

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA**

**PEDRO PAULO PIZZOQUERO**

**PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO  
CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: UM ESTUDO DE CASO**

**ILHA SOLTEIRA**

**2023**

**PEDRO PAULO PIZZOQUERO**

**PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA  
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Graduação apresentado à  
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira -  
UNESP como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

**Prof. Dr. Fábio Bertequini Leão**  
**Orientador**

**ILHA SOLTEIRA**

**2023**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P695p Pizzoquero, Pedro Paulo.  
Projeto e dimensionamento de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas: um estudo de caso / Pedro Paulo Pizzoquero. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023  
127 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Fábio Bertequini Leão

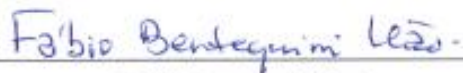
Inclui bibliografia

1. Spda. 2. Aterramento elétrico. 3. Descargas atmosféricas.

  
Raiane da Silva Santos  
Supervisora Técnica de Seção  
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação  
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação  
CRB/8 - 9999

## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos três dias do mês de julho do ano de dois mil e vinte e três, o discente **Pedro Paulo Pizzoquero**, matriculado sob o nº 172054664, tendo como banca examinadora seu orientador, o *Prof. Dr. Fábio Bertequini Leão*, o *Doutorando Rafael Augusto de Araujo* e a *Doutoranda Elis Caroline de Souza Trindade*, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "**Projeto e Dimensionamento de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas: Um Estudo de Caso**" obtendo a nota 10 (Dez) e conceito Aprovado.



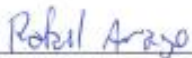
Fábio Bertequini Leão

- Orientador -



Pedro Paulo Pizzoquero

- Discente -



Rafael Augusto de Araujo

- Membro da Banca -



Elis Caroline de Souza Trindade

- Membro da Banca -

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Deus e a toda minha família. Aos meus pais, Wantuildes e Magda pelo apoio incondicional. Aos meus avós, por todo amor e carinho, em especial ao Ralf, por ter me entusiasmado pela engenharia. À minha irmã, Ana Paula, pelo incessante incentivo da conclusão deste trabalho.

À Ana Julia, por estar sempre ao meu lado.

Dedico também para todos os docentes que estiveram presentes na minha trajetória até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

A toda equipe da Condutiva Engenharia, ao Eng. Edson Dalla Libera, pela oportunidade de participar da elaboração do projeto que deu origem a este estudo de caso, e por todo conhecimento compartilhado. Agradeço também ao Wagner e ao Felipe pela prestatividade e pelo companheirismo.

Ao Professor Fábio, meus agradecimentos por abraçar este trabalho e pelas valiosas horas dedicadas na orientação.

## RESUMO

Neste trabalho, aborda-se os conceitos essenciais, métodos e melhores práticas para a implementação de um sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (PDA). Como estudo de caso, será apresentada a solução projetada para um galpão de estocagem em uma indústria localizada na cidade de Americana, estado de São Paulo. Nesta indústria, após uma inspeção em todo sistema de PDA, constatou-se diversas não-conformidades no SPDA existente do prédio em questão, além de não possuir sistemas de supressão de surtos na linha de energia conectada. Por esta razão, constatou-se a necessidade de realizar um projeto completo de PDA para adequar a estrutura perante as normas vigentes. Este projeto possui determinadas considerações que o tornam ímpar: foi exigido que os instaladores não poderiam andar sobre a cobertura do prédio e há a possibilidade de aproveitamento de parte do sistema existente. Serão apresentadas todas as considerações de projetos e toda a inspeção realizada a fim de realizar um projeto que atenda às necessidades do cliente e as exigências perante as normas técnicas aplicáveis.

**Palavras-chave:** SPDA. Aterramento elétrico. Descargas atmosféricas.

## **ABSTRACT**

In this undergraduate final project, essential concepts, methods, and best practices for implementing a Lightning Protection (LP) and grounding system are discussed. As a case study, a solution designed for a warehouse in an industry located in the city of Americana (Brazil) will be presented. Upon inspecting the entire LP system, several non-conformities were found in the existing Lightning Protection System (LPS) of the building that is the subject of this study, in addition to the absence of surge protection devices in the connected power line. For this reason, a complete LP project was necessary to adapt the structure to current standards. This project has certain considerations that make it unique: it was required that the installers could not walk on the roof of the building, and there is the possibility of using part of the existing system. All project considerations and all the inspections carried out will be presented to elaborate a project that meets the client's needs and standards requirements.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Ilustração do experimento realizado por Dalibard .....                                               | 20 |
| Figura 2 – O experimento da pipa de Franklin.....                                                               | 21 |
| Figura 3 – Caminho dos canais precursores da descarga atmosférica.....                                          | 22 |
| Figura 4 – Tipos de descargas atmosféricas .....                                                                | 23 |
| Figura 5 – Associação dos efeitos físicos das descargas com os parâmetros.....                                  | 26 |
| Figura 6 – Forma de onda da componente curta da descarga atmosférica .....                                      | 26 |
| Figura 7 – Forma de onda da componente longa da descarga atmosférica .....                                      | 27 |
| Figura 8 – Possíveis componentes de descargas atmosféricas descendentes .....                                   | 30 |
| Figura 9 – Possíveis componentes de descargas atmosféricas ascendentes .....                                    | 30 |
| Figura 10 – Casa atingida por descarga atmosférica .....                                                        | 32 |
| Figura 11 – Materiais típicos de um sistema de aterramento não natural .....                                    | 33 |
| Figura 12 – Disposição das hastes no método de Werner .....                                                     | 35 |
| Figura 13 – Tensão de passo ocasionada por uma descarga atmosférica .....                                       | 37 |
| Figura 14 – Tensão de passo – Circuito equivalente .....                                                        | 38 |
| Figura 15 – Tensão de toque – Circuito equivalente .....                                                        | 39 |
| Figura 16 – Conexões entre os cadernos da NBR 5419 .....                                                        | 41 |
| Figura 17 – Procedimento para decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas de proteção ..... | 44 |
| Figura 18 – Cobertura feita de telhas galvanizadas .....                                                        | 49 |
| Figura 19 – Escada tipo marinho.....                                                                            | 50 |
| Figura 20 – Captor Franklin .....                                                                               | 51 |
| Figura 21 – Minicaptor .....                                                                                    | 51 |
| Figura 22 – Caixa de inspeção suspensa .....                                                                    | 54 |
| Figura 23 – Ilustração de um eletrodo de aterramento em anel .....                                              | 55 |
| Figura 24 – Comprimento mínimo $l_1$ do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA.....             | 56 |
| Figura 25 – Esquema TN-S .....                                                                                  | 58 |
| Figura 26 – Esquema TN-C.....                                                                                   | 59 |
| Figura 27 – Esquema TN-C-S .....                                                                                | 59 |
| Figura 28 – Esquema TT .....                                                                                    | 60 |
| Figura 29 – Esquema IT .....                                                                                    | 60 |
| Figura 30 – Esquema 1 de conexão de DPS .....                                                                   | 62 |

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 31 – Esquema 2 de conexão de DPS .....                                                                                         | 63  |
| Figura 32 – Esquema 3 de conexão de DPS .....                                                                                         | 63  |
| Figura 33 – Demonstração da fragilidade do esquema 2 em instalações com aterramento TT64                                              |     |
| Figura 34 – Microhmímetro Megabras MPK 254 .....                                                                                      | 68  |
| Figura 35 – Medição da resistividade do solo – forma incorreta .....                                                                  | 69  |
| Figura 36 – Medição da resistividade do solo – forma correta .....                                                                    | 69  |
| Figura 37 – Tela Inicial do Software <i>Tupan</i> .....                                                                               | 71  |
| Figura 38 – Software <i>Tupan</i> : aba “Dados Técnicos” .....                                                                        | 72  |
| Figura 39 – Software <i>Tupan</i> : aba “Outros Dados” .....                                                                          | 73  |
| Figura 40 – Software <i>Tupan</i> : aba “Resultado” .....                                                                             | 74  |
| Figura 41 – Software <i>Tupan</i> : aba “Zonas” .....                                                                                 | 74  |
| Figura 42 – Software <i>Tupan</i> : aba “Avaliação de Custo” .....                                                                    | 75  |
| Figura 43 – Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra<br>sobrecorrentes .....                                | 79  |
| Figura 44 – Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS.....                                                            | 80  |
| Figura 45 – Planta baixa do prédio .....                                                                                              | 84  |
| Figura 46 – Vista frontal do prédio .....                                                                                             | 84  |
| Figura 47 – Relé Fotocélula próximo ao condutor de descida .....                                                                      | 85  |
| Figura 48 – Trena a Laser.....                                                                                                        | 86  |
| Figura 49 – Planta baixa indicando os PMA do local .....                                                                              | 87  |
| Figura 50 – Medição da Continuidade do Eletrodo de Aterramento.....                                                                   | 88  |
| Figura 51 – Densidade de descargas atmosféricas $N_G$ – Mapa da região Sudeste (descargas<br>atmosféricas/km <sup>2</sup> /ano) ..... | 90  |
| Figura 52 – Área de exposição equivalente da estrutura principal.....                                                                 | 91  |
| Figura 53 – Estudo preliminar – Método da esfera rolante .....                                                                        | 97  |
| Figura 54 – Estudo preliminar – Método do ângulo de proteção .....                                                                    | 97  |
| Figura 55 – Detalhe da fixação dos mastros.....                                                                                       | 99  |
| Figura 56 – Detalhe da fixação dos captadores instalados nas colunas 1, 25, 26 e 50.....                                              | 100 |
| Figura 57 – Proteção mecânica para os eletrodutos das descidas na área voltada para o pátio<br>.....                                  | 101 |
| Figura 58 – Estrutura metálica próxima a descida .....                                                                                | 102 |
| Figura 59 – Detalhe da instalação do sistema de captação e descida na coluna 1.....                                                   | 103 |
| Figura 60 – Emenda de condutores utilizando conectores à compressão .....                                                             | 104 |
| Figura 61 – Trecho do eletrodo instalado na parte interna do prédio.....                                                              | 105 |

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 62 – Esquema de conexão dos DPS na entrada da linha conectada.....           | 107 |
| Figura 63 – Modelo de DPS escolhido para proteger a linha conectada.....            | 107 |
| Figura 64 – Esquema de instalação do DPS na entrada da linha conectada.....         | 109 |
| Figura 65 – Esquema de conexão dos DPS no QDF .....                                 | 110 |
| Figura 66 – Modelo de DPS escolhido para proteger o QDF e circuitos à jusante ..... | 110 |
| Figura 67 – Esquema de instalação do DPS no QDF .....                               | 111 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 – Tipos de descargas atmosféricas.....                                                                                     | 23  |
| Tabela 2 – Valores de probabilidade $P$ em função da corrente $I$ da descarga atmosférica .....                                     | 28  |
| Tabela 3 – Definição de parâmetros utilizados para descargas atmosféricas.....                                                      | 29  |
| Tabela 4 – Resistividade de diferentes tipos de solo .....                                                                          | 35  |
| Tabela 5 – Efeito das descargas atmosféricas por tipo/uso de edificação .....                                                       | 42  |
| Tabela 6 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto .....                                 | 47  |
| Tabela 7 – Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura .....                                 | 47  |
| Tabela 8 – Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistemas de proteção .....                               | 49  |
| Tabela 9 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA..... | 52  |
| Tabela 10 – Valores típicos de distância entre as descidas de um SPDA .....                                                         | 53  |
| Tabela 11 – Diagrama de Gantt.....                                                                                                  | 66  |
| Tabela 12 – Valor mínimo de $U_C$ exigível do DPS em função do esquema de aterramento ...                                           | 77  |
| Tabela 13 – Suportabilidade a impulso exigível dos componentes da instalação .....                                                  | 78  |
| Tabela 14 – Exemplo de uma Lista de Materiais .....                                                                                 | 82  |
| Tabela 15 – Valores obtidos na medição de continuidade no eletrodo de aterramento .....                                             | 88  |
| Tabela 16 – Resultado da análise de risco inicial.....                                                                              | 92  |
| Tabela 17 – Resultado da análise de risco a ser seguida .....                                                                       | 94  |
| Tabela 18 – Ângulo de proteção obtido para a estrutura a ser protegida .....                                                        | 97  |
| Tabela 19 – Dados técnicos do DPS a ser conectado na entrada .....                                                                  | 108 |
| Tabela 20 – Dados técnicos do DPS a ser instalado no QDF.....                                                                       | 111 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|      |                                                                                        |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas                                               |
| BEP  | Barramento de Equipotencialização Principal                                            |
| CAD  | <i>Computer Aided Design</i>                                                           |
| DPS  | Dispositivo de Proteção contra Surtos                                                  |
| DR   | Diferencial Residual                                                                   |
| IEC  | <i>International Electrotechnical Commission</i>                                       |
| LEMP | <i>Lightning Electromagnetic Pulse</i>                                                 |
| MPS  | Medidas de Proteção contra Surtos                                                      |
| NBR  | Norma Brasileira                                                                       |
| PDA  | Proteção contra Descargas Atmosféricas                                                 |
| PE   | <i>Protection Earthed conductor</i> (Condutor de Proteção)                             |
| PEN  | <i>Protection Earthed Neutral conductor</i> (Condutor de Neutro e Proteção combinados) |
| SPDA | Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas                                      |

