$ = fator que depende da ligação equipotencial para descarga atmosférica (EB) conforme a ABNT NBR 5419-3 e o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados (ver Tabela 25);

$P_{LD}$ = probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica em uma linha conectada dependendo das características da linha. (ver Tabela 26);

$C_{LD}$ = fator que depende da blindagem, aterramento e condições de isolação da linha (ver Tabela 22).

Para calcular a probabilidade de uma descarga atmosférica ocorrer em uma linha e causar falha em seus sistemas internos ($P_W$), verifica-se:

$$P_W = P_{SPD} * P_{LD} * C_{LD} \quad (28)$$

Onde:

$P_{SPD}$ = fator que depende do sistema coordenado de DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 e o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados (ver tabela 21);

$P_{LD}$ = probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica em uma linha conectada dependendo das características da linha (ver Tabela 26);

$C_{LD}$ = fator que depende das condições da blindagem, do aterramento e da isolação da linha (ver tabela 22).

Para calcular a probabilidade de uma descarga atmosférica ocorrer próxima a uma linha que entre em uma determinada estrutura e cause falha em seus sistemas internos ($P_Z$), é utilizado a seguinte equação:

$$P_Z = P_{SPD} * P_{LI} * C_{LI} \quad (29)$$

Onde:

$P_{SPD}$ = fator que depende do sistema coordenado de DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados (ver Tabela 21);

$P_{LI}$ = probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica perto de uma linha conectada dependendo das características da linha e dos equipamentos (ver Tabela 27);

$C_{LI}$ = fator que depende das condições da blindagem, do aterramento e da isolação da linha (ver Tabela 22).

Tabela 27 - Valores da probabilidade $P_{LI}$ dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso UW dos equipamentos

| **Tipo da linha** | **Tensão suportável UW em kV** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | **1,5** | **2,5** | **4** | **6** |
| Linhas de energia | 1 | 0,6 | 0,3 | 0,16 | 0,1 |
| Linhas de sinais | 1 | 0,5 | 0,2 | 0,08 | 0,04 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

### 2.3.1.5.Cálculo de quantidade de perda ($L_X$)

O valor de perda $L_X$ compreende a quantidade relativa média de um determinado dano para um evento perigoso, ocasionado através de uma descarga atmosférica, levando em consideração sua extensão e seus efeitos (ABNT NBR 5419-2, 2015). O valor de perda $L_X$ possui quatro variações: L1, L2, L3 e L4.

O valor L1 é referente a perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes), e leva em consideração a quantidade de pessoas em perigo. Os valores para suas quantidades de perdas podem ser obtidos por meio das seguintes equações:

$$L_A = r_t * L_T * n_z/n_t * t_z/8760 \quad (30)$$

$$L_U = r_t * L_T * n_z/n_t * t_z/8760 \quad (31)$$

$$L_B = L_V = r_p * r_f * h_z * L_F * n_z/n_t * t_z/8760 \quad (32)$$

$$L_c = L_M = L_W = L_Z = L_O * n_z/n_t * t_z/8760 \quad (33)$$

Onde:

$L_T$ = número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso (ver Tabela 28);

$L_F$ = número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela 28);

$L_O$ = número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (ver Tabela 28);

$r_t$ = fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso (ver Tabela 29);

$r_p$ = fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio (ver Tabela 30);

$r_f$ = fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura (ver Tabela 31);

$h_z$ = fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente (ver Tabela 32);

$n_z$ = número de pessoas na zona;

$n_t$ = número total de pessoas na estrutura;

$t_z$ = tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano.

Tabela 28 - Tipo de perda L1: Valores médios típicos de $L_T$, $L_F$ e $L_O$

| **Tipos de danos** | **Valor de perda típico** | | **Tipo da estrutura** |
|---|---|---|---|
| D1<br>ferimentos | $L_T$ | $10^{-2}$ | Todos os tipos |
| D2<br>danos físicos | $L_F$ | $10^{-1}$ | Risco de explosão |
| | | $10^{-1}$ | Hospital, hotel, escola, edifício cívico |
| | | $5x10^{-2}$ | Entretenimento público, igreja, museu |
| | | $2x10^{-2}$ | Industrial, comercial |
| | | $10^{-2}$ | Outros |
| D3<br>falhas de<br>sistemas internos | $L_O$ | $10^{-1}$ | Risco de explosão |
| | | $10^{-2}$ | Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital |
| | | $10^{-3}$ | Outras partes de hospital |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

Tabela 29 - Fator de redução $r_t$ em função do tipo da superfície do solo ou piso

| **Tipo de superfície** [b] | **Resistência de contato k Ω**[a] | **$r_t$** |
|---|---|---|
| Agricultura, concreto | $\leq 1$ | $10^{-2}$ |
| Mármore, cerâmica | 1 – 10 | $10^{-3}$ |
| Cascalho, tapete, carpete | 10 – 100 | $10^{-4}$ |
| Asfalto, linóleo, madeira | $\geq 100$ | $10^{-5}$ |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

Onde:

[a] = Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm2 comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.

[b] = Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável

Tabela 30 - Fator de redução $r_p$ em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio

| **Providências** | **$r_p$** |
|---|---|
| Nenhuma providência | 1 |
| Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape | 0,5 |
| Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático [a] | 0,2 |
| [a] Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min. | |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

Tabela 31 - Fator de redução $r_f$ em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura

| **Risco** | **Quantidade de risco** | **$r_f$** |
|---|---|---|
| Explosão | Zonas 0, 20 e explosivos sólidos | 1 |
| | Zonas 1, 21 | $10^{-1}$ |
| | Zonas 2, 22 | $10^{-3}$ |
| Incêndio | Alto | $10^{-1}$ |
| | Normal | $10^{-2}$ |
| | Baixo | $10^{-3}$ |
| Explosão ou incêndio | Nenhum | 0 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

Tabela 32 - Fator $h_z$ aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial

| **Tipo de perigo especial** | **$h_z$** |
|---|---|
| Sem perigo especial | 1 |
| Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100) | 2 |
| Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1000 pessoas) | 5 |
| Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais) | 5 |
| Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes maior que 1000 pessoas) | 10 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

A perda L2 se refere à perda de serviço ao público, considerando que é afetada pelos atributos da zona da estrutura. Seu valor máximo pode ser reduzido pela associação entre números de usuários servidos pela zona, e o número total de usuários servidos pela estrutura inteira. Os valores de L2 podem ser determinados por meio das seguintes equações:

$$L_B = L_V = r_p * r_f * L_F * n_z/n_t \quad (34)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O * n_z/n_t \quad (35)$$

Onde:

$L_F$ = número relativo médio típico de usuários não servidos, resultante do dano físico (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela 33);

$L_O$ = número relativo médio típico de usuários não servidos, resultante da falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (ver Tabela 33);

$r_p$ = fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências de incêndio (ver Tabela 30);

$r_f$ = fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio (ver Tabela 31);

$n_z$ = número de usuários servidos pela zona;

$n_t$ = número total de usuários servidos pela estrutura.

Tabela 33 - Tipo de perda L2: valores médios típicos de $L_F$ e $L_O$

| Tipo de dano | Valor da perda típica | | Tipo de serviço |
|---|---|---|---|
| D2<br>danos físicos | $L_F$ | $10^{-1}$ | Gás, água, fornecimento de energia |
| | | $10^{-2}$ | TV, linhas de sinais |
| D3<br>falhas de sistemas internos | $L_O$ | $10^{-2}$ | Gás, água, fornecimento de energia |
| | | $10^{-3}$ | TV, linhas de sinais |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

A perda de patrimônio cultura L3 é afetada pelas características da zona, que consideram os fatores de redução $r_f$ e $r_p$. É possível obter os valores de L3 por meio de:

$$L_B = L_V = r_p * r_f * L_F * c_z/c_t \quad (36)$$

Onde:

$L_F$ = valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela 34);

$r_p$ = fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências de incêndio (ver Tabela 30);

$r_f$ = fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio (ver Tabela 31);

$c_z$ = valor do patrimônio cultural na zona;

$c_t$ = valor total da edificação e conteúdo da estrutura (soma de todas as zonas).

Tabela 34 - Tipo de perda L3: valor médio típico de $L_F$

| Tipo de dano | Valor típico de perda | | Tipo de estrutura ou zona |
|---|---|---|---|
| D2<br>danos físicos | $L_F$ | $10^{-1}$ | Museus, galerias |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

Já o valor L4 é referente às perdas econômicas, e pode ser obtido por meio de:

$$L_A = r_t * L_T * c_a/c_t \quad (37)$$

$$L_U = r_t * L_T * c_a/c_t \quad (38)$$

$$L_b = L_V = r_p * r_f * L_F * (c_a + c_b + c_c + c_s)/c_t \quad (39)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O * c_s/c_t \quad (40)$$

Onde:

$L_T$ = valor relativo médio típico de todos valores danificados por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso (ver Tabela 35);

$L_F$ = valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela 35);

$L_O$ = valor relativo médio típico de todos os valores danificados pela falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (ver Tabela 35);

$r_t$ = fator de redução da perda de animais dependendo do tipo do solo ou piso (ver Tabela 29);

$r_p$ = fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências de incêndio (ver Tabela 30);

$r_f$ = fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão na estrutura (ver Tabela 31);

$c_a$ = valor dos animais na zona;

$c_b$ = valor da edificação relevante à zona;

$c_c$ = valor do conteúdo da zona;

$c_s$ = valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona;

$c_t$ = valor total da estrutura (soma de todas as zonas para animais, edificação, conteúdo e sistemas internos incluindo suas atividades).

Tabela 35 - Tipo de perda L4: valores médios típicos de $L_T$, $L_F$ e $L_O$

| Tipo de danos | Valor de perda típico | | Tipo de estrutura |
|---|---|---|---|
| D1 Ferimento devido a choque | $L_T$ | $10^{-2}$ | Todos os tipos onde somente animais estão presentes |
| D2 Danos físicos | $L_F$ | 1 | Risco de explosão |
| | | 0,5 | Hospital, industrial, museu, agricultura |
| | | 0,2 | Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento público, comercial |
| | | $10^{-1}$ | Outros |
| D3 Falha de sistemas internos | $L_O$ | $10^{-1}$ | Risco de explosão |
| | | $10^{-2}$ | Hospital, industrial, escritório, hotel, comercial |
| | | $10^{-3}$ | Museu, agricultura, escola, igreja, entretenimento público |
| | | $10^{-4}$ | Outros |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419, 2015.

### 2.3.2. Projeto executivo

De acordo com a ABNT NBR 5419-3, as características construtivas de um SPDA estão atreladas ao respectivo nível de proteção estipulado no gerenciamento de risco. Um SPDA consiste em duas partes, sendo uma delas o sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas, e a outra parte é o sistema interno de proteção contra descargas atmosféricas.

A parte externa é responsável por interceptar uma descarga atmosférica para a estrutura por meio de seu subsistema de captação, e conduzir a corrente seguramente até a terra por meio do subsistema de descidas, e por fim, dispensar essa corrente na própria terra através do subsistema de aterramento.

A função do SPDA interno é prevenir o centelhamento inseguro na estrutura, através da ligação equipotencial ou distância segura entre os componentes do SPDA e outros elementos condutores internos.

Nessa perspectiva, são definidas quatro classes de SPDA, onde cada uma possui um conjunto de regras de construção com base nos NPs (como por exemplo largura da malha e raio da esfera rolante), e regras independentes do nível de

proteção (como por exemplo a seção transversal dos cabos). A tabela a seguir apresenta a relação entre os NPs e as respectivas classes.

Tabela 36 - Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA

| Nível de proteção | Classe do SPDA |
|---|---|
| I | I |
| II | II |
| III | III |
| IV | IV |

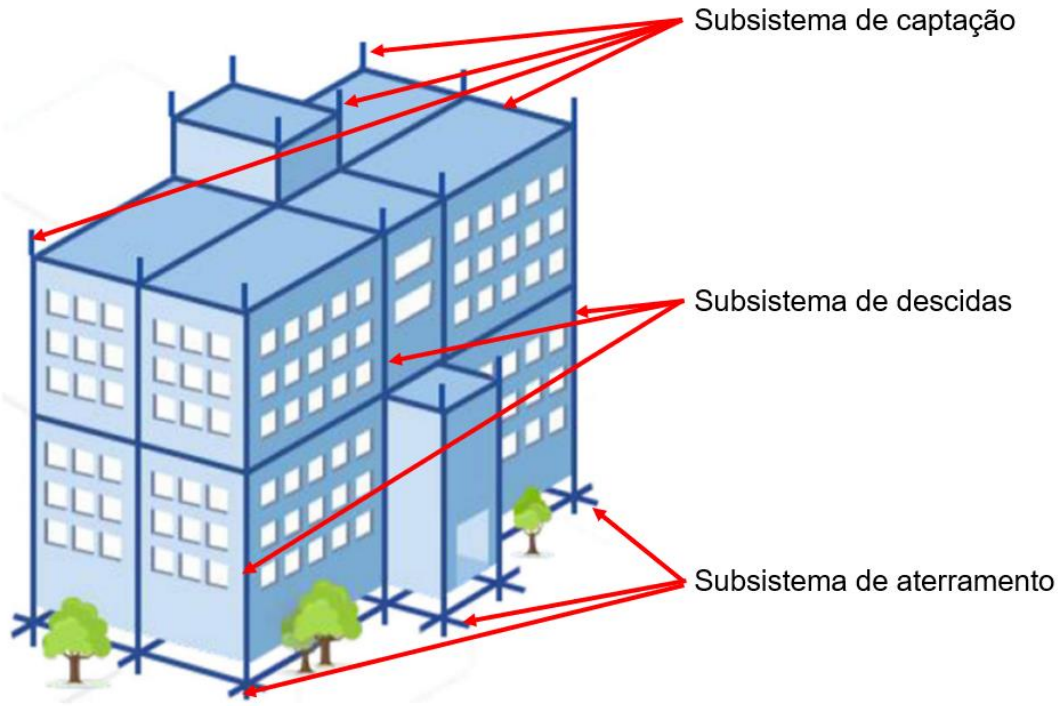
### 2.3.2.1. Elaboração de um SPDA externo

Para a elaboração do projeto de SPDA é permitido verificar a existência de partes metálicas da própria estrutura para compor o sistema, formando assim componentes naturais para condução e dispersão das descargas atmosféricas. Um exemplo é o SPDA estrutural, que utiliza a armadura de aço eletricamente contínua dentro da estrutura de concreto armado, ou ainda, os pilares e telhas metálicas, quando os mesmos apresentam continuidade elétrica. Para ambos os casos, é preciso realizar o procedimento de medição de continuidade elétrica para validação dos componentes naturais como itens do SPDA efeitos (ABNT NBR 5419-3, 2015).

Entretanto, quando houver efeitos térmicos e efeitos de explosão no ponto de impacto da descarga, ou nos condutores percorridos pela corrente elétrica que puderem causar danos a estrutura, é necessário a utilização de um SPDA externo.

Pode-se dividir o SPDA externo em três subsistemas: subsistema de captação, subsistema de descidas e subsistema de aterramento. O primeiro é responsável por captar as descargas atmosféricas que atingem a estrutura, enquanto o segundo possui a função de guiar a corrente elétrica da descarga até o solo, onde o terceiro subsistema é incumbido de dissipar tal energia junto ao solo. A figura abaixo ilustra a divisão do SPDA em seus três subsistemas.

Figura 12 - Subsistemas do SPDA



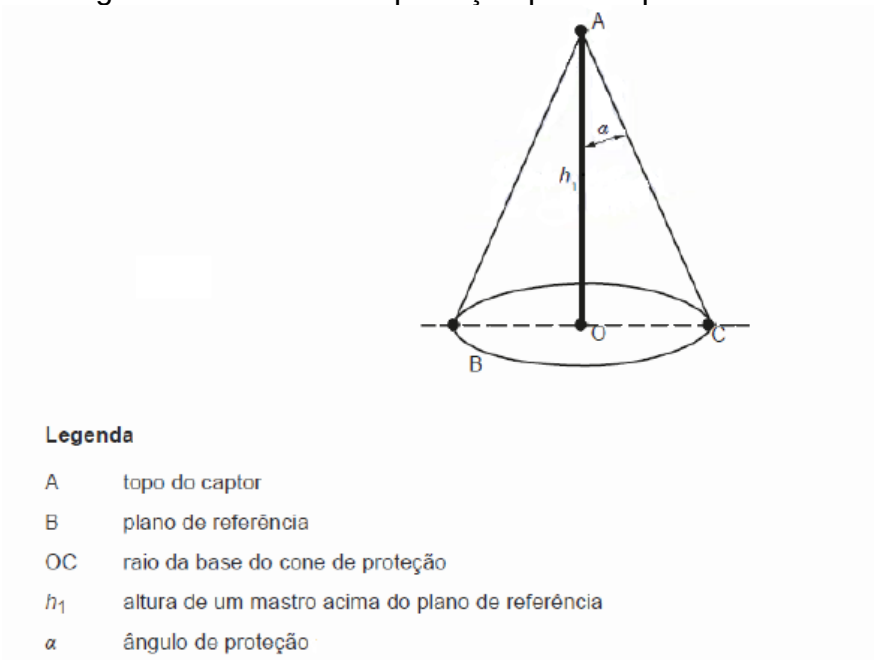

Fonte: Adaptado de Barbosa, 2017.

#### 2.3.2.1.1. Subsistema de captação

De acordo com a ABNT NBR 5419-3:2015, o subsistema de captação é composto por hastes (englobando mastros), e condutores suspensos e condutores dispostos em malhas. A norma ainda afirma que o nível de proteção de uma estrutura é definido pelo correto posicionamento dos elementos do subsistema de captação. Existem três diferentes métodos para compor o subsistema de captação: método do ângulo de proteção, método da esfera rolante e método de malhas.

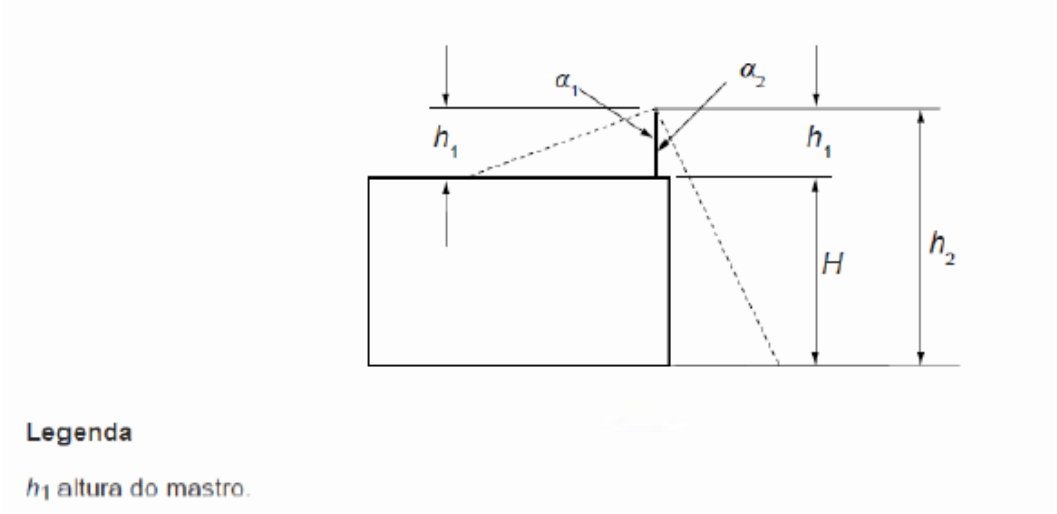
O método de ângulo de proteção é conveniente para edificações com formato de construção simples, porém é limitado quanto ao limite de altura dos captores. O local de instalação do subsistema de captação é considerado adequado quando a estrutura a ser protegida estiver totalmente localizada dentro do volume de proteção gerado pelo sistema. Para tal volume é considerado apenas as dimensões físicas dos elementos metálicos do subsistema de captação. As figuras abaixo ilustram o volume de proteção gerado por um mastro no subsistema de captação.

Figura 13 - Volume de proteção provido por mastro




Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

Figura 14 - Volume de proteção provido por um mastro para duas alturas diferentes

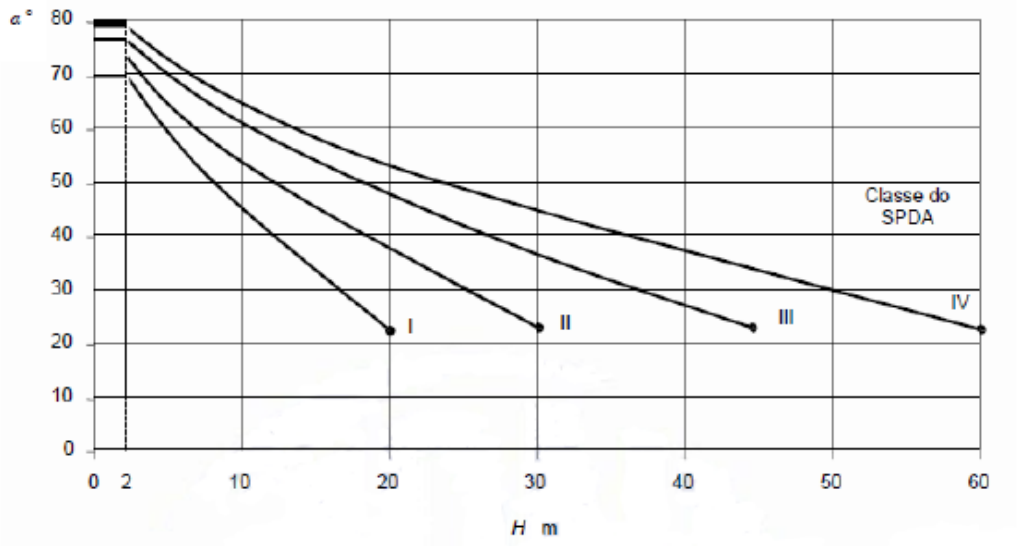



Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

Os ângulos de proteção $\alpha_1$ e $\alpha_2$ correspondem a suas respectivas alturas de proteção, sendo que o primeiro equivale a altura $h_1$ (diferença entre o mastro e a altura da edificação, enquanto o segundo corresponde a altura máxima do mastro em relação ao solo, considerando sua próprio altura mais a altura da edificação ($h_2 = h_1 + H$). A relação do ângulo α em função da altura pode ser consultado conforme a classe do SPDA, disposto na figura abaixo. A norma ainda ressalta que para valores de H

acima dos valores finais em cada uma das curvas, são aplicáveis somente os métodos da esfera rolante e de malhas.

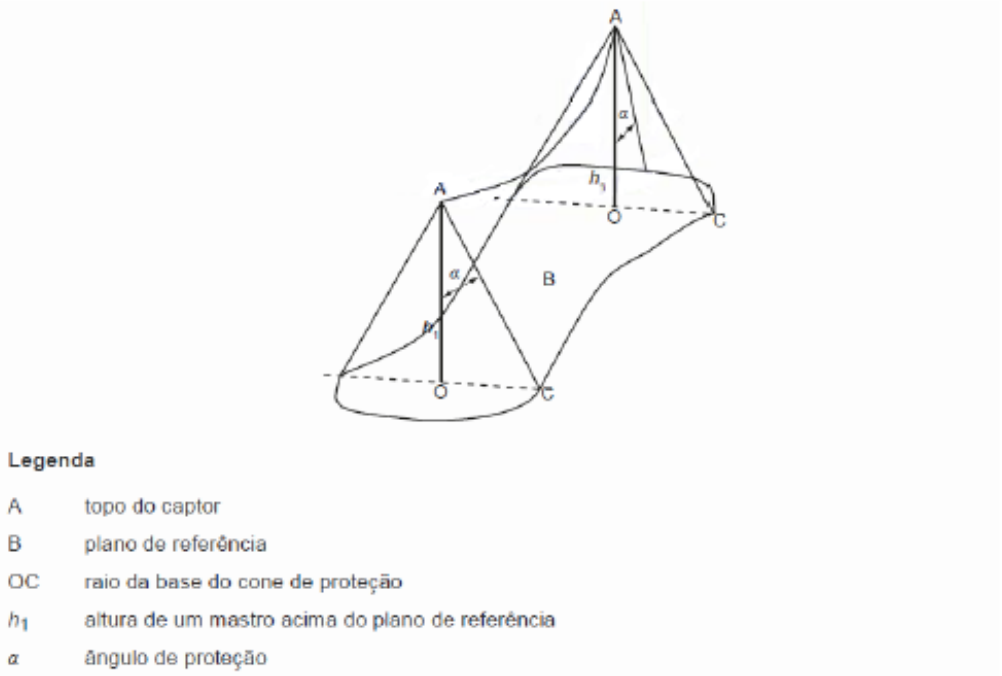
Figura 15 - Ângulo de proteção correspondente a classe do SPDA




Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

Onde H é a altura do captor acima do plano de referência a ser protegida. Quando a estrutura necessitar da instalação de dois ou mais mastros conectados por um condutor suspenso, é considerado o volume de proteção conforme figura a seguir.

Figura 16 - Volume de proteção provido por condutor suspenso




Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

Para estrutura com elevada altura ou com formas de construção arquitetônica com maior nível de complexidade, é indicado o método de esfera rolante para o subsistema de captação. Este método contempla a simulação do contato de uma esfera fictícia que rola pela estrutura em todas as direções possíveis. Se a esfera não tocar em nenhum ponto da estrutura, considera-se que tal estrutura esteja protegida (ABNT NBR 5419-3, 2015).

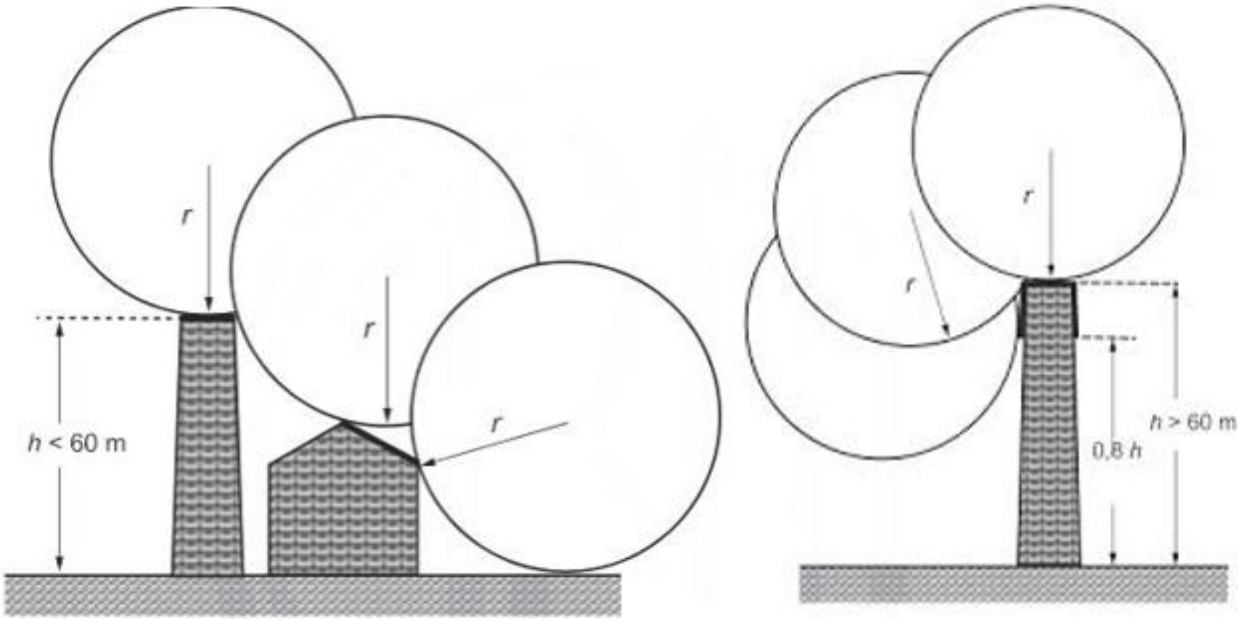
A dimensão do raio *r* da esfera pode aumentar ou diminuir, pois está relacionado conforme cada classe do SPDA (disposto na Tabela 37 a seguir), sendo permitido que a esfera toque somente o componente do subsistema de captação. Em seguida, a figura 14 exemplifica o método das esferas rolantes.

Tabela 37 - Relação do raio da esfera rolante

| **Classe do SPDA** | **Raio da esfera rolante (*r*)** |
|---|---|
| I | 20 |
| II | 30 |
| III | 45 |
| IV | 60 |

Fonte: do autor, adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

Figura 17 - Projeção do método das esferas rolantes




Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

Para estruturas com altura inferior a 60 metros é desprezado o acontecimento de descargas atmosféricas atingirem a estrutura pelas laterais, entretanto, para estruturas com uma altura maior que 60 metros a probabilidade de descargas laterais deve ser considerada no subsistema de captação. Neste último caso, deve ser considerado um subsistema de captação nas laterais, comumente instalado a 20% do topo da altura da estrutura, e o método da esfera rolante se aplica somente ao posicionamento do subsistema de captação da região superior da estrutura.

Para estruturas com superfícies planas, o método das malhas é considerado uma boa opção para compor o subsistema de captação. Neste método devem ser considerados alguns requisitos, como possuir condutores captores instalados na periferia da cobertura da estrutura, nas saliências da cobertura, nas cumeeiras de telhados (quando o declive exceder um décimo de desnível por comprimento). O arranjo dos condutores em formato de malha deve seguir as dimensões da tabela abaixo, onde o afastamento é definido pela classe do SPDA (ABNT NBR 5419-3, 2015).

Tabela 38 - Afastamento máximo dos condutores de malha

| **Classe do SPDA** | **Afastamento máximo (m x m)** |
|---|---|
| I | 5 x 5 |
| II | 10 x 10 |
| III | 15 x 15 |
| IV | 20 x 20 |

Fonte: do autor, adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

Para esse método é necessário garantir que existam no mínimo dois caminhos distintos para interligar o subsistema de captação ao subsistema de aterramento, e, não deve haver componentes metálicos naturais a uma altura acima das malhas de condutores.

Para compor o subsistema de captação, é possível utilizar diversos materiais condutores, cada qual com suas características construtivas. A Tabela 39 abaixo exemplifica os materiais e as configurações permitidas com base na ABNT NBR 5419-3:2015.