## SUMÁRIO

|          |                                                                                                                                                  |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                                          | <b>17</b> |
| <b>2</b> | <b>CONCEPÇÃO E PROJETO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA<br/>DESCARGAS ATMOSFÉRICAS .....</b>                                                       | <b>20</b> |
| 2.1      | INTRODUÇÃO .....                                                                                                                                 | 20        |
| 2.2      | FORMAÇÃO DA DESCARGA ATMOSFÉRICA .....                                                                                                           | 22        |
| 2.3      | A DESCARGA ATMOSFÉRICA: PARÂMETROS E EFEITOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE<br>UM SISTEMA DE PROTEÇÃO .....                                           | 25        |
| 2.4      | PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS .....                                                                                                     | 31        |
| 2.4.1    | EFEITOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM EDIFICAÇÕES.....                                                                                            | 31        |
| 2.5      | ATERRAMENTO ELÉTRICO .....                                                                                                                       | 33        |
| 2.5.1    | IMPORTÂNCIA DO ATERRAMENTO ELÉTRICO NO SPDA .....                                                                                                | 34        |
| 2.5.2    | MEDIÇÃO DE RESISTIVIDADE E ESTRATIFICAÇÃO DO SOLO.....                                                                                           | 34        |
| 2.5.3    | TENSÕES DE PASSO .....                                                                                                                           | 37        |
| 2.5.4    | TENSÕES DE TOQUE.....                                                                                                                            | 39        |
| 2.6      | NORMAS BRASILEIRAS APLICÁVEIS.....                                                                                                               | 40        |
| 2.6.1    | ABNT NBR 5419.....                                                                                                                               | 40        |
| 2.6.2    | 5419 – 1: PRINCÍPIOS GERAIS.....                                                                                                                 | 40        |
| 2.6.3    | 5419 – 2: GERENCIAMENTO DE RISCO.....                                                                                                            | 43        |
| 2.6.4    | 5419 – 3: DANOS FÍSICOS A ESTRUTURA E PERIGOS À VIDA.....                                                                                        | 48        |
| 2.6.5    | 5419 – 4: SISTEMAS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS INTERNOS NA ESTRUTURA .....                                                                           | 56        |
| 2.6.6    | ABNT NBR 5410: INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO.....                                                                                        | 57        |
| 2.6.7    | ABNT NBR 7117-1: PARÂMETROS DO SOLO PARA PROJETOS DE ATERRAMENTOS ELÉTRICOS –<br>PARTE 1: MEDIÇÃO DA RESISTIVIDADE E MODELAGEM GEOELÉTRICA ..... | 64        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE UM<br/>SISTEMA DE PDA .....</b>                                                           | <b>66</b> |
| 3.1      | CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DO TRABALHO .....                                                                                                         | 66        |
| 3.2      | LEVANTAMENTO DE DADOS.....                                                                                                                       | 67        |
| 3.2.1    | LEVANTAMENTO DE DOCUMENTAÇÃO EXISTENTE.....                                                                                                      | 67        |
| 3.2.2    | INSPEÇÃO VISUAL .....                                                                                                                            | 67        |
| 3.2.3    | MEDIÇÃO DE CONTINUIDADE NO ELETRODO DE ATERRAMENTO EXISTENTE.....                                                                                | 67        |
| 3.3      | ANÁLISE DE RISCOS.....                                                                                                                           | 71        |
| 3.4      | ELABORAÇÃO DO SPDA.....                                                                                                                          | 76        |
| 3.5      | ELABORAÇÃO DAS MPS .....                                                                                                                         | 77        |
| 3.6      | MEMORIAL DESCRITIVO.....                                                                                                                         | 81        |

|          |                                                                                                       |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.7      | LISTA DE MATERIAIS.....                                                                               | 82         |
| <b>4</b> | <b>ESTUDO DE CASO: PROJETO DE UM SISTEMA DE PDA PARA UMA<br/>INSTALAÇÃO ELÉTRICA INDUSTRIAL .....</b> | <b>83</b>  |
| 4.1      | CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E APRESENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO .....                                       | 83         |
| 4.2      | LEVANTAMENTO DE DADOS DO LOCAL .....                                                                  | 86         |
| 4.3      | APROVEITAMENTO DE PARTE DO SISTEMA DE ATERRAMENTO EXISTENTE .....                                     | 87         |
| 4.4      | ANÁLISE DE RISCO .....                                                                                | 90         |
| 4.4.1    | DENSIDADE DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NG:.....                                                          | 90         |
| 4.4.2    | ÁREA DE EXPOSIÇÃO EQUIVALENTE DA ESTRUTURA PRINCIPAL $A_D$ .....                                      | 91         |
| 4.4.3    | ATRIBUTOS DA LINHA DE ENERGIA CONECTADA .....                                                         | 91         |
| 4.4.4    | ATRIBUTOS DA LINHA DE TELECOMUNICAÇÕES CONECTADA.....                                                 | 92         |
| 4.4.5    | RISCO DE INCÊNDIO OU EXPLOÇÃO (PARA ÁREAS CLASSIFICADAS).....                                         | 92         |
| 4.4.6    | NÚMERO DE PESSOAS NO LOCAL .....                                                                      | 92         |
| 4.4.7    | RESULTADOS DAS ANÁLISES DE RISCO .....                                                                | 92         |
| 4.5      | PROJETO DO SPDA.....                                                                                  | 96         |
| 4.5.1    | SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO .....                                                                          | 96         |
| 4.5.2    | SUBSISTEMA DE DESCIDAS .....                                                                          | 100        |
| 4.5.3    | SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO .....                                                                       | 103        |
| 4.5.4    | DETALHES TÍPICOS PARA MONTAGEM .....                                                                  | 105        |
| 4.6      | PROJETO DAS MPS .....                                                                                 | 106        |
| 4.6.1    | CONJUNTO DE DPS A SER INSTALADO NA ENTRADA DE LINHA DE ENERGIA .....                                  | 106        |
| 4.6.2    | CONJUNTO DE DPS A SER INSTALADO NO QDF.....                                                           | 109        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>                                                                                 | <b>112</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                                               | <b>114</b> |
|          | <b>ANEXO A - CHECKLIST – PDA .....</b>                                                                | <b>118</b> |
|          | <b>ANEXO B – PROJETO: PLANTA BAIXA .....</b>                                                          | <b>122</b> |
|          | <b>ANEXO C – PROJETO: ATERRAMENTO.....</b>                                                            | <b>123</b> |
|          | <b>ANEXO D – PROJETO: CAPTAÇÃO .....</b>                                                              | <b>124</b> |
|          | <b>ANEXO E – PROJETO: VISTAS LATERAIS.....</b>                                                        | <b>125</b> |
|          | <b>ANEXO F – PROJETO: ZONAS DE PROTEÇÃO .....</b>                                                     | <b>126</b> |
|          | <b>ANEXO G – PROJETO: DETALHES TÍPICOS .....</b>                                                      | <b>127</b> |





## 1 INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas estão presentes em nosso planeta antes do surgimento da vida. Para a humanidade foi sempre objeto de fascínio, admiração e medo - quase sempre associada a deuses e figuras mitológicas. Foi apenas no século XVIII que a comunidade científica comprovou que a natureza do fenômeno é elétrica, através de experimentos propostos e realizados por Benjamin Franklin. À época, os cientistas tinham a hipótese de que os raios eram descargas elétricas, tendo em vista a semelhança visual com as descargas que eram criadas em laboratório. Franklin acreditava nessa hipótese e antes mesmo de prová-la já havia criado o sistema de para-raios. No ano de 1752, Franklin colocou à prova um de seus experimentos: empinar uma pipa no meio de uma tempestade de raios na tentativa de atrair uma descarga atmosférica para carregar uma Garrafa de Leiden. Este experimento, além de ter comprovado a hipótese inicial, também foi precursor de diversas vertentes de estudos, entre elas a Proteção contra Descargas Atmosféricas.

Apesar de muito se ter evoluído nessa área de estudo desde Franklin, as descargas atmosféricas continuam causando danos e percas irreparáveis. O Brasil é o país recordista na incidência de descargas atmosféricas, com cerca de 77,8 milhões de descargas por ano. No número de vítimas das descargas, são cerca de 110 pessoas por ano. Esses fatos destacam a importância que deve ter as proteções contra descargas atmosféricas das edificações, sejam elas novas ou já existentes (INPE, 2021).

Tendo em vista os riscos que este fenômeno apresenta para a sociedade, o projeto e construção de SPDA é normatizado no Brasil desde a década de 1950 e as prescrições mais atualizadas estão contidas na NBR 5419 – Proteção contra descargas atmosféricas. Outras normas a complementam neste assunto, como a NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão. O estado da arte na engenharia não pode evitar a incidência de uma descarga atmosférica numa edificação. No entanto, o objetivo é garantir que, na ocorrência deste evento, suas cargas possam ser conduzidas e dissipadas no solo com segurança, sem comprometer a estrutura, as pessoas, os animais e os dispositivos elétricos e eletrônicos no local. Todos os métodos e tecnologias estudados e testados são definidos nas normas técnicas. Quando aplicadas corretamente, essas normas asseguram uma proteção eficiente.

O objeto de estudo deste trabalho é um galpão de estocagem industrial localizado na cidade de Americana, São Paulo. Durante uma inspeção periódica realizada nos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas da planta foram identificadas não-conformidades no prédio em questão. Este trabalho tem como objetivo central apresentar a proposta feita para a

adequação deste sistema e todo o processo envolvido para a solução do projeto. Para isso o trabalho terá outros 3 objetivos secundários:

- a) Desenvolver toda a metodologia envolvida em cada etapa do projeto;
- b) Realizar uma análise de risco no prédio que irá receber a proteção e determinar qual os sistemas e dispositivos que deverão ser implementados para reduzir os riscos a níveis toleráveis;
- c) Projetar uma solução que contemple um sistema de PDA completo, de modo a proteger a estrutura, atender aos requisitos normativos, exigências do cliente e que seja financeiramente viável.

Para isto, o trabalho é dividido em 5 capítulos como segue:

O Capítulo 2 apresenta uma breve contextualização histórica sobre o surgimento dos estudos acerca das descargas atmosféricas no século XVIII, destacando a importância de Benjamin Franklin nesse contexto.

O capítulo 3 traz os fundamentos teóricos e requisitos normativos utilizados para estudo e desenvolvimento deste trabalho. Nos subtópicos do mesmo capítulo, é discutido inicialmente sobre as descargas atmosférica, sua formação e seus tipos, mais adiante faz-se uma abordagem da engenharia a respeito delas, com os parâmetros envolvidos no desenvolvimento dos sistemas de proteção. Aborda-se a respeito do aterramento elétrico, que é parte fundamental de um sistema de PDA, explora-se temas como a medição de resistividade do solo e tensões de toque e passo. Na última parte do capítulo, são apresentadas as principais normas relacionadas aos sistemas de proteções contra descargas atmosféricas, bem como os principais pontos que serão utilizados neste trabalho.

No capítulo 4 são apresentados os métodos envolvidos neste estudo de caso, iniciando com o planejamento para o desenvolvimento do projeto, a inspeção realizada no eletrodo de aterramento existente, a elaboração dos estudos, do projeto e da sua documentação.

No capítulo 5 é exposto todo o desenvolvimento prático do projeto. Os primeiros subtópicos buscam contextualizar o leitor a respeito da edificação e de todos os problemas que deverão ser corrigidos com este projeto. Em seguida, inicia-se a apresentação das etapas de projeto do sistema, primeiramente com a apresentação dos resultados dos estudos e em seguida com as especificações adotadas para cada parte do projeto de PDA.

No capítulo 6 são consolidadas as conclusões deste estudo de caso, através de uma comparação entre os objetivos traçados e os resultados propostos ao longo do texto para superá-los.

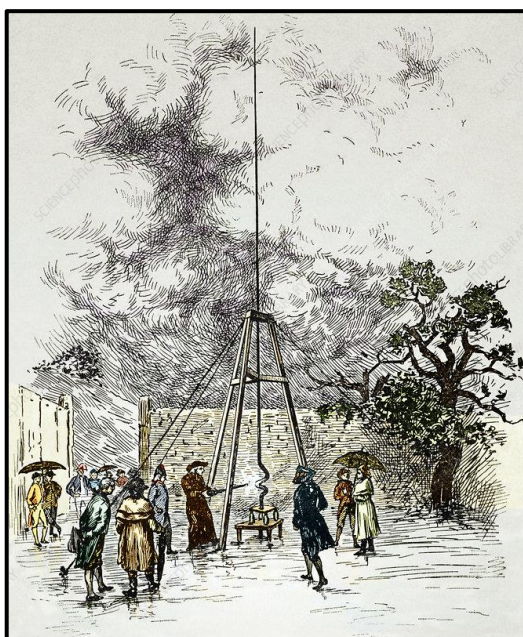
## 2 CONCEPÇÃO E PROJETO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

### 2.1 Introdução

Acredita-se que o fenômeno das descargas atmosféricas esteja presente na Terra há pelo menos três bilhões de anos, antes mesmo do surgimento da vida. É provável que as primeiras biomoléculas tenham surgido devido às descargas atmosféricas e com isso dado o início da vida na Terra (RAKOV e UMAN, 2003).

Por ser um fenômeno incompreendido, a humanidade sempre teve temor e fascínio, em especial nas civilizações antigas, em que os raios e trovões estavam incorporados na crença e na religião desses povos, até que no século XVIII começa a ser traçado o início das descobertas a respeito do fenômeno, quando Willian Wall esfregou dois pedaços de âmbar e ao ver faíscas saindo deles, notou semelhança entre elas e os relâmpagos (ELAT - INPE, 2022). A hipótese de que os relâmpagos possuíam natureza elétrica foi amplamente aceita pela comunidade científica da época. Em maio de 1752, em um experimento proposto por Benjamin Franklin e realizado por Thomas-François Dalibard em Marly-la-Ville na França, ele conseguiu extrair faíscas elétricas de uma haste metálica de 12 metros de altura, isolada do solo por garrafas. Desta forma foi possível provar que nuvens eram carregadas com cargas elétricas, conforme a hipótese de Franklin (THE FRANKLIN INSTITUTE, 2017).