Tabela 39 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas

| **Material** | **Configuração** | **Área da seção mínima (mm²)** | **Comentários [d]** |
|---|---|---|---|
| Cobre | Fita maciça | 35 | Espessura 1,75 mm |
| | Arredondado maciço [d] | 35 | Diâmetro 6 mm |
| | Encordoado | 35 | Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm |
| | Arredondado maciço [b] | 200 | Diâmetro 16 mm |
| Alumínio | Fita maciça | 70 | Espessura 3 mm |
| | Arredondado maciço | 70 | Diâmetro 9 mm |
| | Encordoado | 70 | Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm |
| | Arredondado maciço [b] | 200 | Diâmetro 16 mm |
| Aço cobreado IACS 30 % [e] | Arredondado maciço | 50 | Diâmetro 8 mm |
| | Encordoado | 50 | Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm |
| Alumínio cobreado IACS 64 % | Arredondado maciço | 50 | Diâmetro 8 mm |
| | Encordoado | 70 | Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,6 mm |
| Aço galvanizado a quente [a] | Fita maciça | 50 | Espessura 2,5 mm |
| | Arredondado maciço | 50 | Diâmetro 8 mm |
| | Encordoado | 50 | Diâmetro de cada fio da cordoalha 1,7 mm |
| | Arredondado maciço [b] | 200 | Diâmetro 16 mm |
| Aço inoxidável [c] | Fita maciça | 50 | Espessura 2 mm |
| | Arredondado maciço | 50 | Diâmetro 8 mm |
| | Encordoado | 70 | Diâmetro de cada fio da cordoalha 1,7 mm |
| | Arredondado maciço [b] | 200 | Diâmetro 16 mm |

[a] O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme ABNT NBR 6323.
[b] Aplicável somente a minicaptores. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo, força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.
[c] Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %.
[d] Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos, sendo admitida uma tolerância de 5%, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2%.
[e] A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (*International Annealed Copper Standard*).

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

Como dito anteriormente, o SPDA pode conter elementos naturais, e isto também se aplica ao subsistema de captação. Caso a estrutura possua chapas metálicas que compõem a cobertura, ou estruturas metálicas presentes na cobertura

(como tubulações metálicas e outros elementos fixos), é possível utiliza-los para compor a captação, desde que obedeçam a tabela abaixo quanto ao tipo de material e sua espessura mínima.

Tabela 40 - Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas

| Classe do SPDA | Material | Espessura [a] *t* (mm) | Espessura [b] *t'* (mm) |
|---|---|---|---|
| I a IV | Chumbo | - | 2,0 |
| | Aço (inoxidável, galvanizado a quente) | 4 | 0,5 |
| | Titânio | 4 | 0,5 |
| | Cobre | 5 | 0,5 |
| | Alumínio | 7 | 0,65 |
| | Zinco | - | 0,7 |

[a] *t* previne perfuração, pontos quentes ou ignição.
[b] *t´* somente para chapas metálicas, se não for importante prevenir a perfuração, pontos quentes ou problemas com ignição.

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

#### 2.3.2.1.2. Subsistema de descidas

De acordo com a ABNT NBR 5419-3:2015, o subsistema de descidas é responsável por fornecer diversos caminhos paralelos à corrente elétrica, conduzindo a energia da descarga atmosférica até o sistema de aterramento. Deverá ser instalado de modo a proporcionar o menor comprimento possível deste caminho, e atua na equipotencialização das partes condutoras.

A norma ainda descreve que quanto maior a quantidade de condutores de descidas, maior a probabilidade de reduzir as descargas atmosféricas e centelhamentos perigosos na estrutura, facilitando a proteção das instalações internas. Os valores típicos para o distanciamento entre condutores de descida são relacionados a classe do SPDA, conforme tabela abaixo.

Tabela 41 - Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA

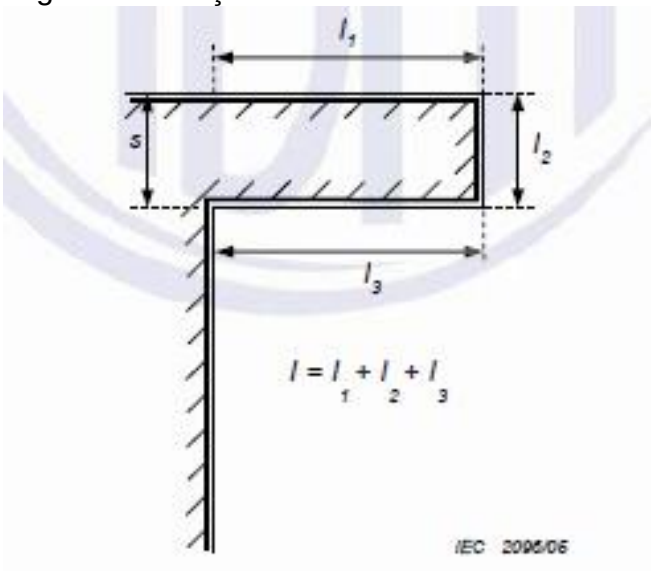
| Classe do SPDA | Distâncias (m) |
|---|---|
| I | 10 |
| II | 10 |
| III | 15 |
| IV | 20 |

NOTA É aceitável que o espaçamento dos condutores de descidas tenha no máximo 20 % além dos valores acima.

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

Preferencialmente, deve-se instalar um condutor de descida em cada canto saliente da estrutura, e os demais conforme distanciamento da tabela acima. Os condutores de descida devem fornecer uma continuação do subsistema de captação, portanto, devem ser instalados de forma paralela e vertical, fornecendo sempre o menor caminho. Sempre devem ser evitadas as formações de laços, porém, onde não for possível, deve-se adotar o afastamento *s* entre os pontos do condutor. A figura abaixo ilustra a formação de um laço.

Figura 18 - Laço em um condutor de descida




Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

O cálculo da distância de segurança s é dado pela seguinte equação abaixo.

$$s = \frac{k_i}{k_m} * k_c * I \quad (41)$$

Onde:

$k_i$ – Variável que depende do nível de proteção do SPDA;

$k_c$ – Variável que depende da corrente da descarga atmosférica pelos condutores de descida;

$k_m$ – Variável que depende do material isolante;

I – Comprimento expresso em metros (m), ao longo do subsistema de captação ou de descida

Os valores dos coeficientes podem ser obtidos por meio das Tabelas 42, 43, e 44 a seguir.

Tabela 42 - Isolação do SPDA externo – Valores do coeficiente ki

| **Nível de proteção do SPDA** | **$k_i$** |
|---|---|
| I | 0,08 |
| II | 0,06 |
| III e IV | 0,04 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

Tabela 43 - Isolação do SPDA externo – Valores aproximados do coeficiente kc

| **Número de descidas** *n* | **$K_c$** |
|---|---|
| 1 (somente para SPDA isolado) | 1 |
| 2 | 0,66 |
| 3 ou mais | 0,44 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

Tabela 44 - Isolação do SPDA externo – Valores do coeficiente km

| **Material** | **$K_m$** |
|---|---|
| Ar | 1 |
| Concreto, tijolo | 0,5 |
| NOTA 1 No caso de vários materiais isolantes estarem em serie, é uma boa prática usar o menor valor de km.<br>NOTA 2 A utilização de outros materiais isolantes está sob consideração. | |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

A norma recomenda que não sejam utilizadas calhas ou tubulações de águas pluviais para fixação dos condutores de descidas, somente quando não houver outra possibilidade. Quando necessário, o projetista do SPDA deverá ser criterioso e documentar as dificuldades e riscos existentes, além de indicar ações para minimizar os riscos.

Poderão ser utilizados componentes metálicos da estrutura como elementos naturais no subsistema de descidas, como por exemplo pilares metálicos ou estrutura metálicas, desde que atendam as dimensões da Tabela 39, e que seja comprovada a continuidade elétrica do mesmo.

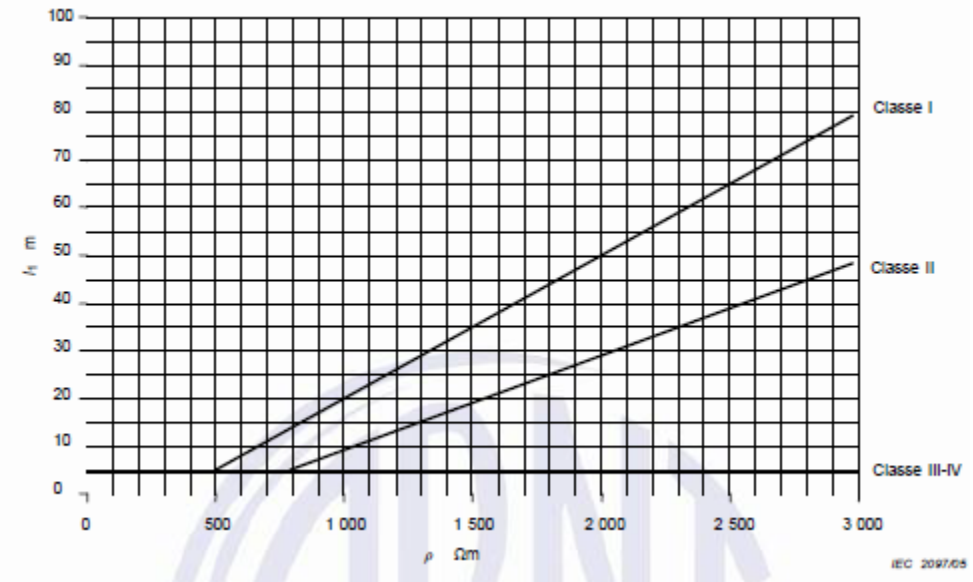
#### 2.3.2.1.3. Subsistema de aterramento

Para realizar a dissipação e dispersão da energia provinda de uma descarga atmosférica junto ao solo, é utilizado o subsistema de aterramento. Devido a sua extrema importância, é necessário estudar e aprimorar sua geometria e duas dimensões de modo a minimizar quaisquer sobretensões potencialmente perigosas. A norma ainda indica a utilização de um único sistema de aterramento compartilhado para todos os propósitos – SPDA, sistema de energia elétrica e sinais (telecomunicação, dados, etc.).

Quando não há a possibilidade de utilizar a armadura das fundações da estrutura, é preciso instalar um arranjo em formato de anel em torno da estrutura a ser protegida e em contato com o solo em pelo menos 80% de comprimento total. Outra possibilidade é utilizar um elemento condutor interligando as armaduras descontinuas da fundação. Em ambos os casos devem ser adotadas medidas de prevenção contra tensões superficiais perigosas, e, deve ser garantida a continuidade elétrica dos condutores (ABNT NBR 5419-3, 2015).

Para o caso onde for aplicado o eletrodo de aterramento em anel, o raio médio $r_e$ da área englobada pelos eletrodos não deve ser inferior ao valor $l_1$. A figura abaixo apresenta a relação de $l_1$ pela resistividade do solo.

Figura 19 - Comprimento mínimo $l_1$ do eletrodo de aterramento




Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

A instalação dos eletrodos de aterramento em formato de anel deve ser feita de modo que o mesmo fique enterrado no solo, a uma profundidade de 0,5 metros, e afastado aproximadamente 1 metro das paredes externas. Ainda é necessário manter pontos que permitam uma inspeção futura. Essa configuração auxilia a minimizar os efeitos de corrosão causados pelo ressecamento do solo, estabilizando a efetividade e qualidade do conjunto. A tabela abaixo apresenta os materiais e seções mínimas permitidas para o eletrodo de aterramento.

Tabela 45 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento

| **Material** | **Configuração** | **Dimensões mínimas [f]** | | **Comentários [f]** |
|---|---|---|---|---|
| | | **Eletrodo cravado (Diâmetro)** | **Eletrodo não cravado** | |
| Cobre | Encordoado [c] | - | 50 mm² | Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm |
| | Arredondado maciço [c] | - | 50 mm² | Diâmetro 8 mm |
| | Fita maciça [c] | - | 50 mm² | Espessura 2 mm |
| | Arredondado maciço | 15 mm | - | - |
| | Tubo | 20 mm | - | Espessura da parede 2 mm |
| Aço galvanizado a quente | Arredondado maciço [a, b] | 16 mm | Diâmetro 10 mm | - |
| | Tubo [a b] | 25 mm | - | Espessura da parede 2 mm |
| | Fita maciça a | - | 90 mm² | Espessura 3 mm |
| | Encordoado | - | 70 mm² | - |
| Aço cobreado | Arredondado Maciço [d] Encordoado [g] | 12,7 mm | 70 mm² | Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45 mm |
| Aço inoxidável [e] | Arredondado maciço Fita maciça | 15 mm | Diâmetro 10 mm 100 mm² | Espessura mínima 2 mm |

[a] O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme a ABNT NBR 6323.
[b] Aplicável somente a mini captores. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo: força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.
[c] Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %.
[d] Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos sendo admitida uma tolerância de 5%, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2%.
[e] Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo devem atender as prescrições desta tabela.
[f] A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (*International Annealed Copper Standard*).
[g] Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

Deve-se reduzir ao máximo possível o número de conexões dos condutores de aterramento, e as conexões devem ser executadas de forma seguro por meio de solda elétrica ou exotérmica, ou por conexões mecânicas de pressão ou compressão. Os condutores do subsistema de descidas não podem conter emendas, com exceção do ponto onde será inserido o conector de medição para ensaios (item obrigatório), instalado próximo ao solo com uma altura sugerida de 1,5 metros do piso, proporcionando fácil acesso (ABNT NBR 5419-3, 2015).

#### 2.3.2.2. Elaboração de um SPDA interno

De acordo com a ABNT NBR 5419-3(2015), o SPDA interno tem o intuito de reduzir os riscos relacionados a centelhamentos perigosos dentro da área protegida pelo SPDA externo, utilizando equipotencializações ou isolação elétrica entre os componentes do SPDA externo.

A equipotencialização é realizada por meio da interligação do SPDA junto as partes metálicas, aos sistemas internos, as partes condutivas externas e linhas elétricas conectadas a estrutura. Dentre os meios de interligação, existe o método direto (com condutores de ligação), indireta com dispositivos de proteção contra surtos (DPS), e indireta por meio de centelhadores. A norma ainda exige que o barramento de equipotencialização seja interligado com os demais barramentos de equipotencialização existentes na estrutura.

Na equipotencialização direta, a interligação das estruturas metálicas (localizadas no interior da estrutura) é realizada junto aos barramentos de equipotencialização, que são divididos em Barramento de Equipotencialização Principal (BEP) e Barramento de Equipotencialização Local (BEL). As dimensões mínimas dos condutores que interligam estes barramentos podem ser observadas nas tabelas abaixo:

Tabela 46 - Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL)

| Nível do SPDA | Material | Área da seção (mm²) |
|---|---|---|
| I a IV | Cobre | 6 |
| | Alumínio | 10 |
| | Aço galvanizado a fogo | 16 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

Tabela 47 - Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento

| Nível do SPDA | Modo de instalação | Material | Área da seção (mm²) |
|---|---|---|---|
| I a IV | Não enterrado | Cobre | 16 |
| | | Alumínio | 25 |
| | | Aço galvanizado a fogo | 50 |
| | Enterrado | Cobre | 50 |
| | | Alumínio | Não aplicável |
| | | Aço galvanizado a fogo | 80 |

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

Na equipotencialização indireta, é preciso que seja instalado um dispositivo chamado DPS (dispositivo de proteção contra surtos). Este equipamento é responsável pela proteção contra sobretensões transitórias, suprimindo as descargas indiretas na rede elétrica ocasionadas por descargas atmosféricas (CAVALIN, CERVELIN, 2006).