Figura 1 – Ilustração do experimento realizado por Dalibard

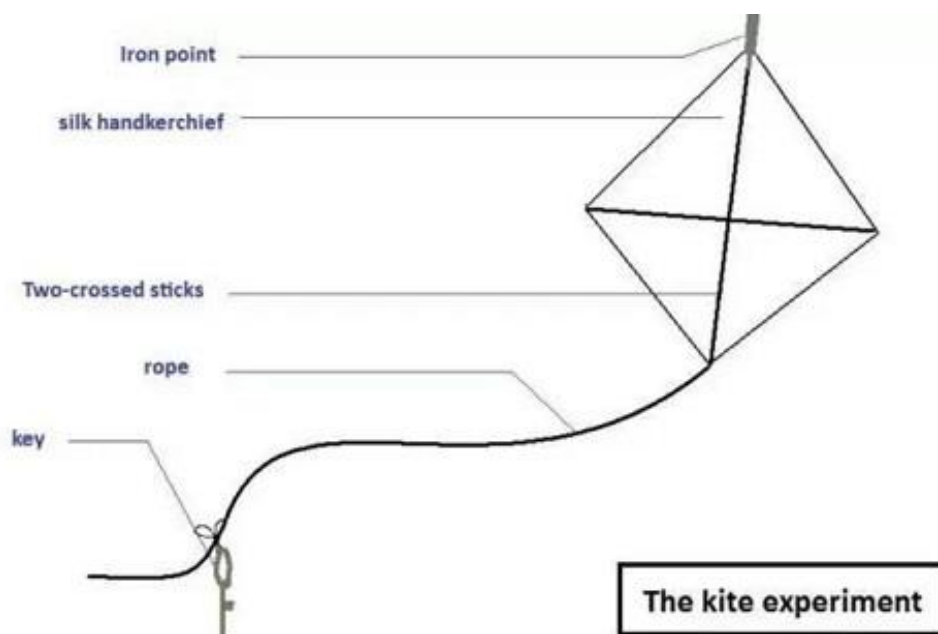


Fonte: (SCIENCE PHOTO LIBRARY, 2022)

Sem saber do sucesso de seu experimento na França, Franklin realizou seu famoso experimento na Filadélfia em junho de 1752, empinando uma pipa durante uma tempestade.

Franklin construiu uma pipa de seda com um fio pontiagudo no topo e amarrada por uma corda. Na outra extremidade da corda estava uma chave e amarrada a chave um fio de seda – este que seria utilizado por Franklin para controlar a pipa e deveria estar seco para evitar um acidente com a descarga atmosférica. Também amarrada à chave estava um fio metálico conectado a um Jarro de Leyden, um aparato com finalidade semelhante a um capacitor, que no experimento tem a função de ser carregado com as cargas geradas na atmosfera (BENJAMIN FRANKLIN HISTORICAL SOCIETY, 2022).

Figura 2 – O experimento da pipa de Franklin



Fonte: (BENJAMIN FRANKLIN HISTORICAL SOCIETY, 2022)

No experimento, presume-se que a pipa não foi diretamente atingida por uma descarga, já que isso poderia ser fatal para Franklin. No entanto, houve transferência de cargas da atmosfera para o Jarro de Leyden, pois em seu relato Franklin recebeu um choque ao tocar a chave. (BENJAMIN FRANKLIN HISTORICAL SOCIETY, 2022)

Assim, os experimentos realizados por Dalibard e Franklin puderam confirmar a hipótese inicial de que as descargas atmosféricas possuem natureza elétrica. Com essas descobertas, iniciou-se uma nova vertente de estudos na comunidade científica, trazendo novas abordagens a respeito.

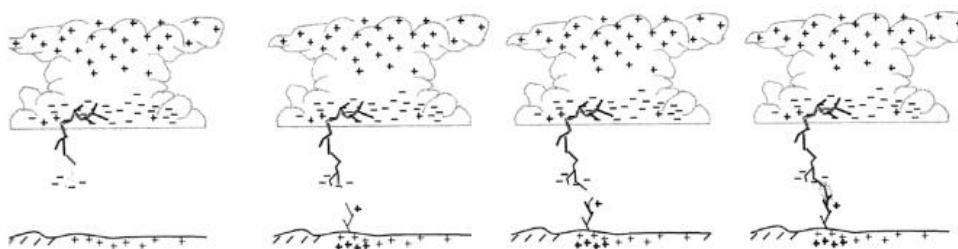
## 2.2 Formação da descarga atmosférica

A eletrificação das nuvens ainda é objeto de estudos. Não é totalmente conclusivo como elas se tornam carregadas, pois há diversos fatores que contribuem para este fenômeno, desde os fatores de ordem macroscópica até os de ordem microscópica. Porém, a teoria mais aceita atualmente para explicá-lo é que a fricção das partículas de água e gelo no interior das nuvens fazem surgir as cargas elétricas, necessárias para a formação das descargas (INPE, 2022). Discorre-se a seguir alguns conceitos introdutórios sobre as descargas atmosféricas.

Descargas elétricas, de modo geral, surgem quando um campo elétrico imposto por cargas elétricas existentes no sistema supera a capacidade de ruptura dielétrica do meio.

No caso das descargas atmosféricas, seu surgimento ocorre quando as cargas contidas na atmosfera impõem um campo elétrico que excede por volta de  $3\text{MV/m}$ , quebrando a rigidez dielétrica do ar. Após essa quebra, inicia-se o movimento dos elétrons da região com o surgimento de um canal ionizado (ROMERO, 2007). Em uma das pontas deste canal há uma grande concentração de cargas negativas, aumentando a intensidade do campo elétrico do local, resultando em descargas subsequentes, chamadas de líder escalonado. Conforme a descarga se aproxima do local de “destino” (nuvem ou solo) abre-se outro canal, vindo de encontro com a descarga principal formada por cargas de sinal oposto à da descarga inicial, chamado de líder ascendente. Com o encontro dos canais, fica estabelecido o caminho para a corrente elétrica, chamada de corrente de retorno – surge então a descarga atmosférica simples. Na Figura 3 é ilustrado o processo descrito (COUTINHO e ALTOÉ, 2003).

Figura 3 – Caminho dos canais precursores da descarga atmosférica



Fonte: (VISACRO FILHO, 2005)

Podem ocorrer, após a descarga simples, outras descargas, chamadas de descargas de retorno subsequente. Tipicamente podem ocorrer de 3 a 4 descargas subsequentes, porém há registros de uma dezena.

De modo geral, as descargas que transferem a carga negativa para o solo são denominadas descargas negativas, enquanto aquelas que transferem carga positiva para o solo são chamados de descargas positivas. O sentido de líder inicial ainda a classifica em descargas descendentes e ascendentes. Apresenta-se na Tabela 1 os quatro tipos de descargas atmosféricas possíveis e suas respectivas características. Na Figura 4 é ilustrado estes tipos.

Tabela 1 – Tipos de descargas atmosféricas

| CARGA    | DIREÇÃO     | CARACTERÍSTICA                                                                                                                                                                                             |
|----------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| POSITIVA | DESCENDENTE | O encontro dos canais se dá mais próximo ao solo. É um caso em que o topo (carregado positivamente) da nuvem se desloca em relação à base e se aproxima de alguma elevação, como uma montanha por exemplo. |
|          | ASCENDENTE  | Mesma situação anterior, porém, com o encontro de canais próximo à nuvem.                                                                                                                                  |
| NEGATIVA | DESCENDENTE | Os canais se encontram próximos à terra. A conexão ocorre entre a base da nuvem e o solo.                                                                                                                  |
|          | ASCENDENTE  | O encontro dos canais se dá mais próximo à nuvem, e a conexão acontece entre a base da nuvem (carregada negativamente) para a terra                                                                        |

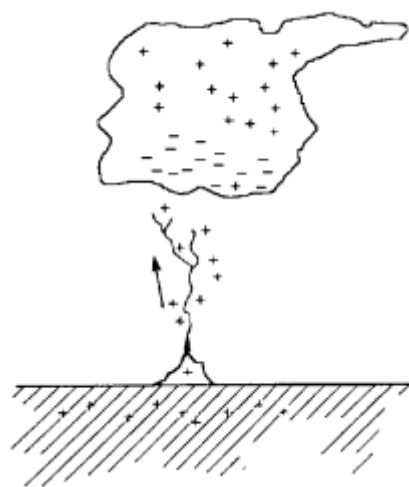
Fonte: (DANTAS, 2015)(adaptado)

Estatisticamente, das descargas descendentes, 90% das incidências são negativas e 10% são positivas. As descargas ascendentes são raras e ocorrem na maioria das vezes de edificações altas ou localizadas no topo de montanhas (RAKOV e UMAN, 2003).

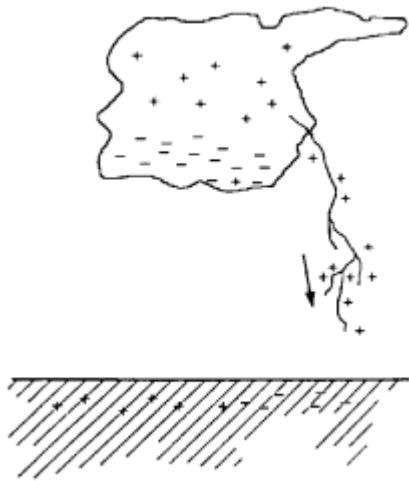
Figura 4 – Tipos de descargas atmosféricas



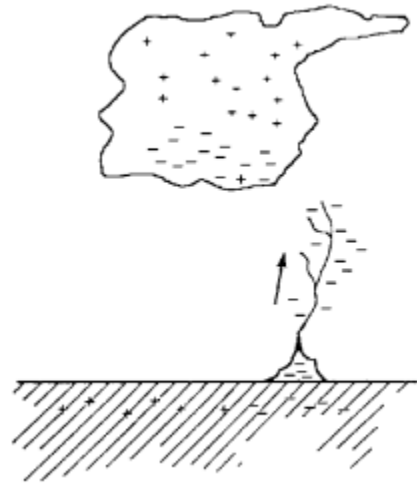
(a) Descarga negativa descendente



(b) Descarga negativa ascendente



(c) Descarga positiva descendente



(d) Descarga positiva ascendente

Fonte: (RAKOV e UMAN, 2003)



### 2.3 A descarga atmosférica: parâmetros e efeitos para o dimensionamento de um sistema de proteção

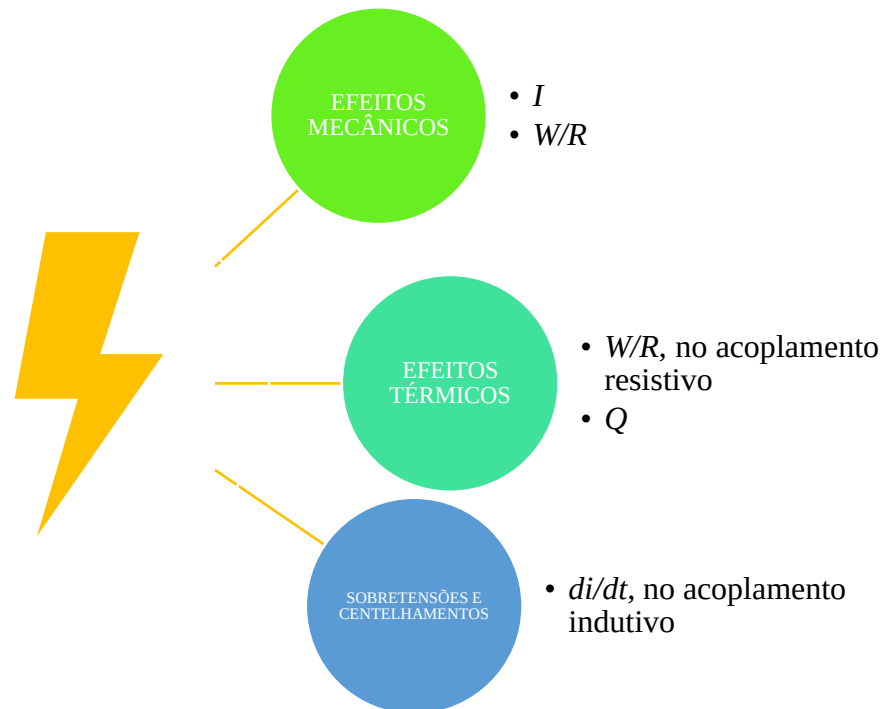
Para o dimensionamento dos materiais e componentes dos sistemas que irão fazer a proteção contra as descargas atmosféricas é fundamental conhecer o comportamento das descargas, especificar formas de onda e grandezas elétricas, dessa forma pode-se estabelecer a dimensão dos efeitos eletrodinâmicos que poderão ocorrer. Se tratando de um fenômeno natural e imprevisível, as grandezas especificadas por normas e grupos de estudo (ABNT NBR 5419, IEC 62305) possuem natureza estatística, que estão atrelados a uma Probabilidade  $P$ , um valor médio  $\mu$ , e uma dispersão  $\sigma_{log}$ .

Existem quatro parâmetros que se tornam dominantes para o dimensionamento dos sistemas de PDA: energia específica ( $W/R$ , medida em quilojoules por ohm -  $kJ/\Omega$ ), corrente de pico ( $I$ , em ampères), carga ( $Q$ , em coulombs) e a taxa média de inclinação ( $di/dt$ , em quiloampères por microssegundos -  $kA/\mu s$ ) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a)

Pode-se categorizar os quatro parâmetros em três categorias de efeitos físicos causados pelas descargas atmosféricas, Na Figura 5 é ilustrado o texto a seguir: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a) e (CIGRÉ, 2013).

- **Efeitos mecânicos:** estão relacionados com a corrente de pico ( $I$ ) e com a energia específica ( $W/R$ ). Este efeito mecânico é atribuído aos esforços físicos que ocorrem nos condutores do sistema de PDA.
- **Efeitos térmicos:** estão relacionados com a energia específica ( $W/R$ ) quando ocorre um acoplamento resistivo e com a carga ( $Q$ ) quando ocorrem centelhamentos na instalação. Os efeitos térmicos são importantes para estabelecer a quantidade de material (espessura ou seção) dos elementos que serão responsáveis para receber e direcionar a corrente da descarga. É desejável que os materiais suportem a corrente de impacto sem que ocorra fusão e a posterior inutilização deles.
- **Sobretensões e centelhamentos:** estão relacionados com a taxa média de inclinação ( $di/dt$ ) da frente de onda da corrente da descarga atmosférica no acoplamento indutivo.

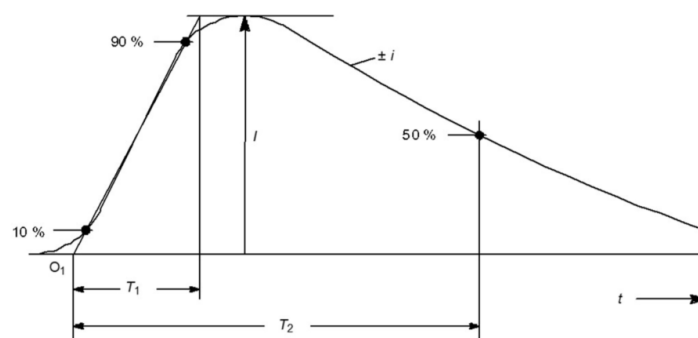
Figura 5 – Associação dos efeitos físicos das descargas com os parâmetros



Fonte: próprio autor

A análise gráfica do comportamento da descarga atmosférica também é essencial para realizar o dimensionamento de um sistema de PDA. Duas formas de onda são adotadas na parametrização: a componente curta da descarga atmosférica (Figura 6) que é parte de uma descarga atmosférica para a terra que corresponde a um impulso de corrente. Esta corrente tem um tempo para o meio valor de  $T_2$  tipicamente inferior a 2 ms e a componente longa da descarga atmosférica (Figura 7), que é parte de uma descarga atmosférica para a terra que corresponde a componente da corrente de continuidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a).

Figura 6 – Forma de onda da componente curta da descarga atmosférica

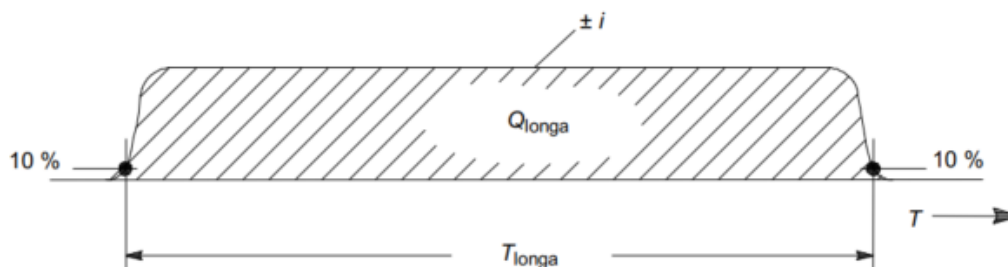


Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a)

A forma de onda apresentada na Figura 6 é interessante quando se está tratando da suportabilidade dos equipamentos que receberão a energia das descargas (direta ou indiretamente). Para estes casos, são padronizadas algumas curvas, sendo apresentadas as duas mais utilizadas nos projetos de PDA. A nomenclatura delas se dá pelos tempos  $T_1$  e  $T_2$  e é representada da seguinte forma:  $T_1 / T_2$ , onde os tempos estão na unidade de microssegundos:

- **10/350 - Impulso positivo e componente longa:** Quando se deseja realizar dimensionamentos através dos efeitos térmicos e mecânicos das descargas atmosféricas (efeitos de descargas diretas), são utilizados estes valores para  $T_1$  e  $T_2$ . Esses valores foram determinados a partir das descargas ascendentes que, para esta situação de efeitos diretos, apesar de serem menos frequentes, elas apresentam elevados valores de  $I$ ,  $Q$  e  $W/R$ , logo elas representam o pior caso.
- **8/20 – Primeiro impulso negativo:** O primeiro impulso negativo é o que gera maior influência nas tensões induzidas pela descarga atmosférica, portanto os efeitos desta onda típica serão utilizados quando se deseja dimensionar uma proteção contra os efeitos indiretos de uma descarga atmosférica.

Figura 7 – Forma de onda da componente longa da descarga atmosférica



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a)

Os valores de corrente  $I$  para as descargas atmosféricas e a probabilidade  $P$  de uma descarga com essa magnitude de corrente ocorrer são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de probabilidade  $P$  em função da corrente  $I$  da descarga atmosférica

| $I$ (kA) | $P$   |
|----------|-------|
| 0        | 1     |
| 3        | 0,99  |
| 5        | 0,95  |
| 10       | 0,9   |
| 20       | 0,8   |
| 30       | 0,6   |
| 35       | 0,5   |
| 40       | 0,4   |
| 50       | 0,3   |
| 60       | 0,2   |
| 80       | 0,1   |
| 100      | 0,05  |
| 150      | 0,02  |
| 200      | 0,01  |
| 300      | 0,005 |
| 400      | 0,002 |
| 600      | 0,001 |

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a)

Na Tabela 3 apresenta-se uma série de definições dos parâmetros contidos nas Figura 5, Figura 6 e Figura 7, e que serão importantes para o dimensionamento de um sistema de PDA.

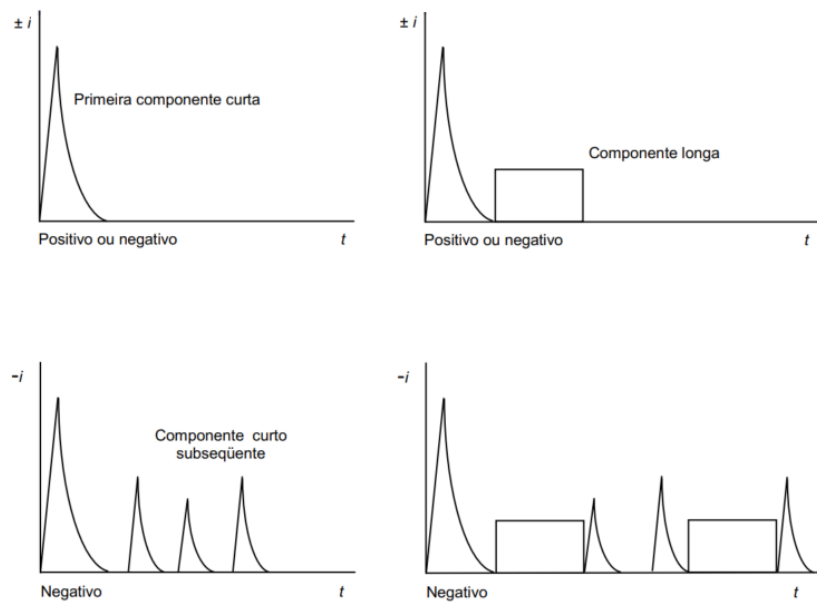
A descarga atmosférica poderá se manifestar em diferentes combinações de componentes curtas e longas. A NBR 5419-1 apresenta as possíveis combinações dos múltiplos de descargas atmosféricas, distinguindo entre descargas descendentes (Figura 8) e ascendentes (Figura 9) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a).

Tabela 3 – Definição de parâmetros utilizados para descargas atmosféricas

| Parâmetro                                                                                | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Valor de pico da corrente</b>                                                         | É o máximo valor da corrente da descarga atmosférica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Taxa média de variação da frente de onda do impulso de corrente</b>                   | Taxa média de variação da corrente em que sua frente de onda no intervalo entre os instantes que são atingidos são 10% e 90% do valor de pico.<br>NOTA: Este parâmetro é expresso pela diferença dos valores da corrente $\Delta i = i(t_2) - i(t_1)$ no início e no final do intervalo $\Delta t = t_2 - t_1$ , dividido pelo valor do intervalo $\Delta t$ . |
| <b>Tempo de frente de onda de corrente de impulso</b>                                    | Parâmetro virtual definido como 1,25 vezes o intervalo de tempo entre os instantes em que os valores de 10% a 90% do valor de pico são atingidos.                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Origem virtual da corrente de impulso (<math>O_1</math>)</b>                          | Ponto de intersecção com o eixo dos tempos de uma linha reta traçada através dos pontos de referência de 10% e 90% do valor de pico; ele precede em $0,1 T_1$ do instante no qual a corrente atinge 10% do seu valor de pico.                                                                                                                                  |
| <b>Tempo até o meio valor da cauda da onda de corrente de impulso (<math>T_2</math>)</b> | Parâmetro virtual definido como um intervalo de tempo entre a origem virtual $O_1$ e o instante no qual a corrente decresceu à metade do valor de pico.                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Duração da descarga atmosférica (<math>T</math>)</b>                                  | Intervalo de tempo durante o qual a corrente da descarga atmosférica flui no ponto de impacto.                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Duração da componente longa da descarga atmosférica (<math>T_{longa}</math>)</b>      | Intervalo de tempo durante o qual a corrente em uma descarga longa permanece entre 10% do valor de pico no início do crescimento da corrente de continuidade e 10% do valor de pico ao final do decréscimo dessa corrente (ver Figura 7).                                                                                                                      |
| <b>Carga de uma descarga atmosférica (<math>Q_{flash}</math>)</b>                        | Valor resultante da integral da corrente no tempo de uma descarga atmosférica.                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Carga do impulso (<math>Q_{curta}</math>)</b>                                         | Valor resultante da integral no tempo da corrente do impulso relacionado à descarga atmosférica.                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Carga da componente longa da descarga atmosférica (<math>Q_{longa}</math>)</b>        | Valor resultante da integral no tempo da componente longa da descarga atmosférica.                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Energia específica (<math>W/R</math>)</b>                                             | Valor resultante da integral da corrente ao quadrado da descarga atmosférica no tempo. Esse parâmetro representa a energia dissipada pela corrente da descarga atmosférica em uma resistência de valor unitário.                                                                                                                                               |
| <b>Energia específica de um impulso de corrente</b>                                      | Valor resultante da integral da corrente ao quadrado para a duração de uma descarga atmosférica curta. A energia específica da componente longa de uma descarga atmosférica é desprezível.                                                                                                                                                                     |

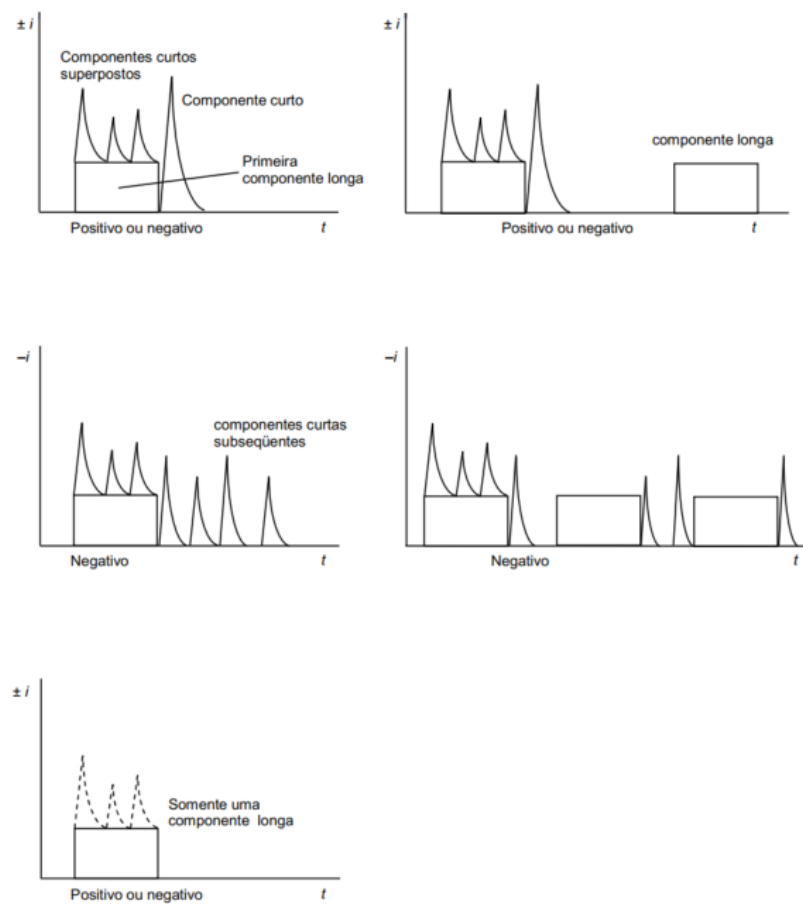
Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a)

Figura 8 – Possíveis componentes de descargas atmosféricas descendentes



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a)

Figura 9 – Possíveis componentes de descargas atmosféricas ascendentes



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a)

## **2.4 Proteção contra Descargas Atmosféricas**

Mesmo antes dos experimentos em Marly e na Filadelfia, Benjamin Franklin já havia proposto o uso de elementos metálicos na cobertura de edifícios interligados a hastes aterradas para a proteção contra descargas atmosféricas, com o intuito de que, se não é possível evitar que uma descarga atinja uma estrutura, que pelo menos então ela tenha um ponto preferencial para atingir e um caminho seguro para o escoamento até o solo. Sendo essa, até os dias atuais, a premissa da proteção contra descargas atmosféricas.

Mais tarde, em 1876, James Clerk Maxwell sugeriu que o sistema de Franklin atraia mais raios que a área circundante, sendo assim propôs um novo esquema de proteção para um armazém de pólvora, a ideia era que ele fosse completamente fechado com material metálico com espessura considerável, formando uma Gaiola de Faraday. A estrutura metálica poderia ou não ser aterrada, neste último caso haveria o centelhamento da estrutura para o solo. O efeito da Gaiola de Faraday está presente em aviões e carros e por isso os dois são considerados locais seguros durante tempestades (RAKOV e UMAN, 2003).

No Brasil, há uma norma específica para o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, a norma brasileira NBR 5419, onde ambos os métodos de proteção que foram propostos por Franklin e Maxwell estão presentes e possuem requisitos mínimos para serem empregados, trazendo segurança para as pessoas e a edificação. Este assunto será tratado com mais detalhes em **2.6.4.1**.

### **2.4.1 Efeitos de descargas atmosféricas em edificações**

Uma descarga atmosférica que atinge uma estrutura sem proteção, seja ela uma casa, um edifício ou estruturas metálicas sem um aterramento adequado poderão ser seriamente danificadas. Os efeitos eletrodinâmicos podem causar ruptura da alvenaria; telhados de materiais inflamáveis têm risco de serem incendiados e coberturas metálicas podem ser perfuradas.

Os efeitos indiretos, causados pelos campos eletromagnéticos induzidos pelas descargas podem se estender, danificando também os sistemas elétricos, eletrônicos e causando ferimentos aos ocupantes do local. Esses efeitos podem também atingir as estruturas e instalações vizinhas.

Na Figura 10 apresenta-se uma imagem de uma casa na região de Campos do Jordão (SP) com parte da cobertura destruída em decorrência de uma descarga atmosférica.

Figura 10 – Casa atingida por descarga atmosférica



Fonte: (G1, 2013)

Este tipo de dano pode ser severamente minimizado com o estudo e o emprego de um conjunto de medidas de Proteção contra Descargas Atmosféricas.