Os DPS são classificados em três classes diferentes, que se diferenciam em função do formato de onda da corrente da descarga atmosférica. Cada uma das classes possui a função de proteger um determinado local da edificação, e quando são instalados corretamente, é possível obter um Sistema DPS Coordenado.

O DPS classe I (formato de onda em 10/350μs), é ensaiado e projetado para realizar a equipotencialização no ponto de entrada da linha na estrutura. O DPS classe II (formato de onda em 8/20μs), tem como função a proteção local, sendo normalmente utilizado em quadros de distribuição situados em diversas partes da edificação a ser protegida. O DPS classe III (formato de onda 1,2/50μs) tem como função proteger diretamente os equipamentos eletrônicos sensíveis, sendo instalado no ponto de entrada de energia no equipamento (BARBOSA, 2017).

A ABNT NBR 5419-3 ainda expressa que todos os condutores de cada linha devem ser conectados ao sistema de DPS coordenado, fazendo a interligação aos BEPs ou BELs, conforme disposição física de proximidade.

## 2.4. Método para avaliação de um SPDA

A eficácia de um sistema de proteção contra descargas atmosférica não depende exclusivamente de um projeto bem dimensionado e uma instalação correta, mas também da manutenção e dos métodos de ensaio utilizados (ABNT NBR 5419-3, 2015).

Os procedimentos de avaliação e inspeção asseguram que o SPDA esteja em conformidade com o projeto executivo e com as especificações da norma, além de garantir que todos os componentes estejam em boas condições de uso e preservação, garantindo o bom funcionamento do sistema. Cita-se como boas condições a ausência de corrosão, por exemplo. A inspeção ainda garante que quando houver reformas ou construções que modifiquem o sistema de proteção, devam ser realizadas de forma que estejam em conformidade com as premissas da NBR 5419:2015.

### 2.4.1. Ordem das inspeções

De acordo com a ABNT NBR 5419-3 (2015), as inspeções devem ocorrer nos seguintes cenários:

- Durante a fase de construção da estrutura
- Após a instalação do SPDA, durante a emissão do documento *as built*
- Após alterações, reparos ou quando houver suspeita de ocorrência de uma descarga atmosférica na estrutura
- Inspeção visual com periodicidade semestral, indicando pontos deteriorados no sistema
- De forma periódica, sendo realizado por um profissional habilitado e capacitado a exercer tal atividade, com emissão de documento pertinente, em intervalos determinados (um ano para estruturas com risco de explosão e três anos para as demais estruturas)

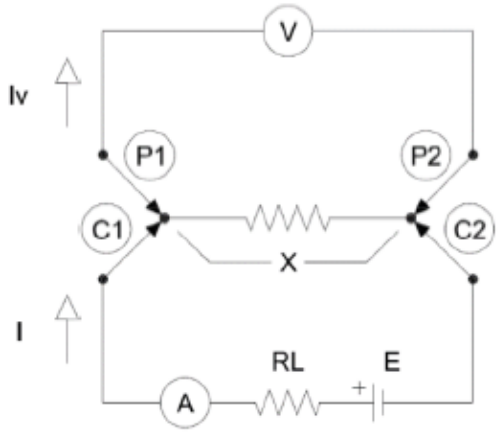
Durante o processo de inspeção, é importante verificar a deterioração e corrosão dos componentes metálicos (captores, condutores de descidas, conexões e eletrodos de aterramento) devido a exposição a intempéries, como chuva, sol, umidade, etc. Assim como é feita a inspeção no SPDA externo, no interno também

deve ser feito a inspeção, como verificação da integridade das conexões dos pontos de equipotencialização e integridade dos DPS.

Nos eletrodos de aterramento a inspeção se dá por meio de ensaios que assegurem sua funcionalidade, já que possuem a particularidade de estarem instalados abaixo do nível do solo. A integridade física dos eletrodos deve ser garantida por meio da medição de sua continuidade elétrica, apresentando valores de medição condizentes com os parâmetros de cada tipo de material, relacionando a resistividade do material com a distância do trecho a ser ensaiado (ABNT NBR 5419-3, 2015).

Para a medição de continuidade elétrica, é recomendável o emprego de instrumentos que possuam forma construtiva com esquema a quatro fios, sendo que dois injetam corrente no sistema e os outros dois realizam a medição da diferença de potencial. Dessa forma, o instrumento deve injetar uma corrente de 1 a 10 A em corrente contínua ou alternada, utilizando uma frequência diferente de 60 Hz e seus múltiplos, nos pontos extremos do trecho a ser ensaiado. Tal instrumento deve ser capaz de medir a queda de tensão entre os pontos, onde a resistência ôhmica resultante é calculada em função da tensão “V” medida e da corrente injetada. Esse processo de medição é conhecido como método da Ponte de Kelvin, e pode ser visualizado na figura abaixo.

Figura 20 - Método da Ponte de Kelvin




Fonte: do autor.

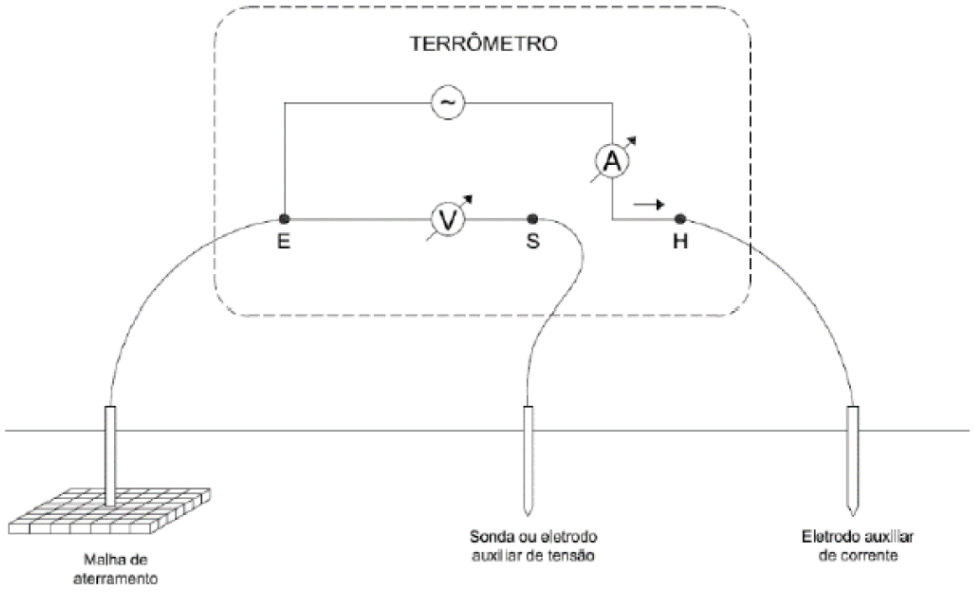
O método com utilização de quatro fios é utilizado para evitar erros ocasionados pela resistência ôhmica do próprio cabo de medição de ensaio, visto que os pontos de medição muitas vezes se encontram afastados dezenas de metros. A NBR 5419-3

(2015) exemplifica essa medição por meio de miliohmímetros ou micro-ohmímetros de quatro terminais.

Além da Ponte de Kelvin, existe outro método de ensaio em eletrodo de aterramento bastante utilizado, chamado de Método da Queda de Potencial. Apesar de não ser citado pela NBR 5419:2015, este método é mencionado na NBR 15749 – Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento.

Para este método, é necessário a utilização de um aparelho específico, denominado terrômetro. O método consiste em circular uma corrente por um circuito composto por três itens: malha de aterramento (que se deseja obter o valor da resistência ôhmica de aterramento), um trecho da terra e um eletrodo auxiliar de corrente. Um eletrodo auxiliar é utilizado simultaneamente para medir a queda de potencial entre a malha de aterramento e o terra de referência.

Figura 21 - Método da Queda de Potencial




Legenda

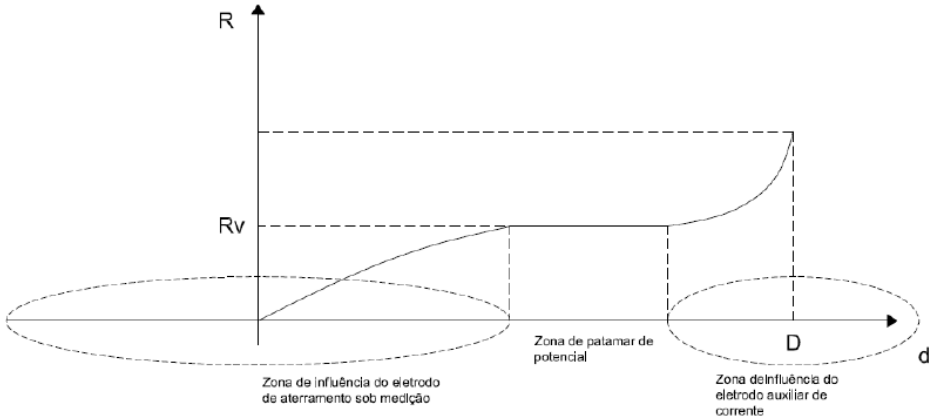
| | |
|---|---|
| *I* | *Corrente de ensaio* |
| *S* | *Borne para a sonda ou eletrodo auxiliar de potencial* |
| *H* | *Borne para o eletrodo auxiliar de corrente* |
| *E* | *Borne para a malha de aterramento sob medição* |

Fonte: adaptado de NBR 15749, 2009.

Durante o processo de medição, o eletrodo de potencial deverá ser deslocado ao longo de uma direção pré-estabelecida, partindo de um ponto próximo à malha de aterramento que está sendo ensaiada, e avançando em intervalos regulares iguais a

5% da distância máxima entre os cabos do aparelho de medição. Esses avanços cessam quando o eletrodo de potencial se aproxima da área onde encontra-se o eletrodo auxiliar de corrente. A cada movimento é realizada uma nova medição da resistência ôhmica, onde os registros de medição devem apresentar uma curva característica da resistência de aterramento em função da distância. A figura a seguir ilustra o formato da curva característica.

Figura 22 - Curva característica da resistência de aterramento em função da distância




R: Resistência obtida variando a distância da sonda desde a distância d = D.
Rv: Valor verdadeiro do aterramento.

Fonte: Adaptado de NBR 15749, 2009.

### 2.4.2. Manutenção

A realização de inspeções de forma regular garante a confiabilidade de um SPDA. Após uma inspeção, o responsável pela estrutura deverá ser informado de todas as irregularidades encontradas através da emissão de um relatório técnico. É de responsabilidade do profissional emissor do relatório recomendar prazos de manutenção no sistema, alternando de prazos imediatos à cronogramas de manutenção preventiva, tendo como critério a gravidade dos danos encontrados (ABNT NBR 5419-3, 2015).

### 2.4.3. Documentação

A ABNT NBR 5419-3 (2015) exige que deve ser mantida uma documentação técnica em posse dos responsáveis pela manutenção da estrutura, ou presente na própria estrutura. Tal documentação necessita conter os seguintes itens:

- Gerenciamento de risco, indicando a necessidade do SPDA (externo e interno), além de informar o nível de proteção do SPDA
- Projeto executivo, contendo desenhos em escala com as dimensões, materiais e posição dos componentes do SPDA
- Dados sobre a natureza e resistividade do solo, quando aplicável
- Registro de ensaios realizados nos eletrodos de aterramento e outras medidas para prevenção de tensões de passo. Registro com a verificação da integridade física e necessidade de medidas adicionais de segurança

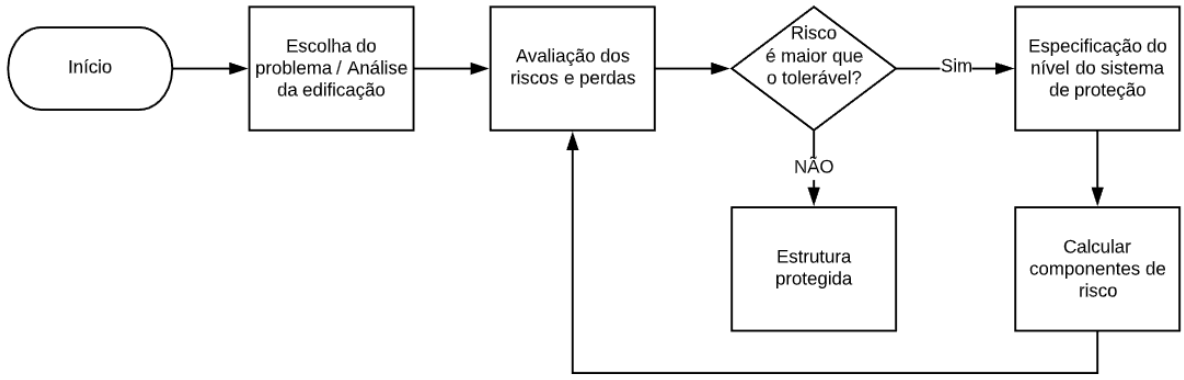
# 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho apresenta uma metodologia do tipo estudo de caso, que é caracterizado por ser um estudo profundo e exaustivo, onde é possível detalhar e ampliar o conhecimento sobre um ou poucos objetos (GIL, 2012). Ventura (2007) complementa o conceito alegando que um estudo de caso ocorre quando se estuda uma unidade ou parte desse todo, podendo possuir abordagens quantitativas e/ou qualitativas, onde muitas vezes é adotado na apuração de fenômenos de diversas áreas do conhecimento.

Tal estudo de caso ainda se qualifica como quantitativo, pois se sustenta em um modelo de conhecimento positivista, prevalecendo o cuidado estatístico-matemático, e ainda pretende ter acesso racional à essência dos fenômenos avaliados (LAKATOS; MARCONI, 2017).

Para atingir os objetivos deste projeto, o trabalho se desmembra em três etapas: análise das condições atuais da edificação e de seus riscos, elaboração de uma solução para garantir a proteção contra descargas atmosféricas, e avaliação técnica da solução proposta verificando sua confiabilidade e cumprimento com as normativas vigentes. A primeira etapa será composta por uma validação preliminar, onde serão analisadas as informações pertinentes a edificação e seus riscos, seguindo o fluxo do diagrama disposto na figura abaixo.

Figura 23 - Fluxograma de análise




Fonte: do autor.

# 4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Este capítulo possui o intuito de descrever os procedimentos utilizados para a avaliação e elaboração do conjunto de medidas de proteção contra descargas atmosféricas para uma estrutura de GLP.

## 4.1. Análise da estrutura

Para a elaboração deste trabalho, tomou-se como aplicação a avaliação de necessidade de implementação de um SPDA para um conjunto de tanques de gás liquefeito de petróleo (GLP), comumente utilizados em indústrias.

A estrutura designada para este trabalho é denominada Central de GLP, e está situada nas dependências de uma empresa metalúrgica na cidade de Caxias do Sul/RS. A Central de GLP é uma estrutura externa e afastada aproximadamente 12 metros dos demais prédios, devido ao seu risco de explosão. Ela possui uma extensão aproximada de 10 metros de comprimento, 9 metros de largura e 2 metros de altura.

O objetivo da Central de GLP é armazenar e distribuir o combustível para diversas áreas da área fabril, principalmente para estufas de secagem de pintura. O local de instalação da Central é cercado com gradil metálico, e possui o solo coberto por pedra brita. Ao total, a Central possui três tanques de armazenamento de gás, todos fabricados em chapa metálica. A figura abaixo ilustra a Central de GLP.

Figura 24 - Central de GLP

Fonte: do autor

Figura 25  Central GLP: ângulo oposto

Fonte: do autor

## 4.2. Análise da documentação existente

Realizando um levantamento junto a empresa proprietária da estrutura, constatou-se que não há nenhuma documentação referente ao projeto do sistema de proteção contra descargas atmosféricas da edificação. Por meio de uma visita ao local, foi verificado que não há existências de medidas para proteção contra descargas atmosféricas.

Desse modo, é necessário realizar uma análise dos riscos associados a estrutura, para assim, justificar a seleção da classe de proteção necessária, e permitir a elaboração de um projeto executivo para implantação do SPDA.

## 4.3. Elaboração do sistema de proteção contra descargas atmosféricas

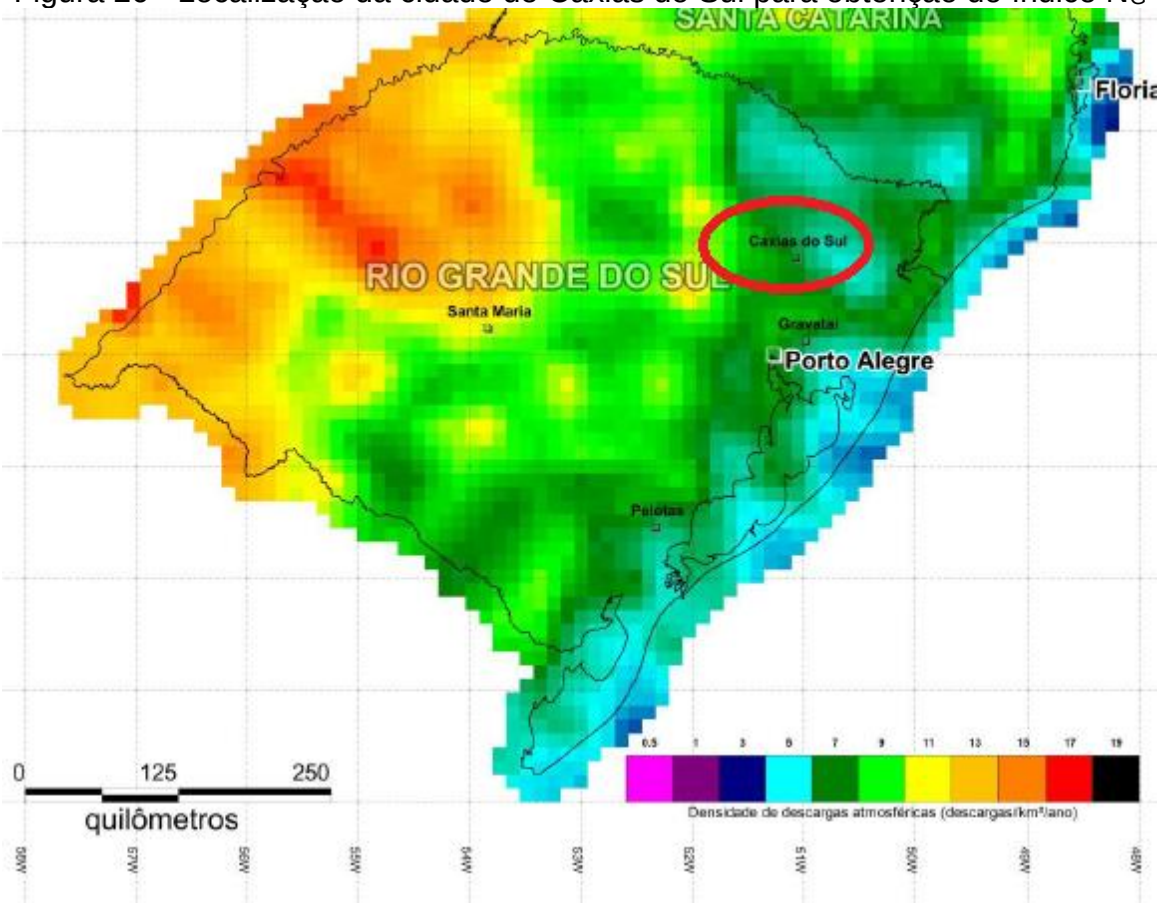
A elaboração de um sistema de SPDA consiste primeiramente na elaboração do gerenciamento de risco (indicando a classe de proteção necessária), e posteriormente a elaboração do projeto executivo. Este último determina as características técnicas dos materiais necessários e dos métodos de instalação.

### 4.3.1. Gerenciamento de risco

Para a elaboração do gerenciamento de risco, pode-se considerar relevantes as perdas de vida humana (L1) e perda econômica (L4). Para a elaboração deste trabalho, o risco R4 associado a perda L4 não foi considerado, o que implica somente na utilização do risco R1, ligado a perda de vida humana L1.

Dessa forma, serão calculados os componentes de risco $R_{A1}$, $R_{B1}$, $R_{C1}$, $R_{M1}$, $R_{U1}$, $R_{V1}$, $R_{W1}$ e $R_{Z1}$, onde o risco tolerável (RT) possui o valor mínimo de $10^{-5}$. A figura a seguir indica que a densidade de descargas atmosféricas por ano ($N_G$) na cidade de Caxias do Sul/RS é equivalente a 7, enquanto a Tabela 48 apresenta as características da estrutura.

Figura 26 - Localização da cidade de Caxias do Sul para obtenção do índice $N_G$




Fonte: do autor, adaptado de ABNT NBR 5419, 2015

Tabela 48 - Dados da estrutura

| Parâmetro | Símbolo | Valor | Referência |
|---|---|---|---|
| Densidade de descargas atmosféricas (1/Km²/ano) | $N_G$ | 7 | Anexo F da NBR 5419 - 2 |
| Dimensões da estrutura (m) largura x comprimento x altura | L | 9 | Planta baixa |
| | W | 10 | |
| | H | 2 | |
| Fator de localização da estrutura | $C_D$ | 0,25 | Tabela 15 |
| Classe do SPDA | $P_B$ | 1 | Tabela 20 |
| Número de pessoas na zona | $n_z$ | 2 | - |
| Número total de pessoas na estrutura | $n_t$ | 1 | - |
| Tempo durante as pessoas estão presentes na zona (h/ano) | $t_z$ | 1600 | - |

Fonte: do autor.

Com base nessas informações, e dispondo das tabelas e equações apresentadas no capítulo 2, é possível realizar o cálculo dos componentes de riscos. As tabelas abaixo apresentam os valores de área de exposição equivalente e número de eventos perigosos.

Tabela 49 – Área de Exposição equivalente

| Símbolo | Valor | Descrição | Fonte |
|---|---|---|---|
| $A_D$ | 4,31E+02 | Área de exposição equivalente para descargas na estrutura | Equação 11 |
| $A_M$ | 8,04E+05 | Área de exposição equivalente para descargas próximas | Equação 16 |

Fonte: do autor.

Tabela 50 - Número de eventos perigosos

| Símbolo | Valor | Descrição | Fonte |
|---|---|---|---|
| $N_D$ | 7,54E-04 | Número de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas em uma estrutura | Equação 13 |
| $N_M$ | 5,628 | Número de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas em uma estrutura | Equação 15 |

Fonte: do autor.

As próximas tabelas apresentam os valores pertinentes aos cálculos dos componentes de risco S1, resultando nos valores de $R_A$ e $R_B$.

Tabela 51 - Componentes de riscos S1: descargas atmosféricas na estrutura

| Símbolo | Valor | Descrição | Fonte |
|---|---|---|---|
| $P_A$ | 1,00E+00 | Probabilidade de causar ferimento a seres vivos por choque elétrico | Equação 21 |
| $r_t$ | 1,00E-05 | fator de redução de perda de vida humana | Tabela 29 |
| $L_t$ | 1,00E-02 | número médio de vítimas de choque elétrico | Tabela 35 |
| $L_A$ | 3,65E-08 | Perda devido a ferimentos a seres vivos causada por choque elétrico | Equação 30 |
| $r_p$ | 5,00E-01 | fator de redução de perda devido a danos físicos | Tabela 30 |
| $r_f$ | 1,00E-01 | fator de redução de perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou de explosão | Tabela 31 |
| $h_z$ | 1,00E+00 | fator de aumento de perda devido a danos físicos | Tabela 32 |
| $L_f$ | 2,00E-02 | número médio tipo de vítimas por danos físicos devido a um evento perigoso | Tabela 28 |
| $L_B$ | 3,65E-04 | Perda devido danos físicos | Equação 32 |

Fonte: do autor.

Tabela 52 - Componentes de riscos S1: $R_A$ e $R_B$

| Símbolo | Equação | Valor | Fonte |
|---|---|---|---|
| $R_A$ | $R_A = N_A * P_A * L_A$ | 2,76E-11 | Equação 2 |
| $R_B$ | $R_B = N_B * P_B * L_B$ | 2,76E-07 | Equação 3 |

Fonte: do autor.

Abaixo estão as tabelas que exiem os valores pertinentes aos cálculos dos componentes de risco S2, resultando nos valores de $R_M$.

Tabela 53 - Componentes de riscos S2: descargas atmosféricas perto da estrutura

| Símbolo | Valor | Descrição | Equação |
|---|---|---|---|
| $N_M$ | 5,628 | Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas | $N_M = N_G * A_M * 10^{-6}$ |
| $P_M$ | 2,00E-10 | Probabilidade de uma descarga ocorrer próxima a uma estrutura e causar falha em seus sistemas internos | Equação 23 |
| $L_M$ | 3,65E-03 | Perda relacionada à falha de sistemas internos | Equação 33 |
| AM | 8,04E+05 | Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura | Equação 16 |

Fonte: do autor.

Tabela 54 - Componentes de riscos S2: $R_M$

| Símbolo | Equação | Valor | Fonte |
|---|---|---|---|
| $R_M$ | $R_M = N_M * P_M * L_M$ | 4,11E-12 | Equação 5 |

Fonte: do autor.

A Tabela 55 exibe os componentes de risco S3, enquanto a Tabela 56 apresenta os valores de $R_U$, $R_V$ e $R_W$.

Tabela 55 - Componentes de risco S3: descargas atmosféricas na linha conectada

| Símbolo | Valor | Descrição | Fonte |
|---|---|---|---|
| $C_I$ | 5,00E-01 | Fator de instalação da linha | Tabela 17 |
| $C_E$ | 5,00E-01 | Fator ambiental | Tabela 18 |
| $N_L$ | 8,40E-04 | Número médio anual de eventos perigosos causados por descargas atmosféricas na linha | Equação 17 |
| $A_{DJ}$ | 4,47E+03 | Área de exposição equivalente da estrutura adjacente | Equação 11 |
| $C_{DJ}$ | 2,50E-01 | Fator de localização da estrutura adjacente | Tabela 15 |
| $C_T$ | 1,00E+00 | Fator tipo de linha | Tabela 16 |
| $N_{DJ}$ | 7,82E-03 | Número de eventos perigosos para uma estrutura adjacente | Equação 14 |
| $P_{TU}$ | 1,00E+00 | Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar choque a seres vivos | Tabela 24 |
| $P_{EB}$ | 1,00E+00 | Fator dependente das ligações equipotenciais | Tabela 25 |
| $P_{LD}$ | 1,00E+00 | Probabilidade de falha no sistema interno | Tabela 26 |
| $C_{LD}$ | 1,00E+00 | Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolação | Tabela 22 |
| $P_U$ | 1,00E+00 | Probabilidade de uma descarga atmosférica na linha causar ferimentos a seres vivos | Equação 26 |
| $L_U$ | 3,65E-08 | Perda devido a ferimentos a seres vivos causados por choque elétrico | Equação 31 |
| $P_V$ | 1,00E+00 | Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos | Equação 27 |
| $P_W$ | | Probabilidade de uma descarga atmosférica ocorrer em uma linha e causar falha em seus sistemas internos | Equação 28 |
| $L_W$ | 3,65E-03 | Perda relacionada à falha de sistemas internos | Equação 33 |

Fonte: do autor.

Tabela 56 - Componentes de risco S3: $R_U$, $R_V$ e $R_W$

| Símbolo | Equação | Valor | Fonte |
|---|---|---|---|
| $R_U$ | $R_U = (N_L + N_{DJ}) * P_U * L_U$ | 3,16E-10 | Equação 6 |
| $R_V$ | $R_V = (N_L + N_{DJ}) * P_V * L_V$ | 3,16E-06 | Equação 7 |
| $R_W$ | $R_W = (N_L + N_{DJ}) * P_W * L_W$ | 6,33E-07 | Equação 8 |

Fonte: do autor.

A Tabela 57 expressa os componentes de risco S4, e a Tabela 58 apresenta o valor de $R_Z$.

Tabela 57 - Componentes de risco S4: descargas atmosféricas perto da linha conectada

| Símbolo | Valor | Descrição | Fonte |
|---|---|---|---|
| $N_I$ | 8,40E-02 | Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas perto da linha | $N_I = N_G * A_I * C_I * C_E * C_T * 10^{-6}$ |
| $P_Z$ | 2,00E-02 | Falha de sistemas internos | Equação 29 |
| $L_Z$ | 3,65E-03 | Perda relacionada à falha de sistemas internos | Equação 33 |
| $A_I$ | 4,80E+04 | Área de exposição equivalente perto da linha | Equação 20 |

Fonte: do autor.

Tabela 58 - Componentes de risco S4: $R_Z$

| Símbolo | Equação | Valor | Fonte |
|---|---|---|---|
| $R_Z$ | $R_Z = N_I * P_Z * L_Z$ | 3,16E-10 | Equação 6 |

Fonte: do autor.

Com base nessas informações, é possível encontrar o valor do risco R1, por meio das variáveis $R_A$, $R_B$, $R_U$, $R_V$, $R_M$, $R_W$ e $R_Z$. Onde os termos $R_A$ e $R_U$ são pertinentes ao dano D1 (ferimentos a seres vivos devido a choque elétrico), $R_B$ e $R_V$ representam o dano D2 (danos físicos), e $R_M$, $R_W$ e $R_Z$ representam o dano D3 (falha de sistemas eletrônicos). A tabela a seguir apresenta de forma resumida os valores das variáveis de R1.