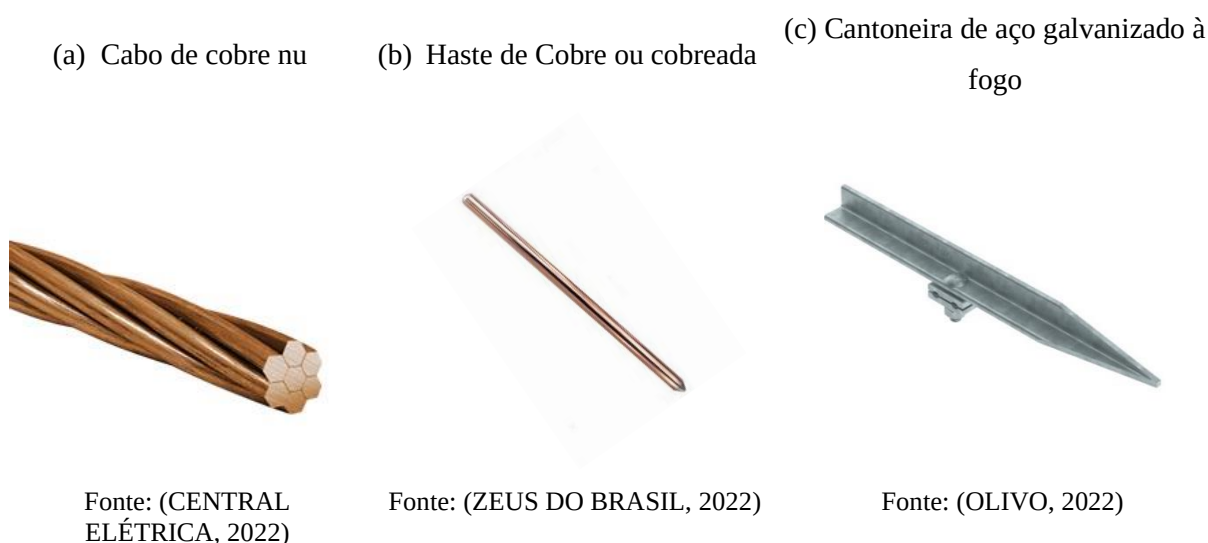
## 2.5 Aterramento Elétrico

Um aterramento elétrico é uma ligação elétrica proposital de outros sistemas ao solo. Visacro Filho (2020) apresenta esse sistema em três partes básicas:

- as conexões elétricas que ligam um ponto do sistema ao eletrodo;
- eletrodos de aterramento;
- solo que envolve os eletrodos.

O eletrodo de aterramento pode possuir formato diversificado, como cabos e hastes metálicos enterrados e poderão ser aproveitadas as ferragens das fundações de edificações, tal configuração é nomeada de eletrodo de aterramento natural, conforme definição da NBR 5419-3. Os materiais e seus formatos são diversos, porém os mais usuais, no caso de eletrodos não-naturais, são cabos e hastes de cobre ou cobreados e cantoneiras de aço galvanizado, conforme apresentados na Figura 11.

Figura 11 – Materiais típicos de um sistema de aterramento não natural



A topologia de um sistema de aterramento também poderá assumir diversos formatos, desde uma simples haste (utilizadas tipicamente em aterramentos de transformadores de distribuição, não recomendados pelas normas 5410 e 5419 em instalações prediais), estruturas de edificações (vigas, baldrames, colunas estacas etc.), até anéis e malhas de aterramento devidamente dimensionadas.

A utilidade do aterramento elétrico pode ser variada: em locais com sistemas eletrônicos e de instrumentação o aterramento é importante para a blindagem contra ruídos externos, nas edificações e nas indústrias o aterramento protege as pessoas de choques elétricos e descargas atmosféricas, como também protege as instalações elétricas, auxiliando

na sensibilização dos dispositivos de proteção; no sistema elétrico, o aterramento também sensibiliza as proteções e previne o surgimento de desequilíbrios e sobretensões na rede.

### **2.5.1 Importância do aterramento elétrico no SPDA**

Um sistema de aterramento é parte indissociável do SPDA, pois é a única forma de realizar o escoamento da corrente de uma descarga atmosférica. Portanto é preciso oferecer um aterramento eficaz na dispersão das cargas e seguro para as instalações e para as pessoas que estão abrigadas no local. Isto é possível seguindo métodos e as prescrições das normas aplicáveis.

Dependendo do nível de proteção requerido e das condições do local (como uso da edificação, presença de pessoas), são necessários estudos para avaliar a resistividade do solo e realizar um projeto do sistema de aterramento. Também é necessário estar atento quanto ao surgimento de tensões de passo perigosas que possam surgir quando o aterramento for solicitado, por exemplo, durante o escoamento da descarga atmosférica ou durante uma falta no sistema elétrico do local.

### **2.5.2 Medição de resistividade e estratificação do solo**

A resistividade do solo é uma variável muito importante quando está se tratando de um sistema de aterramento. Devido à grande heterogeneidade do solo, a resistividade é um fator que se altera em demasia e isso ocorre devido uma série de razões. Conforme Kindermann e Campagnolo (1995) e Visacro Filho (2020), elenca-se os principais parâmetros que influenciam a resistividade:

- Tipo de solo;
- Mistura de diversos tipos de solo;
- Estrutura geológica e estratificação em camadas;
- Teor de umidade;
- Temperatura;
- Compactação, pressão e granulometria do solo;
- Concentração e composição química dos sais dissolvidos na água retida.

Na Tabela 4 apresenta-se valores aproximados de resistividade para diferentes tipos de solo. Nota-se que os solos com maior concentração de umidade e menos compactos apresentam os menores valores de resistividade.

Tabela 4 – Resistividade de diferentes tipos de solo

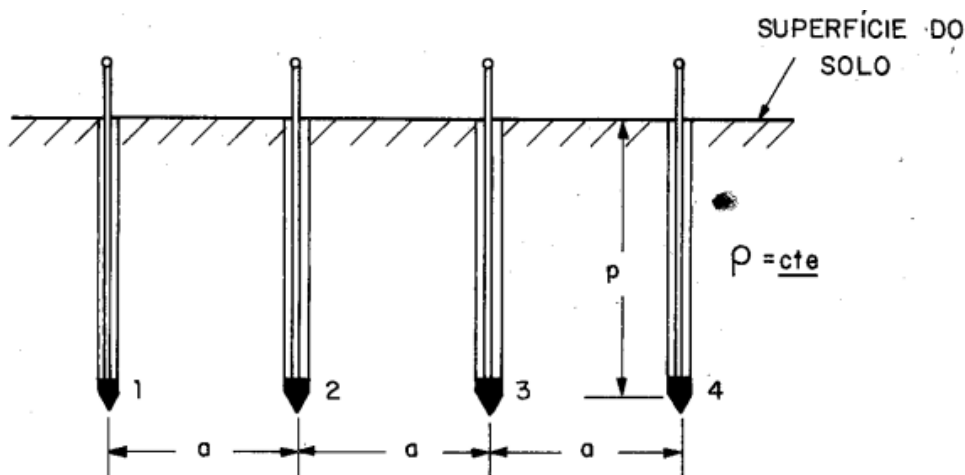
| <b>Tipo de solo</b>                | <b>Resistividade (<math>\Omega.m</math>)</b> |
|------------------------------------|----------------------------------------------|
| Lama                               | 5 a 100                                      |
| Terra de jardim com 50% de umidade | 140                                          |
| Terra de jardim com 20% de umidade | 480                                          |
| Argila seca                        | 1.500 a 5.000                                |
| Argila com 40% de umidade          | 80                                           |
| Argila com 20% de umidade          | 330                                          |
| Areia molhada                      | 1.300                                        |
| Areia seca                         | 3.000 a 8.000                                |
| Calcário compacto                  | 1.000 a 5.000                                |
| Granito                            | 1.500 a 10.000                               |

Fonte: (KINDERMANN e CAMPAGNOLO, 1995)

As medições de resistividade do solo são fator importante para a criação de sistemas de aterramento, pois é com os resultados deste procedimento que se poderá definir os arranjos e o dimensionamento dos materiais que serão utilizados, impactando diretamente no custo do projeto. Um mau dimensionamento poderá trazer custos desnecessários ou criar um sistema ineficiente ou ambos os casos.

O método mais conhecido e utilizado é o Método de Werner, este método busca determinar a resistividade do solo utilizando quatro hastes metálicas cravadas no solo, em linha reta, com uma mesma profundidade e um espaçamento uniforme entre elas, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Disposição das hastes no método de Werner



Fonte: (KINDERMANN e CAMPAGNOLO, 1995)

Configurado este arranjo em campo, aplica-se uma corrente de valor conhecido  $I$  na haste 1, que irá circular até a haste 4. A passagem desta corrente no solo irá ocasionar uma diferença de potencial entre as hastes 2 e 3, que será lida pelo instrumento utilizado. As tensões individuais nestas hastes, utilizando o método das imagens são apresentadas nas equações (2.1) e (2.2). A diferença de potencial entre as duas hastes é obtida na equação (2.3).

$$V_2 = \frac{\rho I}{4\pi} \left[ \frac{1}{a} + \frac{1}{\sqrt{a^2 + (2p)^2}} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + (2p)^2}} \right] \quad (2.1)$$

$$V_3 = \frac{\rho I}{4\pi} \left[ \frac{1}{2a} + \frac{1}{\sqrt{(2a)^2 + (2p)^2}} - \frac{1}{a} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + (2p)^2}} \right] \quad (2.2)$$

$$V_{23} = V_2 - V_3 = \frac{\rho I}{4\pi} \left[ \frac{1}{a} + \frac{2}{\sqrt{a^2 + (2p)^2}} - \frac{2}{\sqrt{(2a)^2 + (2p)^2}} \right] \quad (2.3)$$

Utilizando a Lei de Ohm, divide-se  $V_{23}$  pela corrente injetada  $I$ , dessa forma obtém-se a resistência do solo no trecho na equação (2.4).

$$R = \frac{V_{23}}{I} = \frac{\rho}{4\pi} \left[ \frac{1}{a} + \frac{2}{\sqrt{a^2 + (2p)^2}} - \frac{2}{\sqrt{(2a)^2 + (2p)^2}} \right] \quad (2.4)$$

Como o objeto de interesse é a resistividade  $\rho$ , isola-se ela na equação (2.5). Essa equação pode ser simplificada dependendo da relação entre o afastamento das hastes  $a$  e a profundidade  $p$ .

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2}{\sqrt{a^2 + (2p)^2}} - \frac{2}{\sqrt{(2a)^2 + (2p)^2}}} \quad (2.5)$$

Se a profundidade em que a haste foi cravada é maior que o espaçamento em vinte vezes, a equação (2.5) pode ser reduzida na equação (2.6).

$$\rho = 4\pi a R \quad (2.6)$$

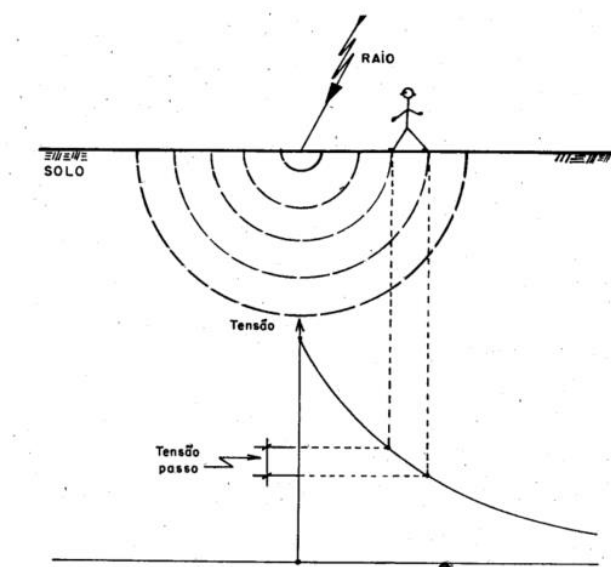
Se o espaçamento entre as hastes for maior que a profundidade cravada em vinte vezes, a equação (2.5) poderá ser reduzida a (2.7) (KINDERMANN e CAMPAGNOLO, 1995).

$$\rho = 2\pi a R \quad (2.7)$$

### 2.5.3 Tensões de Passo

A tensão de passo é a diferença de potencial entre dois pontos distintos no solo separados em um metro, que é a distância aproximada de um passo. Essa tensão poderá surgir entre os pés de uma pessoa quando ocorrer um escoamento de corrente no solo e os pés da pessoa se situarem em linhas equipotenciais distintas, tal situação pode comprometer a segurança das pessoas ou animais caso a tensão atinja níveis elevados. Na Figura 13 apresenta-se uma ilustração da tensão de passo ocasionada por uma descarga atmosférica.

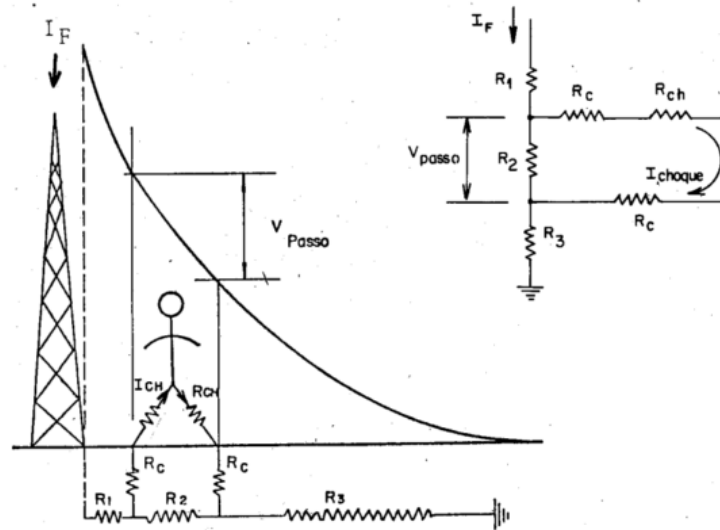
Figura 13 – Tensão de passo ocasionada por uma descarga atmosférica



Fonte: (KINDERMANN e CAMPAGNOLO, 1995)

Na Figura 14 é representado o circuito equivalente da tensão de passo, sendo  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  as resistências do solo a ser considerado,  $R_C$  a resistência de contato entre pés e solo,  $R_{CH}$  é a resistência do corpo humano.

Figura 14 – Tensão de passo – Circuito equivalente



Fonte: (KINDERMANN e CAMPAGNOLO, 1995)

Resolvendo o circuito, encontra-se a expressão da tensão de passo na equação (2.8).

$$V_{passo} = (R_{ch} + 2R_c) \cdot I_{choque} \quad (2.8)$$

De acordo com Kindermann e Campagnolo (1995),  $R_c = 3\rho_s$  onde  $\rho_s$  é a resistividade superficial do solo, logo tem-se que a tensão de passo é dada pela equação (2.9).

$$V_{passo} = (R_{ch} + 6\rho_s) \cdot I_{choque} \quad (2.9)$$

Baseado nos trabalhos de Dalziel (1941), Kindermann e Campagnolo (1995) pontuam que a variável  $I_{choque}$  é a mais crítica, por causar a fibrilação ventricular. A equação (2.10) é conhecida como Limite de Dalziel e ela representa a máxima corrente de choque elétrico que o corpo humano suporta. Esta equação é utilizada para verificar o limite máximo de corrente circulando pelo corpo de uma pessoa enquanto ela estiver submetida a uma tensão de toque e de passo.

$$I_{choque} = \frac{0,166}{\sqrt{t}} \quad (2.10)$$

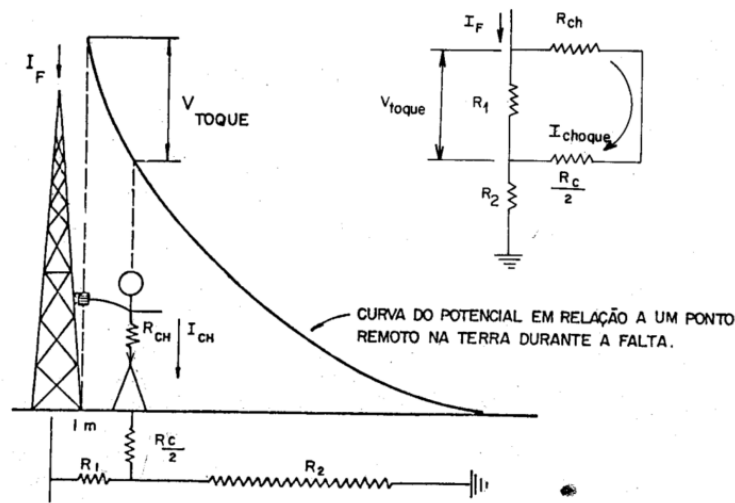
Onde a variável  $t$  é o tempo de duração da corrente de choque elétrico em segundos e apresenta um valor entre 0,03 e 3. Aplicando o Limite de Dalziel (equação (2.10)) na tensão de passo, obtém-se na equação (2.11) a máxima tensão de passo admissível.

$$V_{passo\ max} = \frac{(0,166 \cdot R_{ch} + 0,696\rho_s)}{\sqrt{3}} \quad (2.11)$$

### 2.5.4 Tensões de Toque

A tensão de toque é a diferença de potencial entre uma estrutura metálica aterrada e um ponto da superfície do solo, separado por uma distância horizontal equivalente ao alcance normal de um braço de uma pessoa, considerada igual a um metro. Essa tensão, assim como a tensão de passo, deverá causar uma corrente de choque elétrico inferior aos valores impostos pelo Limite de Dalziel.

Figura 15 – Tensão de toque – Circuito equivalente



Fonte: (KINDERMANN e CAMPAGNOLO, 1995)

Realizando uma análise do circuito equivalente contido na Figura 15, a tensão de toque é expressa pela equação (2.12)

$$V_{toque} = \left( R_{ch} + \frac{R_c}{2} \right) \cdot I_{choque} \quad (2.12)$$

Assim como feito para a tensão de passo, substitui-se  $R_c = 3\rho_s$  e aplica-se a equação (2.10) do Limite de Dalziel, dessa forma a tensão de toque máximo pode ser calculada através de (2.13).

$$V_{toque\ max} = \frac{(0,166 \cdot R_{ch} + 0,174 \rho_s)}{\sqrt{t}} \quad (2.13)$$

Deve-se atentar as tensões de toque, pois a corrente gerada circula diretamente próxima aos órgãos vitais, e principalmente ao coração, o que aumenta as probabilidades de ocorrer uma fibrilação ventricular.

## 2.6 Normas brasileiras aplicáveis

No Brasil, a norma que trata sobre proteções contra descargas atmosféricas é a NBR 5419, com última edição do ano de 2015. Esta norma é uma versão adaptada da IEC 62305: *Protection against lightning*. Outras normas que complementam a NBR 5419 neste assunto e por vezes são indispensáveis em um projeto de proteção contra descargas atmosféricas são a *NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão* e normas relativas a sistemas de aterramento, como a *NBR7117-1: Parâmetros do Solo para Projetos de Aterramento Elétrico*.

### 2.6.1 ABNT NBR 5419

Desde a década de 1950 a proteção contra descargas atmosféricas é normatizada no Brasil, a NB-165 foi o primeiro documento publicado sobre o assunto, possuía 6 páginas e era baseada em bibliografia oriunda da Bélgica.

Em 1970 a NB-165 sofreu sua primeira revisão, baseada em documentação norte-americana.

Na terceira revisão, em 1977, a norma mudou a identificação, se tornando a NBR 5419 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas e possuía 16 páginas.

A revisão seguinte foi lançada no ano de 1993, baseada na IEC 61024, continha 27 páginas. Em 2005 foi editada e lançada nova revisão, com 42 páginas.

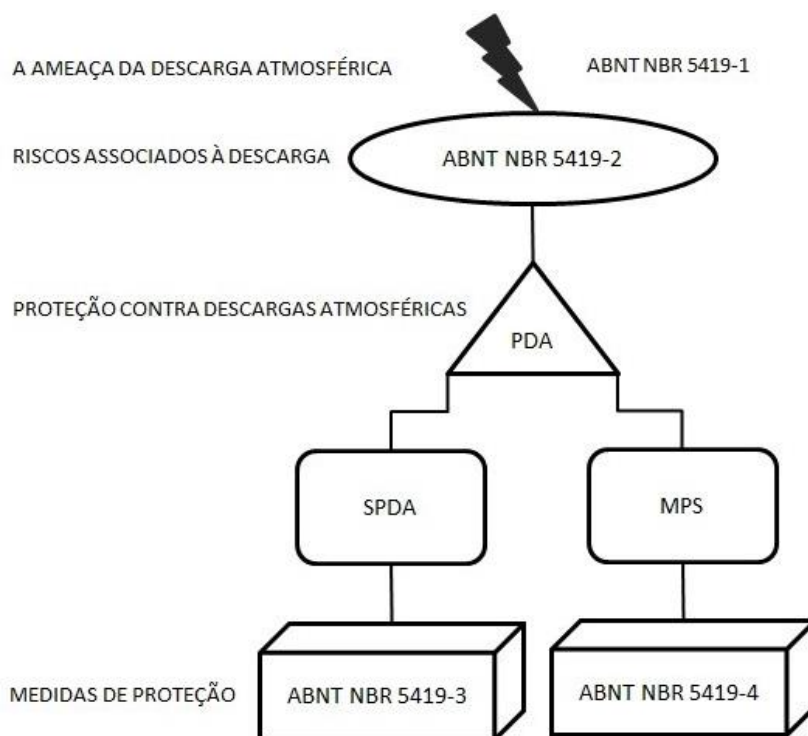
No ano de 2015 foi novamente revisada, desta vez com grande salto em seu conteúdo, incluindo novos conceitos e foi alterado seu nome para “Proteção contra Descargas Atmosféricas”. A norma foi baseada na IEC 62305, possuindo no total 309 páginas e é subdivida em 4 cadernos, no qual faz-se uma abordagem sobre os principais pontos de cada um, destacando os conceitos mais utilizados para a elaboração deste estudo de caso. (MODENA, 2015).

### 2.6.2 5419 – 1: Princípios Gerais

Neste primeiro caderno da norma é feita uma introdução geral da NBR 5419, onde são colocados, de modo sucinto, a aplicabilidade de cada um dos cadernos e a conexão existente entre cada um deles. Na Figura 16 apresenta-se um fluxograma que relaciona cada um dos cadernos.



Figura 16 – Conexões entre os cadernos da NBR 5419



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a)

Na revisão atual, foi incluído na norma o método da análise de risco (que será detalhado mais adiante) e foi definido um conceito amplo, o da Proteção contra Descargas Atmosféricas (PDA), na qual engloba o SPDA e inclui as Medidas de Proteção contra Surtos (MPS). Até a revisão de 2005 a NBR 5419 tratava apenas de SPDA.

Este primeiro caderno define que um sistema completo de Proteção contra Descargas Atmosféricas (PDA) é um sistema que possui:

1) Medidas de proteção para redução de danos físicos, como isolamento de partes condutoras expostas, equipotencialização das massas sujeitas ou não às descargas atmosféricas e restrições físicas a espaços sujeitos a incidências de descargas atmosféricas;

2) Medidas de proteção contra danos físicos, tais como um SPDA, com captação, descida e aterramento eficientes, atendendo as medidas de equipotencialização, isolamento e distância de segurança;

3) Medidas de proteção para redução de falhas dos sistemas elétricos e eletrônicos, na qual pode-se incluir um sistema de DPS coordenado, equipotencialização, blindagem, roteamento da fiação interna para se evitar laços e usos de interfaces isolantes.

Todas as medidas citadas não necessitam necessariamente serem empregadas integralmente, seus usos estão condicionados às características físicas e condições naturais da edificação e função do local. Para saber-se a necessidade de emprego de tais medidas, pode-se recorrer a Análise de Risco, abordada na parte 2 da NBR 5419.

Também são apresentados termos e definições relativos aos parâmetros das descargas atmosféricas; conceitos a respeito das descargas, como correntes de descargas, parâmetros para simulações de descargas para ensaios e para uso em projetos; conceitos dos potenciais danos e zonas de proteção. É estabelecido que a NBR 5419 não é aplicável em sistemas ferroviários, veículos, aviões, navios e plataformas *offshore*, tubulações subterrâneas de alta pressão, tubulações e linhas de energia e de sinal colocados fora da estrutura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a).

Em seguida, são descritos quais danos estão sujeitas determinadas estruturas no caso de serem atingidas por uma descarga atmosférica, conforme apresenta a Tabela 5.

Tabela 5 – Efeito das descargas atmosféricas por tipo/uso de edificação

| <b>Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade ou conteúdo</b> | <b>Efeitos das descargas atmosféricas</b>                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Casa de moradia                                                   | Perfuração da isolamento das instalações elétricas, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos expostos ao ponto de impacto ou no caminho da corrente da descarga atmosférica<br><br>Falha de equipamentos e sistemas elétricos e eletrônicos. |
| Edificação em zona rural                                          | Perfuração da isolamento das instalações elétricas, alto risco de incêndio e danos materiais. Ferimentos a seres vivos por tensões de passo e toque. Perda de animais por fibrilação ventricular.                                                                     |
| Teatro ou Cinema<br>Hotel<br>Escola<br>Shopping centers           | Danos em instalações elétricas que tendem a causar pânico (por exemplo, iluminação elétrica). Falhas em sistemas de alarme de incêndio.                                                                                                                               |
| Bancos e Estabelecimentos comerciais                              | O mesmo do caso anterior, adicionando-se problemas de perda de comunicação, falhas de computadores e perda de dados.                                                                                                                                                  |
| Hospitais, Casa para idosos, Clínicas de tratamento               | O mesmo do caso anterior, adicionando-se problemas relacionados a tratamentos médicos intensivos e remoção de pacientes sem mobilidade.                                                                                                                               |
| Indústrias                                                        | Efeitos adicionais dependendo do conteúdo das fábricas, os quais podem gerar perda total de produção.                                                                                                                                                                 |
| Museu e Igrejas                                                   | Perda de patrimônio cultural insubstituível.                                                                                                                                                                                                                          |
| Armazéns de munição ou fogos de artifício                         | Incêndio e explosão com consequências à planta e arredores.                                                                                                                                                                                                           |
| Indústria química<br>Refinaria<br>Usina nuclear                   | Incêndio e mau funcionamento com consequências altamente prejudiciais ao meio ambiente local e global.                                                                                                                                                                |

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a)

Além disso, a primeira parte da norma estabelece os parâmetros a serem considerados para as descargas atmosféricas, tais como as correntes, carga, energia, duração e formas de onda, tais conceitos foram apresentados no item 2.3.