Tabela 59 - Avaliação dos novos componentes de risco e R1

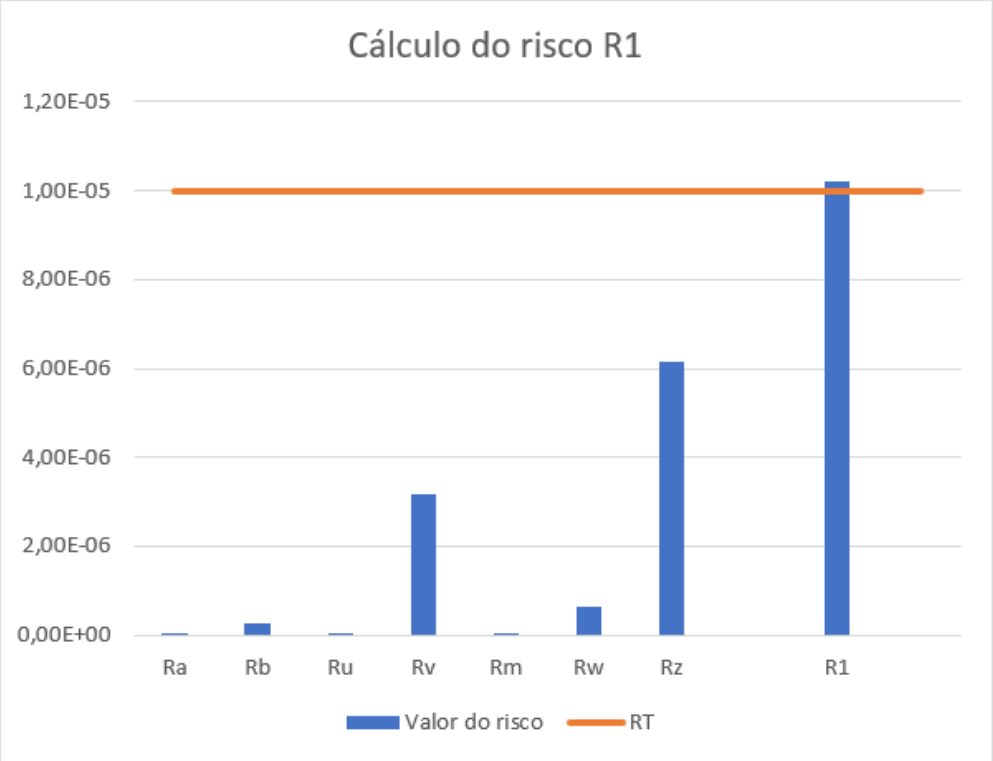
| Danos | Fontes de dano | | | |
|---|---|---|---|---|
| | S1 | S2 | S3 | S4 |
| D1 Ferimentos a seres vivos devido a choques elétricos | $R_A$ = 2,76E-11 | - | $R_U$ = 3,16E-10 | - |
| D2 Danos físicos | $R_B$ = 2,76E-07 | - | $R_V$ = 3,16E-06 | - |
| D3 Falhas de sistemas eletrônicos | - | $R_M$ =4,11E-12 | $R_W$ = 6,33E-07 | $R_Z$ = 3,16E-10 |
| $R1 = R_A + R_B + RM + R_U + R_V + R_W + R_Z$<br>R1 = 1,03E-05 | | | | |

Fonte: do autor.

Como vista na tabela anterior, foi encontrado o valor de 1,03E-05 para R1, sendo superior ao valor do risco tolerável (RT = 1E-05). Desse modo, a estrutura necessita de uma instalação de medidas de proteção contra descargas atmosféricas,

pois encontra-se desprotegida. A figura a seguir ilustra a amplitude dos riscos ao serem comparados com RT.

Figura 27 - Gráfico com a amplitude dos riscos




Fonte: do autor

Após a análise dos dados, e verificação de necessidade de implantação de medidas de proteção, é possível observar valores relativamente elevados para determinados riscos, como ferimentos causados por choque elétrico devido a tensão de passo dentro e fora da zona ($R_A$), danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura ocasionando incêndio ou explosões ($R_B$ e $R_V$), e risco de falhas dos sistemas internos ($R_Z$). É importante a ressalva da importância de $R_B$ pois a ocorrência centelhamentos causados por descargas atmosféricas podem ocasionar explosões

Para minimizar tais componentes de risco, considerou-se a utilização de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas com classe de proteção I, reduzindo o valor de $P_B$ a 0,02. Com base nesse novo valor, os componentes de risco foram recalculados, e os respectivos resultados podem ser visualizados na Tabela 60 a seguir.

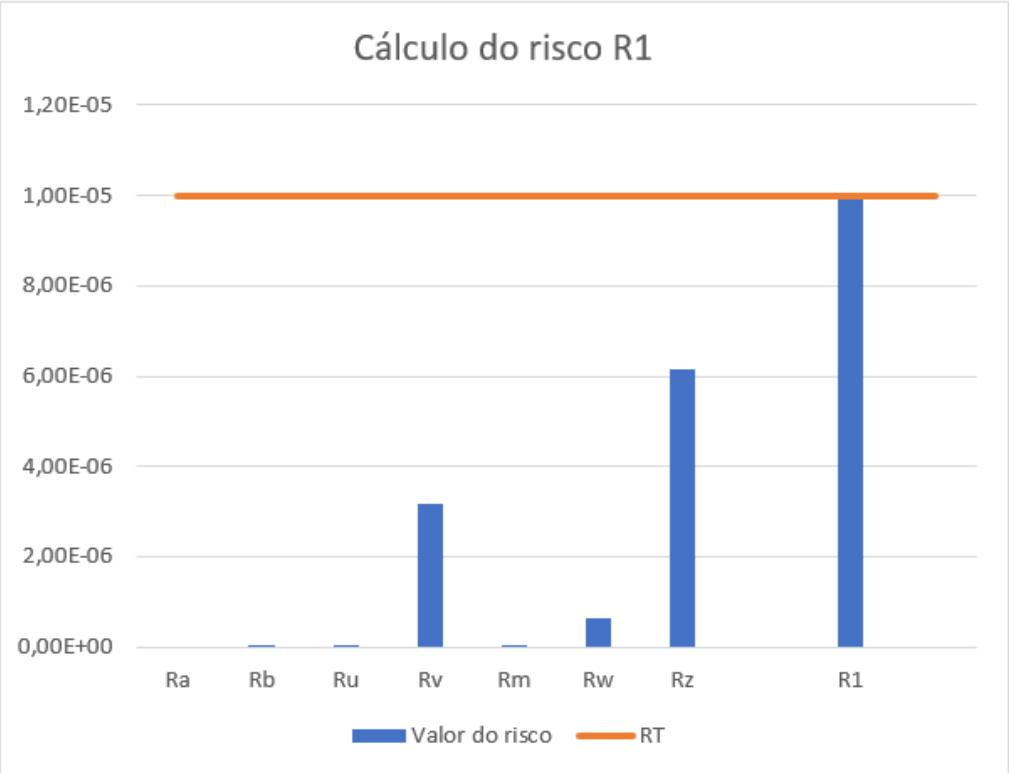
Tabela 60 - Avaliação dos novos componentes de risco e R1

| Danos | Fontes de dano | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **S1** | **S2** | **S3** | **S4** |
| D1<br>Ferimentos a seres vivos devido a choques elétricos | $R_A$ = 5,51E-13 | - | $R_U$ = 3,16E-10 | - |
| D2<br>Danos físicos | $R_B$ = 5,51E-09 | - | $R_V$ = 3,16E-06 | - |
| D3<br>Falhas de sistemas eletrônicos | - | $R_M$ =4,11E-12 | $R_W$ = 6,33E-07 | $R_Z$ = 6,14E-06 |
| $R1 = R_A + R_B + RM + R_U + R_V + R_W + R_Z$<br>R1 = 9,99E-06 | | | | |

Fonte: do autor.

Por meio desse novo cálculo, o valor de R1 (9,99E-06) é inferior ao RT (1E-05), comprovando que a instalação de um SPDA classe I irá atender de forma eficaz os requisitos de segurança da norma ABNT NBR 5419:2015, e proteger a estrutura contra descargas atmosféricas. A figura a seguir demonstra as novas amplitudes variáveis de R1 em relação a RT.

Figura 28 - Gráfico com as novas amplitudes dos riscos




Fonte: do autor.

### 4.3.1. Projeto executivo do SPDA

Nos itens a seguir serão descritos os aspectos da elaboração do projeto executivo.

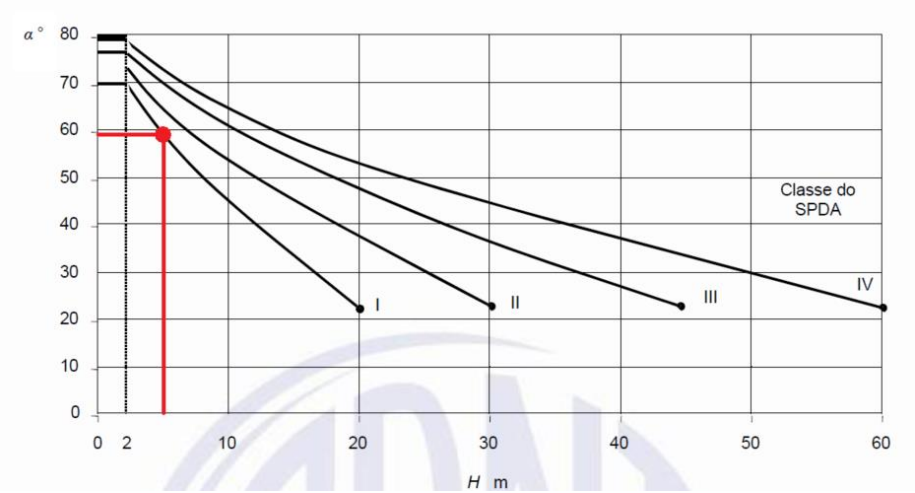
#### 4.3.1.1.Subsistema de captação

Tomando como base as características abordadas no capítulo 2.3.2.1.1, foram analisadas as possibilidades de medidas para compor o subsistema de captação. De acordo com a norma ABNT NBR5419-3:2015, em seu capítulo 5.2.5 item ‘e’, é permitido que tanques que contenham misturas explosivas ou prontamente combustíveis possam utilizar a carcaça como captação natural, desde que a espessura da parede não seja inferior a dimensão *t* (Tabela 40). Porém, como não foi encontrado nenhuma documentação técnica que alegue e confirme a espessura das paredes dos tanques de GLP, foi descartado a hipótese de utilizar um subsistema de captação natural devido ao grande risco de explosão ocasionado por centelhamento.

Desse modo, como não há uma cobertura de superfície plana, o método de gaiola de Faraday se torna dispensável. Assim, é necessário utilizar o método de ângulo de proteção. Para a construção deste subsistema, será necessário adicionar mastros em determinados pontos da estrutura, de modo que toda a estrutura se encontre dentro do volume de proteção.

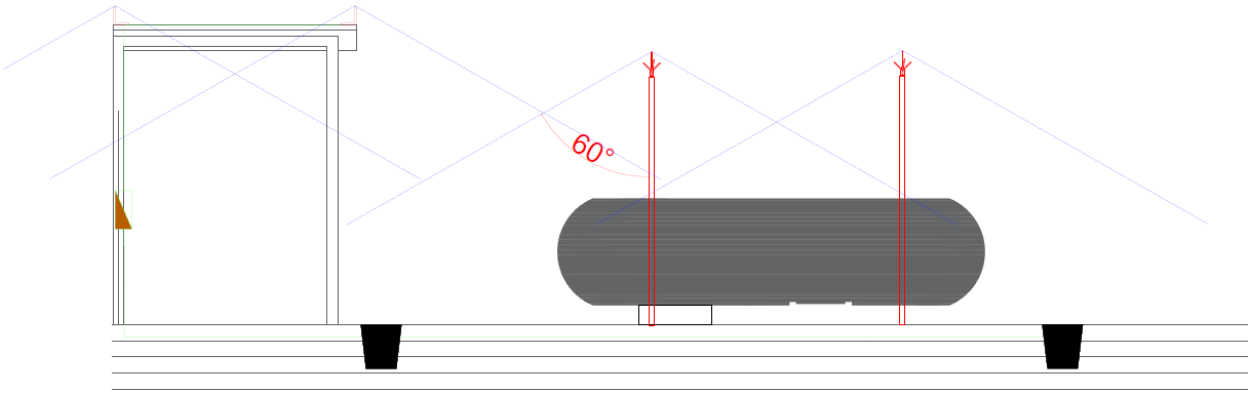
Como o mastro será instalado diretamente sobre o chão, é possível utilizar a forma de instalação apresentado na Figura 13 (capítulo 2.3.2.1.1). Utilizando um mastro com altura de 4 metros (H), o ângulo de proteção provém da Figura 15, permitindo um ângulo de proteção de aproximadamente 60°. Devido ao tamanho e disposição dos tanques, optou-se pela instalação de 4 mastros, sendo dispostos aos pares entre os tanques. Essa configuração permite um amplo volume de proteção e um sistema simples para fixação dos mastros. As figuras abaixo ilustram o ângulo de proteção e a disposição dos mastros.

Figura 29 - Ângulo de proteção para a estrutura



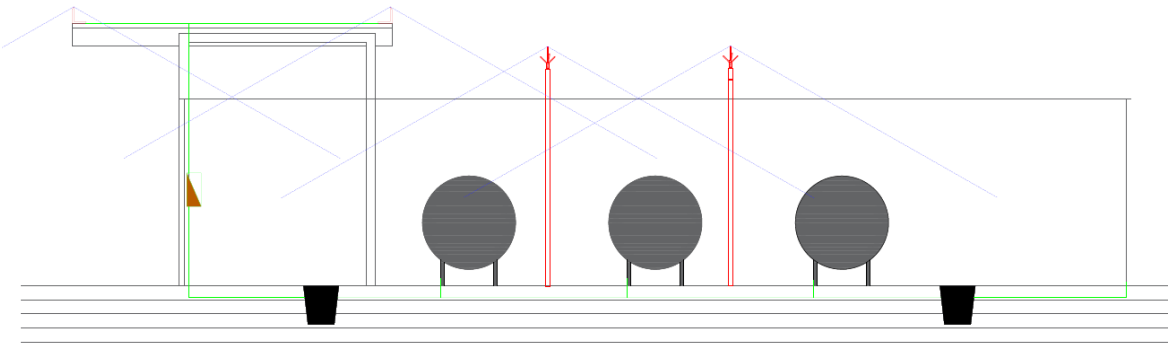

Fonte: do autor, adaptado de NBR 5419-3, 2015.

Figura 30 - Ângulo de proteção sobre os tanques: vista lateral




Fonte: do autor.

Figura 31 - ângulo de proteção sobre os tanques: vista frontal



Fonte: do autor.

Para fixar o mastro no solo é preciso construir uma base em concreto armado, onde ele será chumbado. Para mastros com alturas elevadas, é preciso realizar um processo de amarração lateral por meio de estais com cabos de aço, visando manter a estabilidade da instalação.

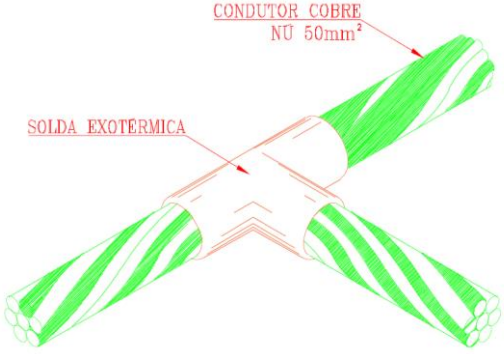
Sobre a estrutura de concreto que compõe a entrada da Central de GLP será preciso instalar mini-captores verticais para complementar o subsistema de captação. Estes mini-captores deverão ser interligados entre si e no restante do sistema de SPDA por meio de cabo de cobre nu na seção de 35 mm².

#### 4.3.1.2.Subsistema de descidas

Como o mastro que compõe o subsistema de captação possui sua estrutura construída com aço, é possível realizar o método de subsistema de descida natural, não necessitando a adição de materiais condutores. Desse modo, junto ao pé do mastro é preciso realizar uma conexão entre o próprio mastro e o subsistema de aterramento.