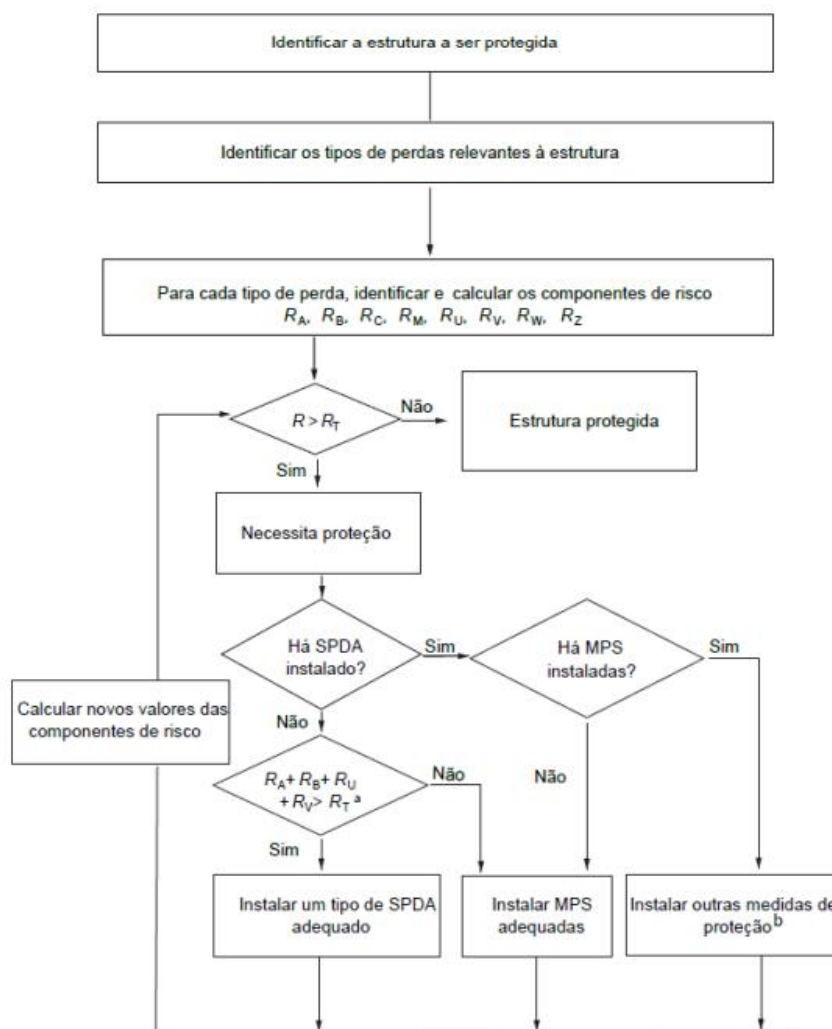
### 2.6.3 5419 – 2: Gerenciamento de Risco

No segundo caderno da norma é apresentado um procedimento para realizar uma avaliação do risco de danos e perdas de vidas, de bens físicos, de patrimônio e de memória cultural que uma determinada estrutura está sujeita devido a uma descarga atmosférica (direta ou indireta). Esse procedimento é chamado de Análise ou Gerenciamento de Risco e trata-se de uma etapa fundamental no projeto e inspeção de sistemas de PDA.

O procedimento, que é representado a partir de um fluxograma (Figura 17), coloca sob análise diversos fatores relacionados à estrutura, tais como:

- **Localização da estrutura:** aspectos geográficos, topográficos e climáticos da região onde a estrutura está situada, como a incidência de raios e a presença de outras edificações ao redor.
- **Uso e função da estrutura:** a identificação das atividades desenvolvidas no local, a presença e quantidade de pessoas, equipamentos sensíveis, materiais inflamáveis ou explosivos, e outros fatores que possam representar riscos adicionais ou amplificar os riscos.
- **Características construtivas:** análise das características físicas da estrutura, incluindo sua altura, formato, dimensões, materiais de construção, sistemas elétricos e de comunicação, entre outros.
- **Análise de danos:** Avaliação dos possíveis danos causados por uma descarga atmosférica na estrutura ou em suas proximidades, considerando os riscos à integridade física, à segurança das pessoas, a danos materiais e a interrupção de serviços essenciais.
- **CrITÉrios de aceitação:** definição dos critérios para estabelecer a necessidade de um SPDA, levando em consideração a tolerância a riscos estabelecida pelo usuário da estrutura, as normas e regulamentos aplicáveis e as recomendações da NBR 5419.

Figura 17 – Procedimento para decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas de proteção



<sup>a</sup> Se  $R_A + R_B < R_T$ , um SPDA completo não é necessário; neste caso DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 são suficientes.

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

O gerenciamento de risco codifica as fontes de onde poderá vir o dano, os tipos de danos que poderão ser causados e as perdas que poderão ocorrer em um acidente com uma descarga atmosférica. Com toda a identificação e quantificação dos riscos e da probabilidade de danos, este procedimento deverá atuar como um guia na implementação de proteções na estrutura. Feita toda esta análise e cálculos iniciais, obtêm-se o risco total  $R$ . A primeira condicional do fluxograma verifica se o risco total é maior que o risco tolerável  $R_T$ , se negativo, a estrutura na forma que se encontra não necessita de proteções adicionais de PDA. Caso contrário, um pequeno algoritmo é implementado.

Nesta etapa do fluxograma, serão verificadas as medidas de proteção que estão presentes e se o risco total estiver elevado serão propostas novas medidas ou medidas mais eficientes até que se consiga um valor de risco tolerável.

Na impossibilidade de se conseguir um risco dentro da margem aceitável, o proprietário deverá ser advertido desta situação e o mais alto nível de proteção deverá ser implementado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b).

Se tratando de um método que realiza uma completa e profunda análise da estrutura (são mais de 100 fatores a serem verificados), será abordado a seguir alguns dos fatores mais gerais e mais utilizados a respeito da análise de risco.

#### **2.6.3.1 Fonte de danos**

A principal fonte de danos é a corrente da descarga atmosférica. O local de sua incidência irá distinguir os tipos de fonte de danos, sendo elas:

- S1: Descargas atmosféricas na estrutura;
- S2: Descargas atmosféricas perto da estrutura;
- S3: Descargas atmosféricas na linha (elétrica ou de telecomunicação);
- S4: Descargas atmosféricas perto da linha (elétrica ou de telecomunicação);

Essa fonte de dano é muito importante para considerar a severidade do efeito causado pela descarga.

#### **2.6.3.2 Tipos de danos**

As descargas atmosféricas causam danos dependendo do tipo construtivo da edificação e ao tipo de serviço que essa estrutura é utilizada. São três os tipos de danos:

- D1: Ferimentos aos seres vivos por choque elétrico;
- D2: Danos físicos;
- D3: Falhas de sistemas eletroeletrônicos;

#### **2.6.3.3 Tipos de perdas**

Os tipos de perdas avaliados no gerenciamento de risco são:

- L1: Ferimentos aos seres vivos por choque elétrico;
- L2: Perda de serviço público;
- L3: Perda de patrimônio cultural;
- L4: Perda de valores econômicos (perda da estrutura, bens contidos nelas e perda da atividade desenvolvida na edificação);

Os riscos são divididos em quatro categorias, sendo elas:

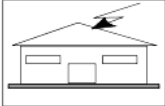
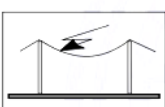
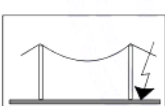
- R1: Risco de perda de vida humana, incluindo ferimentos;
- R2: Risco de perda de serviço público;
- R3: Risco de perda de patrimônio cultural;
- R4: Risco de perda de valores econômicos.

Tais riscos são compostos por diversos fatores, denominados Componentes de Risco, que são divididas em quatro categorias:

- 1) Componentes de risco associadas a descargas atmosféricas diretas na estrutura (S1)
  - a.  $R_A$ : está relacionada a ferimentos em seres vivos causados por choque elétrico devido a tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora numa região de 3 metros ao redor dos condutores de descidas;
  - b.  $R_B$ : é relacionado a danos físicos causados por centelhamentos dentro da estrutura, iniciando um incêndio ou explosão;
  - c.  $R_C$ : componente relacionado com falhas e danos aos sistemas internos causados por surtos de tensão na instalação.
- 2) Componentes de risco associadas a descargas atmosféricas próximas a estrutura (S2)
  - a.  $R_M$ : componente relacionado com falhas e danos aos sistemas internos causados por surtos de tensão induzidos na instalação.
- 3) Componentes de risco associadas a descargas atmosféricas diretas na linha conectada a estrutura (S3)
  - a.  $R_U$ : está relacionada a ferimentos em seres vivos causados por choque elétrico devido a tensões de toque e passo dentro da estrutura;
  - b.  $R_V$ : é relacionado a danos físicos causados por centelhamentos dentro da estrutura, devido a corrente da descarga atmosférica transmitida pela linha que adentra o local;
  - c.  $R_W$ : componente relacionado com falhas e danos aos sistemas internos causados pelo surto de tensão na linha conectada.
- 4) Componentes de risco associadas a descargas atmosféricas próximas a linha conectada a estrutura (S4)
  - a.  $R_Z$ : componente relacionado com falhas e danos aos sistemas internos causados por surtos de tensão induzidos na linha conectada.

Na Tabela 6 é feita uma relação entre as fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas apresentadas.

Tabela 6 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto

| Descarga atmosférica                                                                                                                                                                                                                                                |                | Estrutura      |                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------------------------------------|
| Ponto de impacto                                                                                                                                                                                                                                                    | Fonte de danos | Tipo de danos  | Tipo de perdas                                                    |
|                                                                                                                                                                                    | S1             | D1<br>D2<br>D3 | L1, L4 <sup>a</sup><br>L1, L2, L3, L4<br>L1 <sup>b</sup> , L2, L4 |
|                                                                                                                                                                                    | S2             | D3             | L1 <sup>b</sup> , L2, L4                                          |
|                                                                                                                                                                                    | S3             | D1<br>D2<br>D3 | L1, L4 <sup>a</sup><br>L1, L2, L3, L4<br>L1 <sup>b</sup> , L2, L4 |
|                                                                                                                                                                                    | S4             | D3             | L1 <sup>b</sup> , L2, L4                                          |
| <sup>a</sup> Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.<br><sup>b</sup> Somente para estruturas com risco de explosão ou para hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos podem imediatamente colocar em perigo a vida humana. |                |                |                                                                   |

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Na Tabela 7 são associadas cada componente de risco apresentada anteriormente com os riscos. Na prática, o valor do risco se dá pela soma dos valores das componentes de riscos que estão relacionadas.

Tabela 7 – Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura

| Fonte de danos                                                                                                                                                                                                                                                          | Descarga na estrutura S1 |       |       | Descarga perto da estrutura S2 | Descarga em uma linha conectada à estrutura S3 |       |       | Descarga perto de uma linha conectada à estrutura S4 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------|-------|--------------------------------|------------------------------------------------|-------|-------|------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                         | $R_A$                    | $R_B$ | $R_C$ |                                | $R_U$                                          | $R_V$ | $R_W$ |                                                      |
| Componente de risco                                                                                                                                                                                                                                                     |                          |       |       | $R_M$                          |                                                |       |       | $R_Z$                                                |
| Risco para cada tipo de perda                                                                                                                                                                                                                                           |                          |       |       |                                |                                                |       |       |                                                      |
| $R_1$                                                                                                                                                                                                                                                                   | *                        | *     | * a   | * a                            | *                                              | *     | * a   | * a                                                  |
| $R_2$                                                                                                                                                                                                                                                                   |                          | *     | *     | *                              |                                                | *     | *     | *                                                    |
| $R_3$                                                                                                                                                                                                                                                                   |                          | *     |       |                                |                                                | *     |       |                                                      |
| $R_4$                                                                                                                                                                                                                                                                   | * b                      | *     | *     | *                              | * b                                            | *     | *     | *                                                    |
| <sup>a</sup> Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana.<br><sup>b</sup> Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos. |                          |       |       |                                |                                                |       |       |                                                      |

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

As componentes de risco são calculadas conforme uma equação geral, representada na equação (2.14).

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (2.14)$$

Sendo:

$N_X$  o número de eventos perigosos por ano;

$P_X$  a probabilidade de dano à estrutura;

$L_X$  a perda consequente.

Para a análise dessas componentes de risco são disponibilizadas nos anexos da norma diversas tabelas com os parâmetros a serem utilizados no cálculo de cada um dos riscos.

## 2.6.4 5419 – 3: Danos físicos a estrutura e perigos à vida

Neste caderno são estabelecidos os requisitos para um SPDA externo e interno instalados nas estruturas. O SPDA externo pode ser dividido em 3 subsistemas:

### 2.6.4.1 Subsistema de captação

O subsistema de captação é responsável por interceptar a descarga atmosférica de modo seguro, sem provocar centelhamentos perigosos e danos físicos à estrutura.

Durante o texto é apresentado um conceito que é muito enfatizado na norma, as Componentes Naturais do SPDA, que são elementos condutivos da estrutura, que não são instalados para finalidade de proteção contra as descargas atmosféricas, porém atendendo a certas exigências da norma, poderá ser incluído como parte do SPDA. Alguns exemplos básicos são:

- Estruturas metálicas da cobertura e telhas, sendo utilizadas para a captação;
- Ferragens dos pilares, sendo utilizados como descidas;
- Ferragens do alicerce e baldrame, sendo utilizados como eletrodo de aterramento.

A interceptação da descarga atmosférica deverá ocorrer por meio dos captadores, esse elemento do projeto poderá ser um elemento natural ou não. A norma estabelece que podem ser utilizados como captadores naturais os seguintes elementos:

- **Chapas metálicas cobrindo a cobertura:** Desde que, haja continuidade em toda estrutura, a espessura da chapa não seja menor que os valores da Tabela 8 e elas não sejam revestidas de material isolante.



Tabela 8 – Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistemas de proteção

| Classe do SPDA                                                                                                                                                                                            | Material                               | Espessura <sup>a</sup><br>$t$<br>mm | Espessura <sup>b</sup><br>$t'$<br>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                                  |
| <sup>a</sup> $t$ previne perfuração, pontos quentes ou ignição.<br><sup>b</sup> $t'$ somente para chapas metálicas, se não for importante prevenir a perfuração, pontos quentes ou problemas com ignição. |                                        |                                     |                                      |

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015c)

Um exemplo típico desse captor natural são os telhados de telhas galvanizadas, ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Cobertura feita de telhas galvanizadas



Fonte: (AÇOPLANO, 2022)

- **Componentes metálicos da construção da cobertura abaixo de cobertura não metálica:** Neste caso, a norma considera o uso das estruturas e elementos metálicos de um telhado não-metálico como sendo parte da captação. Dessa forma a cobertura, que pode ser feita de materiais cerâmicos ou cimentícios, por exemplo, estaria fora da zona de proteção, sendo assim, poderia ser alvo de danos causados pelo impacto da descarga.
- **Partes metálicas fixas:** Elementos metálicos como ornamentos, parapeitos e tubulações instalados de forma permanente na estrutura podem ser considerados captosres, desde que atendam as prescrições da Tabela 8. Na Figura 19 apresenta-se um exemplo de aplicação dessa situação, onde se observa uma escada marinho e o parapeito. Estes elementos, estando

devidamente conectados ao subsistema de descida e aterramento, podem ser utilizados como captosres.