Para os mini-captores que serão instalados sobre a estrutura de concreto, será preciso realizar a instalação de duas descidas através de cabo de cobre nu na seção de 35 mm². Para permitir a medição de continuidade, para cada descida deverá ser instalado um ponto de medição e inspeção composto por conduletes de PVC tipo E no tamanho 1”, contendo um conector de medição em latão. Para proteger os condutores de descidas devem ser instalados eletrodutos de PVC na seção de 1”. Ao final de cada descida, é preciso realizar a conexão com a malha de aterramento por meio de solda tipo exotérmica, devido a umidade presente em função do contato com o solo. A figura abaixo ilustra a utilização da solda exotérmica para a conexão dos condutores de 35 e 50 mm².

Figura 32 - Solda exotérmica

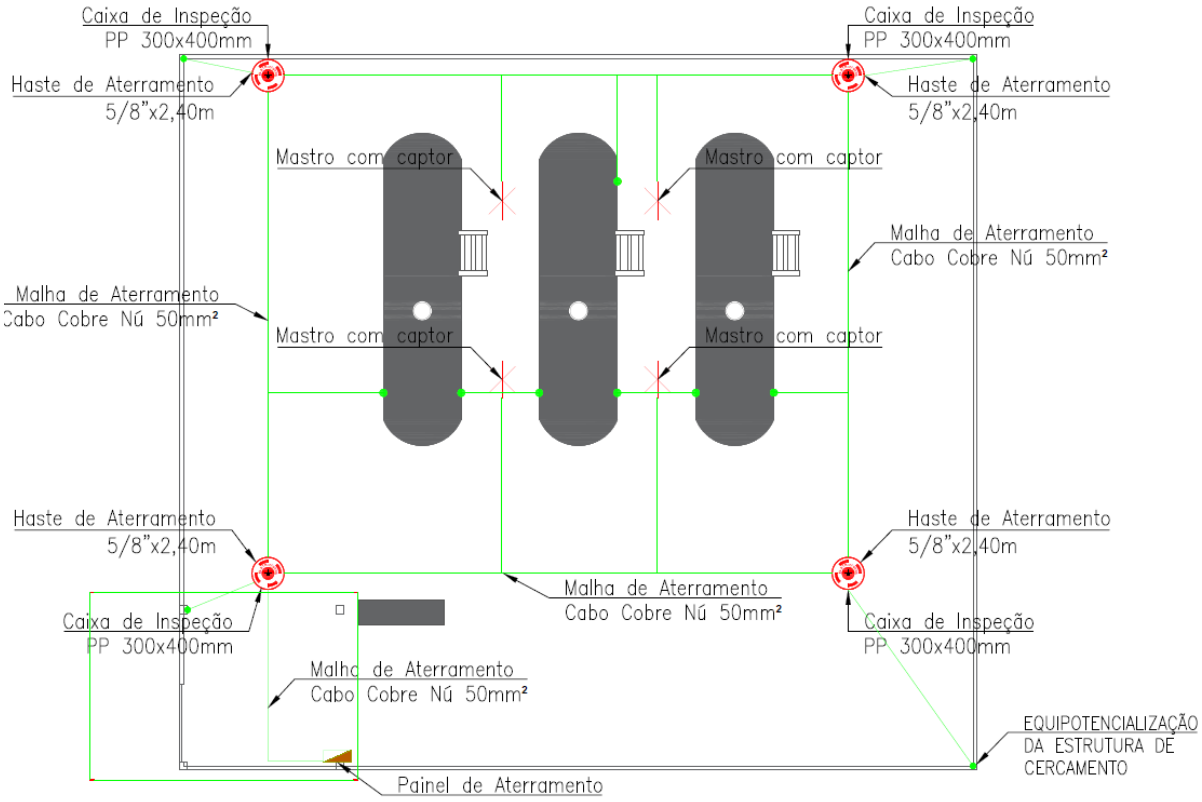


Fonte: do autor.

### 4.3.1.3.Subsistema de aterramento

Para o sistema de aterramento, será preciso instalar uma malha de aterramento circundando todos os tanques de GLP. Seguindo as especificações da Tabela 45, para utilizar um condutor de cobre nu (sem capa de proteção), ele deverá possuir uma seção de 50mm², além de ter 7 fios em formato de encordoado e cada fio deverá possuir um diâmetro mínimo de 3 mm. A figura abaixo exibe o *layout* de instalação da malha de aterramento para a Central de GLP.

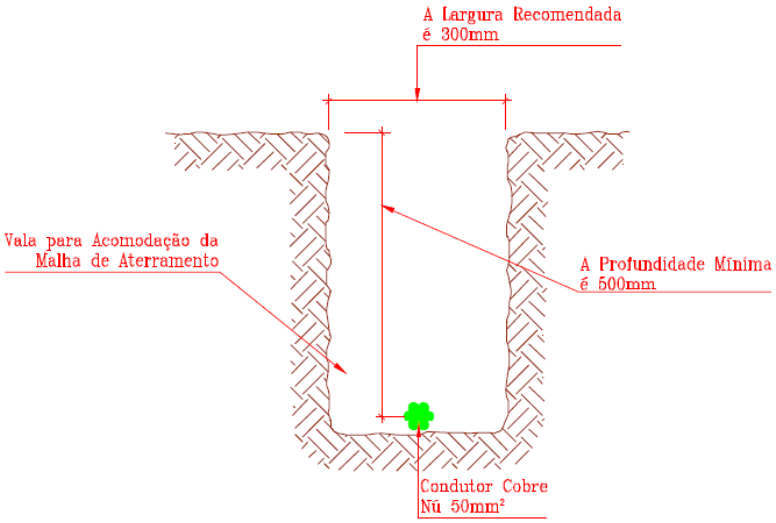
Figura 33 - Detalhe do formato de malha de aterramento




Fonte: do autor.

A malha deve ser instalada a uma distância de aproximadamente 1 metro da extremidade da edificação, e enterrada a uma profundidade de 0,5 metros. Todas as conexões entre condutores deve ser realizada por meio de solda exotérmica. A figura a seguir exibe de forma intuitiva o local de instalação dos condutores.

Figura 34 - Detalhe do local de instalação da malha de aterramento

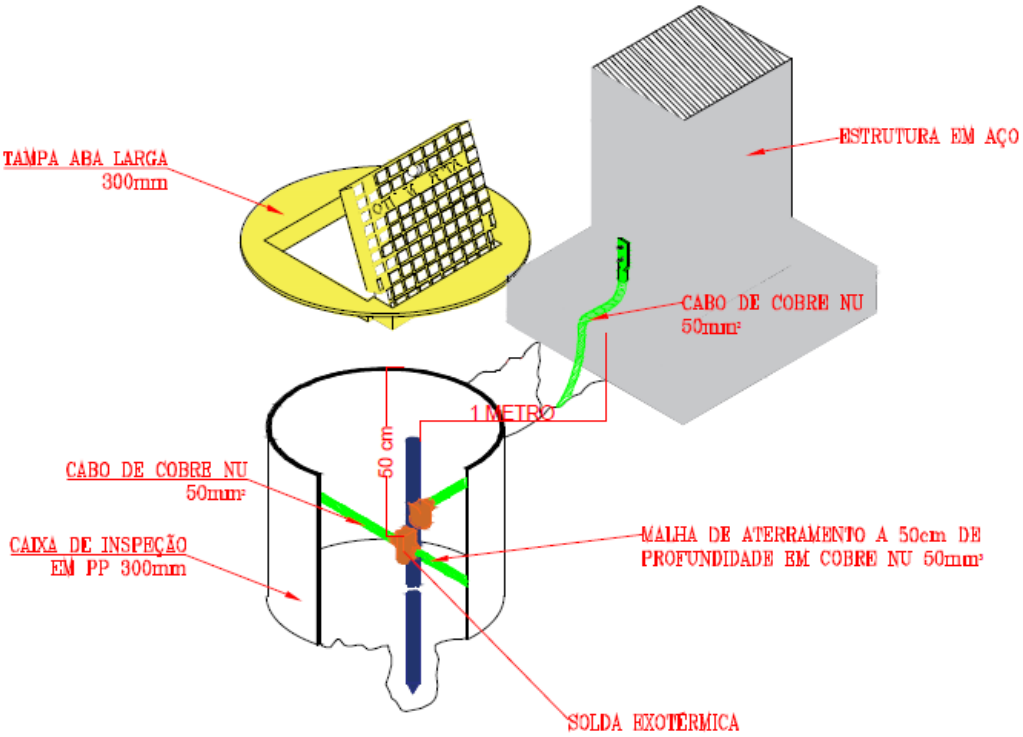



Fonte: do autor.

Nos quatros cantos da malha de aterramento, é preciso realizar a adição de eletrodos verticais para intensificar os efeitos da malha. O eletrodo vertical é composto por uma haste de aço cobreada com alta camada (254 µ) com comprimento de 2,4 metros, enterrada no sentido vertical e interligada aos condutores da malha de aterramento por meio de solda exotérmica.

Para permitir inspeções visuais e medições de continuidade no sistema de aterramento, cada eletrodo vertical será instalado dentro de uma caixa de inspeção em material de polipropileno (PP) ou PVC, com diâmetro de 300 mm e tampa móvel de aço ou ferro fundido. A figura a seguir exemplificar a instalação do eletrodo dentro da caixa de inspeção.

Figura 35 - Detalhes de instalação dos eletrodos verticais de aterramento




Fonte: do autor.

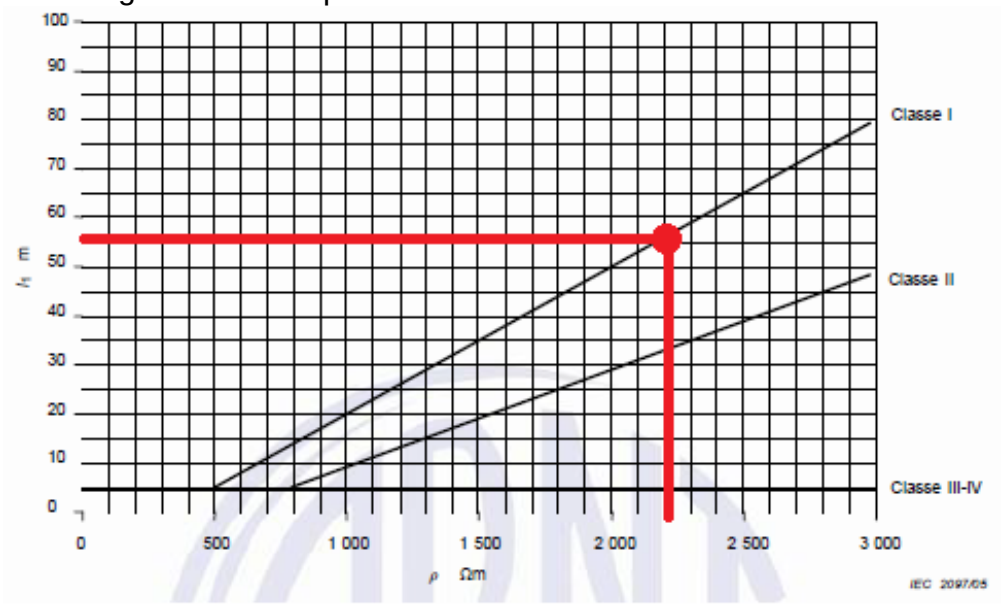
Por meio da malha de aterramento é possível calcular o comprimento total do eletrodo de aterramento, visto que é necessário somente somar as distâncias do condutor enterrado. A utilização de hastes verticais contribui para aumentar o comprimento total do eletrodo enterrado, sendo extremamente útil em situações críticas.

É possível realizar a especificação do comprimento total necessário por meio do gráfico da Figura 19, localizada no item 2.3.2.1.3, onde está diretamente relacionado a resistividade do solo e a categoria do SPDA. Dessa forma, conforme a resistividade do solo, é possível manter as dimensões externas de uma malha de aterramento e adicionar hastes verticais para aumentar o comprimento total, e assim atingir a categoria solicitada.

Para realizar um dimensionamento por este método é preciso realizar um série de estudos a partir de amostras do solo por meio de estratificação, podendo retardar o projeto (até se obter os dados das análises por meio de laboratórios), ou até mesmo tornar o projeto oneroso, caso seja preciso adquirir algum equipamento especifico para análise do solo.

Para este projeto desprezou-se inicialmente a resistividade do solo. Analisando isoladamente o comprimento dos eletrodos enterrados, é encontrado um comprimento total de 55,6 metros, visto que a malha enterrada possui as dimensões de 11 x 12 metros (largura x comprimento), e cada uma das quatro hastes possui comprimento de 2,4 metros. Com base nisso, utilizando novamente a Figura 19, o sistema de aterramento é eficiente para solos com resistividade de até aproximadamente 2200 ohms/metro.

Figura 36 - Comprimento total do eletrodo de aterramento




Fonte: do autor.

### 4.3.1.4.Equipotencialização das partes metálicas e SPDA interno

Conforme mencionado anteriormente no capítulo 2.2.5, é preciso realizar ligações equipotenciais com linhas e estruturas metálicas que adentram na estrutura, ou se localizam muito próximas. Este procedimento visa a inibição de correntes elétricas e campos magnéticos oriundos de descargas atmosféricas e campos magnéticos na estrutura, podendo causar centelhamentos perigosos e sobretensões prejudiciais aos sistemas internos.

Isso quer dizer que todas as estruturas metálicas próximas a estrutura (ou até mesmo a própria estrutura) devem ser conectadas a malha de aterramento. Dessa forma, como os tanques possuem sua carcaça em aço, eles devem ser conectados a malha de aterramento. Próximo aos tanques, existe um gradil metálico que cerca todo

o perímetro, que também necessita que seja conectado ao subsistema de aterramento.

Junto a estrutura do portão de entrada, próximo ao painel elétrico da estrutura, necessita que seja instalado um painel de aterramento, que internamente deve possuir um barramento de equipotencialização principal (BEP), para interligar circuitos elétricos e demais estruturas metálicas. Neste painel de aterramento, será conectado o circuito de proteção do painel elétrico existente, a carcaça do motor elétrico da bomba de gás, e a infraestrutura em material galvanizado a fogo a prova de explosão que abriga dos condutores elétricos da edificação.

Figura 37 - Painel elétrico existente da Central de GLP

Fonte: do autor

Figura 38 - Motobomba de gás existente

Fonte: do autor

Para compor o SPDA interno, é preciso que seja instalado um DPS Classe I (entrada da estrutura) junto ao painel elétrico existente, de modo a conectar todos os circuitos de alimentação ao BEP.

Após a instalação de todos os materiais descritos nessa seção, é preciso que sejam realizados os testes de medição de continuidade e resistência elétrica do sistema, conforme descrito no item 2.4.1. Com o registro dos ensaios em mão, é preciso montar um cronograma de manutenção e inspeções regulares de pelo menos uma vez ao ano, já que a estrutura possui risco de explosão. Também é válido a aplicação de inspeções visuais em períodos menores (a cada seis meses por exemplo), visando manter o sistema em plenas condições e atendendo todos os requisitos da ABNT NBR 5419:2015.

# 5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou as etapas do desenvolvimento de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas para uma determinada estrutura, objetivado a especificar as características técnicas exigidas pelas normas vigentes. Todos os objetivos foram alcançados.

Ao longo das seções, o presente documento apresentou os detalhes físicos referentes a formação das descargas atmosféricas e como elas podem ocasionar diferentes formas danos à estruturas, e causar perigo a vida de seres vivos.

Para proteger uma estrutura de armazenamento de GLP é preciso realizar a instalação de um sistema de SPDA classe I, devido ao grande risco de explosão do local. Para casos como este a norma permite a utilização da carcaça dos próprios tanques como sistema de captação, porém, foi analisado de forma minuciosa, já que é preciso garantir que se ocorrer uma descarga atmosférica diretamente sobre o tanque, a chapa de sua carcaça precisa garantir que não ocorra centelhamentos internos que possam ocasionar explosões.

Outro ponto analisado é referente as tubulações de saída de gás, pois é preciso assegurar a vedação completa para impedir explosões causadas por centelhamento, e a espessura da própria tubulação precisa atender as dimensões mínimas da Tabela 41. Dessa forma, o método mais seguro é a adição de um subsistema de captação, realizar a equipotencialização da carcaça dos tanques, do gradil metálico e demais estruturas metálicas junto ao sistema de aterramento, além de adicionar um conjunto coordenado de DPS classe I.

## 5.1. Trabalhos futuros

Visando dar segmento a linha de pesquisa desenvolvida ao longo deste documento, uma opção de continuidade, ou de trabalhos futuros, seria a aplicação em uma estrutura que possua linhas de sinais e de alimentação externas que adentram na estrutura. Esse tipo de configuração exige que seja realizada uma abordagem mais completa, resultando em um projeto com maior nível de especificação técnica e detalhamento.

# REFERÊNCIAS


ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-1: **Proteção contra descargas atmosféricas** – parte 1: princípios gerais. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5419-2: **Proteção contra descargas atmosféricas** – parte 2: gerenciamento de risco. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5419-3: **Proteção contra descargas atmosféricas** – parte 3: danos físicos a estruturas e perigos à vida. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5419-4: **Proteção contra descargas atmosféricas** – parte 4: sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Rio de Janeiro, 2015.

_____. Revisão da ABNT NBR 5419: **Proteção Contra as Descargas Atmosféricas**. Boletim ABNT: maio/junho 2015.

_____. NBR 15749: **Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento.** Rio de Janeiro, 2009.

BARBOSA, José. **Apostila Curso de SPDA**. Belo Horizonte: Termotécnica, 2017.

CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações Elétricas Prediais** - 14. ed. São Paulo: Érica, 2006.

CAZARRÉ, Marieta. **Brasil registra média de 78 milhões de raios por ano**, diz Inpe. Brasília: Agência Brasil, 2017. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-09/brasil-registra-media-de-78-milhoes-de-raios-por-ano-diz-inpe>. Acesso em maio de 2020.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**, 6. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. ELAT/INPE realiza levantamento de mortes por raios em 2014 no Brasil. São José dos Campos: 2015. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3823%3E>. Acesso em: março de 2020.

*INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION*. **IEC 62035*: Protection against lightning -*** *All Parts*. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Ocorrência na terra**. São José dos Campos: 2017. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/ocorrencia.na.terra.php>. Acesso em maio de 2020.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do Trabalho Científico**, 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

LIMA FILHO, Domingos Leite. **Projetos de Instalações Elétricas Prediais** - 6. ed. São Paulo: Érica, 2006.

MACINTYRE, A. J.; NISKIER, Julio. **Instalações Elétricas** - 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

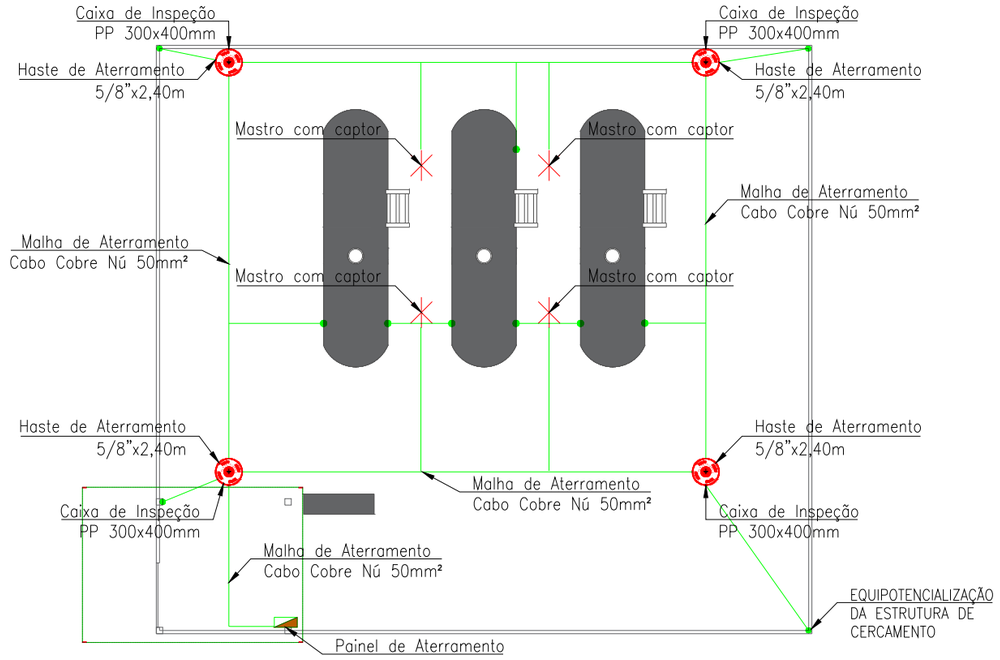
MAMEDE FILHO, João. I**nstalações Elétricas Industriais** - 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MODENA, Jobson. Proteção contra raios. Portal O Setor Elétrico. São Paulo: 2010. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/protecao-contra-raios/>. Acesso em: março de 2020.

VISACRO FILHO, Silvério. **Descargas Atmosféricas: uma abordagem de engenharia**. São Paulo: Artlibert Editora, 2005.

VENTURA, Magda Maria. **O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa**. Rio de Janeiro: Revista SOCERJ, 2007.

# APÊNDICE A – PROJETO EXECUTIVO DE SPDA PARA CENTRAL DE GLP




## NOTAS TÉCNICAS

QUANTO MAIOR FOR A SINTONIA E A COORDENAÇÃO ENTRE OS PROJETOS E EXECUÇÕES DAS ESTRUTURAS A SEREM PROTEGIDAS E DO SPDA, MELHORES SERÃO AS SOLUÇÕES ADOTADAS POSSIBILITANDO OTIMIZAR CUSTO DENTRO DA MELHOR SOLUÇÃO TÉCNICA POSSÍVEL. PREFERENCIALMENTE, O PRÓPRIO PROJETO DE ESTRUTURA DEVE VIABILIZAR A UTILIZAÇÃO DAS PARTES METÁLICAS DESTA COMO COMPONENTES NATURAIS DO SPDA.

-> SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO É A PRÓPRIA ESTRUTURA DOS TANQUES, OS MESMO SÃO AUTOPROTEGIDOS (CONTIDOS TOTALMENTE DENTRO DE RECIPIENTES METÁLICOS, CONTÍNUOS, COM ESPESSURA DE PAREDE SUPERIOR A 5mm DE AÇO OU 7mm DE ALUMÍNIO SEM ESPAÇOS QUE PERMITAM CENTELHAMENTO) E NÃO REQUEREM PROTEÇÃO ADICIONAL.
ANALOGAMENTE, TANQUES EM CONTATO DIRETO COM O SOLO, NÃO NECESSITAM DA INSTALAÇÃO DO SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO.

-> SUBSISTEMA DE DESCIDAS DO TIPO NATURAL, TANQUES DEVEM SER LIGADOS AO ELETRODO DE ATERRAMENTO, DEPENDENDO DE SUAS DIMENSÕES HORIZONTAIS:
ATÉ 20 m: DUAS INTERLIGAÇÕES NO MÍNIMO, DISPOSTAS EQUIDISTANTES NO PERÍMETRO. SALVA SITUAÇÕES E OS TANQUES AGRUPADOS EM PÁTIOS, O ATERRAMENTO DE CADA TANQUE EM APENAS UM PONTO É SUFICIENTE, INDEPENDENTE DA MAIOR DIMENSÃO HORIZONTAL.

-> SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO DO TIPO MALHA DE TERRA DEVENDO TER ESPAÇAMENTO DE APROXIMADEMENTE 1 METRO EM RELAÇÃO A ESTRUTURA E POSSUIR PROFUNDIDADE MÍNIMA DE 0,5 METROS, COMPOSTO POR CABO DE COBRE NÚ SEÇÃO 50mm², INTERLIGADO EM HASTES DE ATERRAMENTO DO TIPO COOPERWELD COM DIMENSÕES DE 5/8" x 2,4m, ATRAVÉS DE SOLDA EXOTÉRMICA. O CONDUTOR ANEL DEVE TER EM CONTATO COM O SOLO PELO MENOS 80% DO SEU COMPRIMENTO TOTAL E DEVE INSTALADOS DE TAL MANEIRA A PERMITIR SUA INSPEÇÃO DURANTE A VIDA UTIL.

| REV. | DATA/DATE | RESP./BY | EMISSÃO | DISCRIMINAÇÃO/DISCRIMINATION |
|---|---|---|---|---|
| 00 | 16/11/2020 | F. QUADROS | C | EMISSÃO INICIAL |

FINALIDADE DA EMISSÃO/EMISSION PURPOSE

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| A – PRELIMINAR | B – P/ CONHECIMENTO | C – P/ COMENT. E/OU APROVAÇÃO | D – APROVADO | E – P/ COTAÇÃO |
| F – LIBERADO P/ CONSTRUÇÃO | G – CANCELADO | H – "AS BUILT" | I – P/ DETALHAMENTO FORNECEDORES | |

| SETOR | DATA/DATE | CONFERIDO/CHECKED | APROVADO/APPROVED | FORMATO |
|---|---|---|---|---|
| INDUSTRIAL | 16/11/2020 | FELIPE DE QUADROS | FELIPE DE QUADROS | DWG |

ARQUIVO CAD/CAD FILE ID
0000 – PROJETO SPDA EDIFICAÇÃO CENTRAL DE GLP – REV00

TIPO: PROJETO EXECUTIVO
PROJETO SPDA
EDIFICAÇÃO CENTRAL DE GLP

FOLHA: 01/01

REVISÃO: 00

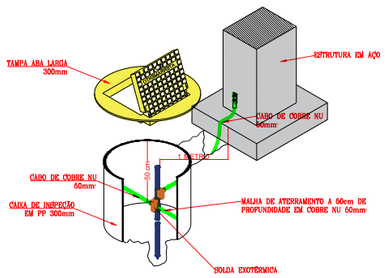
CODIFICAÇÃO: 571488/2020–Rev00

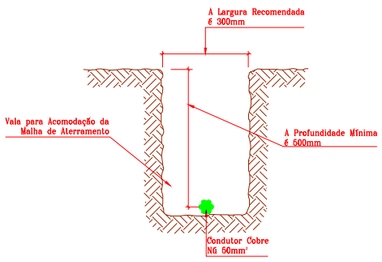
ESCALA: 1:1

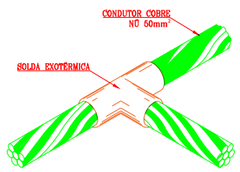
OBRA: PROJETO SPDA DA EDIFICAÇÃO CENTRAL GLP

LOCAL: RUA DAS LAMENTAÇÕES, 0000 – CENTRO
CAXIAS DO SUL – RS

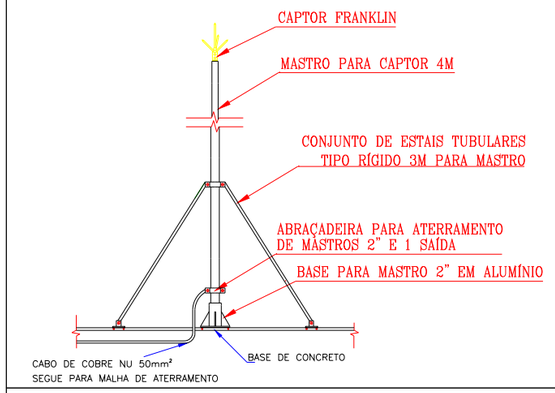
PROPRIETARIO: EMPRESA AAAA



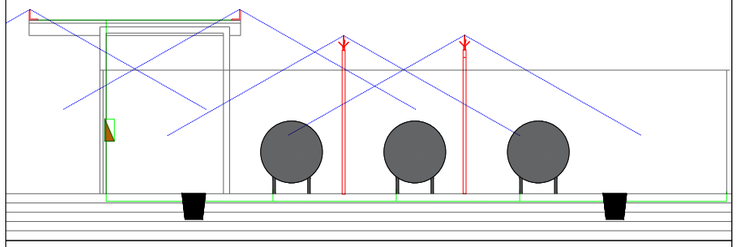



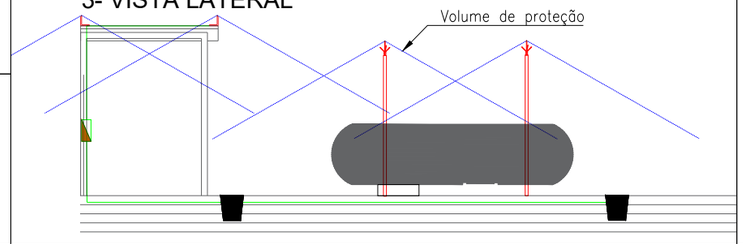

INSTALAÇÃO DE CAPTOR FRNAKLIN




2- VISTA FRONTAL



3- VISTA LATERAL




SIMBOLOGIA

| | |
|---|---|
| | CAIXA DE INSPEÇÃO PP 300X400mm |
| | PAINEL ATERRAMENTO |
| | CONDUTOR NÚ COBRE 50 mm² |

EMPRESA AAAA
PROPRIETÁRIO

Universidade do Vale do Taquari – Univates
Av. Avelino Talino, 171– B. Universitário – Lajeado
FONE: 0800 7 07 08 09
E–MAIL: felipe.quadros@universo.univates.br

Xxxxxxxx Xxxxxxx
ENGENHEIRO ELETRICISTA
CREA: RS000000

TODOS OS DIREITOS ESTÃO RESERVADOS E PROTEGIDOS POR LEI. NENHUMA PARTE DESTE DESENHO DEVE SER APROPRIADA, COPIADA, REPRODUZIDA POR QUALQUER MEIO OU REPASSADA A TERCEIROS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA UNIVATES.

DIREITOS AUTORAIS RESERVADOS. – DECRETO FEDERAL Nº 23.569 DE 11/12/33. – LEI FEDERAL Nº 5.194 DE 24/12/66. – LEI FEDERAL Nº 5.988/73. (REGULAMENTA O DIREITO AUTORAL) RESOLUÇÃO Nº 205 DE 30/12/70 DO CONFEA. (ÉTICA PROFISSIONAL) – RESOLUÇÃO Nº 218 DE 29/06/73 DO CONFEA (ATRIBUIÇÕES PROFISSIONAIS) – RESOLUÇÃO Nº 221 DE 29/08/74 DO CONFEA (AO AUTOR DO PROJETO CABE O DIREITO DE VISTORIAR PERIODICAMENTE A EXECUÇÃO DA OBRA).

A3