- **Tubulações metálicas e tanques na cobertura:** Estes elementos, atendendo as mesmas prescrições de área de seção mínima estabelecidas pela norma, estão aptos a serem considerados como captação.
- **Tubulações metálicas e tanques contendo misturas explosivas ou inflamáveis:** Estes elementos, por conterem materiais inflamáveis ou explosivos só poderão ser empregados na captação caso o material construtivo atenda as prescrições da espessura  $t$  da Tabela 8, além disso, deverá ser estudado se a temperatura interna em contato com o material explosivo/inflamável não se eleve a ponto de causar ignição do material.

Os captosres não naturais são também largamente empregados e os tipos mais comuns são os captosres Franklin (Figura 20), instalados tipicamente no topo de mastros elevados sobre a estruturas; e os minicaptosres (Figura 21) que são utilizados distribuídos sobre a cobertura.

Figura 19 – Escada tipo marinheiro



Fonte: (SOLUÇÕES INDUSTRIAIS, 2022)

Figura 20 – Captor Franklin



Fonte: (SANTIL, 2022)

Figura 21 – Minicaptor



Fonte: (SANTIL, 2022)

Para o dimensionamento desse sistema, existem 3 métodos aplicáveis pela NBR 5419:

- Método do ângulo de proteção;
- Método da esfera rolante (ou Eletrogeométrico);
- Método das malhas.

A NBR 5419 classifica o SPDA em classes de proteção, de I a IV, onde um SPDA classe I apresenta um maior nível de proteção e o SPDA classe IV um menor nível de proteção. Essa classificação, que pode ser dada pela análise de risco, determinará diferentes critérios a serem adotados. Na captação, quanto mais seguro o SPDA, menor será a área de proteção dos elementos destinados a receber a descarga atmosférica, dessa forma, serão necessários mais captadores em um sistema classe I do que em um sistema classe IV para uma mesma estrutura.

Na Tabela 9, apresenta-se as variáveis utilizadas em cada método de proteção, separadas pela classe do SPDA.

Tabela 9 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA

| Classe do SPDA | Método de Proteção         |                                                |                                                 |
|----------------|----------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                | Raio da Esfera Rolante (m) | Máximo afastamento dos condutores da malha (m) | Ângulo de Proteção $\alpha$ (graus) ( $H=20m$ ) |
| I              | 20                         | 5x5                                            | 21                                              |
| II             | 30                         | 10x10                                          | 39                                              |
| III            | 45                         | 15x15                                          | 49                                              |
| IV             | 60                         | 20x20                                          | 53                                              |

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015c) (Adaptado)

Não há critério ou prescrição normativa que estabelecerá qual método de proteção será utilizado, isto dependerá exclusivamente do projetista, que deverá analisar o formato da edificação e com isso escolher aquele método que será mais eficaz para a edificação que será feito o projeto. A depender do tipo de edificação que está se tratando poderá ser mais simples realizar o dimensionamento utilizando um dos métodos permitidos. Não há restrições quanto ao emprego dos métodos e nem ao uso em conjunto deles.

#### 2.6.4.2 Subsistema de descida

É responsável por conduzir a corrente da descarga atmosférica até a base da estrutura, ao subsistema de aterramento. O sistema deverá possuir baixa impedância e ser capaz de conduzir a corrente sem que haja centelhamentos para outras partes da edificação e sem que ofereça risco aos usuários da instalação.

Assim como a captação, esse subsistema também pode usufruir dos elementos naturais da edificação, como as ferragens das colunas e vigas.

Para instalações de SPDA que não possuem descidas naturais, há um espaçamento mínimo entre elas, estabelecidos conforme a Tabela 10.

Tabela 10 – Valores típicos de distância entre as descidas de um SPDA

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

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015c) (Adaptado)

Há uma tolerância máxima entre os espaçamentos de 20%, isso significa que esses valores são valores médios entre as diversas descidas de uma edificação. Por exemplo, tomando uma instalação classe III, se forem somados todos os espaçamentos adotados entre os condutores de descidas e dividir pela quantidade de condutores, deverá se obter um valor inferior a 15 (MODENA, 2022).

Com os valores de espaçamento da Tabela 10 é possível prever o número mínimo de descidas para cada estrutura, conforme a equação (2.15)

$$n^{\circ} \text{ de descidas} = \frac{\text{perímetro da estrutura protegida}}{\text{distância máxima}} \quad (2.15)$$

Caso o resultado do número de descidas não seja inteiro, deverá ser arredondado para um número inteiro imediatamente superior. Mesmo que o dimensionamento aponte um número inferior à 2 descidas, a norma estabelece que o número mínimo deverá ser de 2 descidas.

É exigido também que toda descida não-natural possua conectores para ensaio. Estes conectores são importantes para isolar o subsistema de aterramento do subsistema de captação quando for necessário submeter o eletrodo de aterramento da instalação a um ensaio de continuidade para verificar sua integridade, será abordado este método em **3.2.3 Medição de continuidade no eletrodo de** aterramento existente.

Os conectores só poderão ser abertos com auxílio de ferramenta e deverão manter um certo distanciamento do solo para evitar corrosão. Uma forma muito utilizada para as conexões de ensaio são as caixas de inspeção suspensas, conforme apresentado na Figura 22. Essa aplicação fornece uma proteção mecânica e contra intempéries para as conexões, além de ficarem em uma posição conveniente para realizar os ensaios.

Figura 22 – Caixa de inspeção suspensa



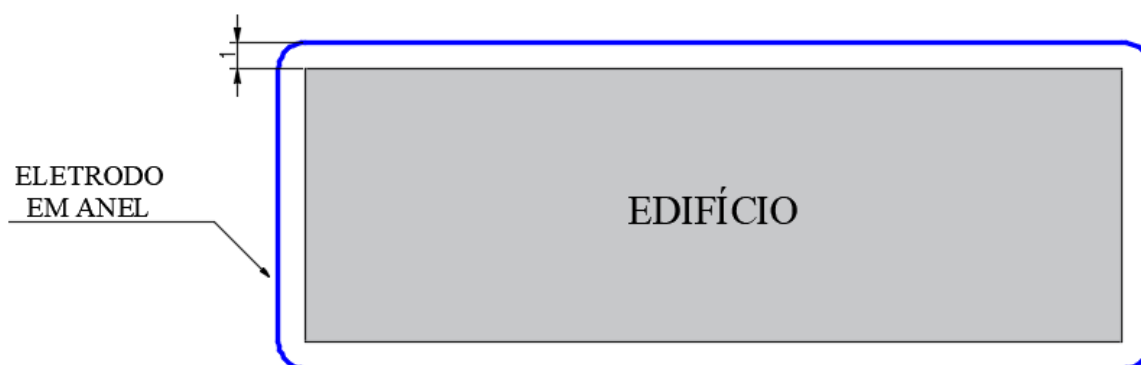
Fonte: Próprio autor

#### **2.6.4.3 Subsistema de aterramento**

O subsistema de aterramento é responsável por receber as cargas das descargas atmosféricas e dispersá-las no solo. Devido à alta intensidade de cargas de uma descarga atmosférica e seu comportamento de alta frequência, deve-se atentar às sobretensões que podem surgir e atingir pessoas e animais.

A NBR 5419 recomenda o uso de elementos naturais, como o aço das fundações e dos baldrames, mas na impossibilidade de utilizá-los, é necessário implementar, minimamente, um eletrodo com cabos enterrados a uma profundidade de 0,5 m circundando toda a edificação, distante da estrutura em aproximadamente 1 m. Essa configuração é chamada de eletrodo em anel ou anel de aterramento. Na Figura 23 apresenta-se, de modo ilustrativo, uma edificação com eletrodo em anel.

Figura 23 – Ilustração de um eletrodo de aterramento em anel



Fonte: Próprio autor

Na impossibilidade de percorrer o perímetro da instalação com o anel, pode-se instalá-lo no interior da edificação, ou ainda o deixar aflorado sobre a superfície, seguindo determinadas condições estabelecidas pela norma. O raio médio do eletrodo a ser projetado deverá obedecer a condição apresentada em (2.16).

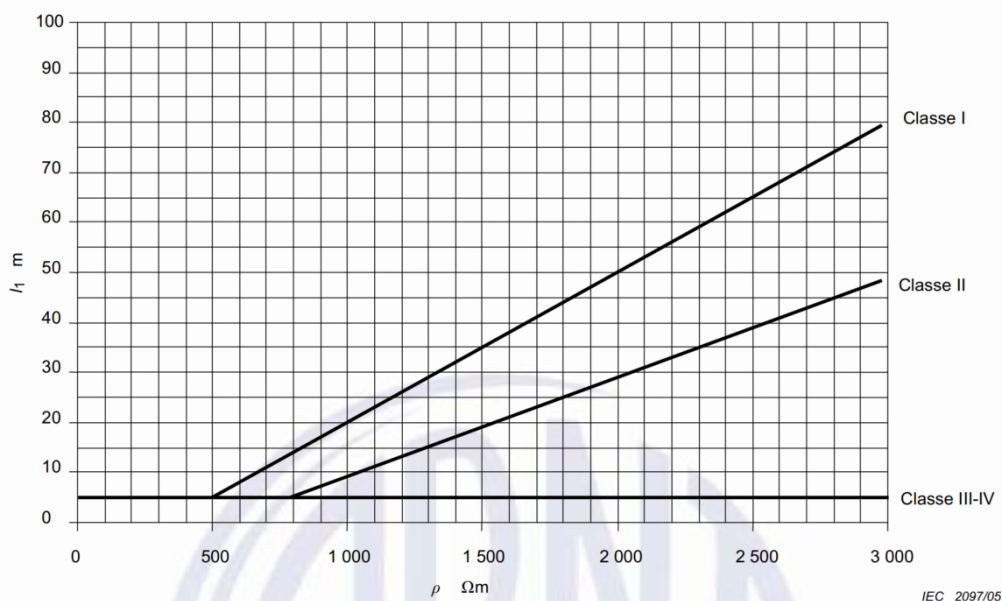
$$r_e \geq l_1 \quad (2.16)$$

Sendo  $r_e$  o raio médio geométrico da estrutura e  $l_1$  é o comprimento mínimo do eletrodo dado graficamente pela Figura 24.

Nota-se que este comprimento está relacionado com a resistividade do solo quando proteções nível I e II são necessárias, sendo preciso realizar a estratificação do solo nesta situação. No caso de sistemas classe III e IV, esta análise não é necessária, porém a norma prescreve que a menor resistência de aterramento possível deverá ser implementada e que seja compatível com o arranjo do eletrodo, topologia e resistividade do solo do local (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015c).

Se for preciso, elementos adicionais podem ser conectados ao eletrodo em anel e eles devem ser instalados preferencialmente próximos as descidas. Poderá ser implementado também um eletrodo na configuração de malha, neste caso, estudos mais completos são recomendados devido ao alto custo de implementação desta configuração.

Figura 24 – Comprimento mínimo  $l_1$  do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015c)

#### 2.6.5 5419 – 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura

No quarto e último caderno desta norma são estabelecidos os requisitos para a instalação, inspeção, manutenção e projeto das Medidas de Proteção contra Surtos (MPS).

As MPS baseiam-se na mitigação de danos causados pelos impulsos eletromagnéticos induzidos na instalação elétrica causados pelas LEMP. O conceito da proteção é subdividir a estrutura em Zonas de Proteção contra Raios (ZPR). Essas ZPR estão associadas à severidade da LEMP que o local está sujeito e com o nível de suportabilidade dos equipamentos no local. A ZPR 0 representa o local com maior risco (descargas diretas). As sucessivas ZPR (1, 2, ...,  $n$ ) tendem a apresentar um risco menor à zona anterior. Sempre, em cada fronteira de ZPR, há uma ou mais MPS empregadas.

De maneira abrangente, as principais formas de MPS apresentadas são: a blindagem das linhas (elétricas e de telecomunicação) e blindagem na estrutura; a proteção das linhas através de DPS e equipotencialização das massas.

São considerados neste caderno quatro possibilidades de emprego das MPS: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015d).

- **Uso de MPS empregando blindagens espaciais em forma de grade e a coordenação de DPS:** protegem contra campos eletromagnéticos irradiados e surtos conduzidos.



- **Uso de MPS empregando uma blindagem espacial em forma de grade em ZPR 1 e DPS na entrada da ZPR 1:** também protegem equipamentos contra campos magnéticos irradiados e contra surtos conduzidos, porém poderá ser menos efetiva que a proteção anterior.
- **MPS usando linhas blindadas e DPS na entrada de ZPR 1:** combinadas com os invólucros blindados dos equipamentos, também protegem contra campos magnéticos irradiados.
- **MPS usando coordenação de DPS somente:** poderá ser adequado na proteção de equipamentos mais robustos. O emprego de DPS coordenados poderá reduzir as ameaças de sobretensões.

### 2.6.6 ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão

A NBR 5410 é a norma que trata das instalações elétricas em baixa tensão, se aplicando para as tensões até 1000 volts em corrente alternada (até e inclusive 400 hertz) e 1500 volts em corrente contínua. Esta norma fixa as condições que as instalações devem atender a fim de que elas funcionem adequadamente, sejam seguras para as pessoas e animais domésticos e não comprometa a estrutura na qual está instalada.

Na disciplina de proteção contra descargas atmosféricas, a NBR 5410 é requisitada quando se trata de equipotencialização, esquemas de aterramento e dimensionamento de DPS. Detalha-se a seguir os temas citados, que serão mais importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

#### 2.6.6.1 Esquemas de Aterramento

O aterramento elétrico é um elemento de extrema importância em uma instalação elétrica, do ponto de vista da NBR 5410 ele é aplicado para duas finalidades básicas: a primeira é a segurança, proporcionando proteção para as pessoas, animais e das instalações; a segunda é auxiliar no desempenho do sistema elétrico (VISACRO FILHO, 2020).

Tendo essas premissas, a NBR 5410 padroniza determinados esquemas para a realização do aterramento das massas e do sistema elétrico.

Estes esquemas são designados por siglas, que indicam sua configuração. A primeira letra indica a situação da alimentação com relação à terra:

- T: Um ponto diretamente aterrado;
- I: Nenhum ponto aterrado ou aterrado por impedância;

A segunda letra indica as características do aterramento das massas:

- T: Massas diretamente aterradas, com um eletrodo diferente do utilizado no aterramento da alimentação;
- N: massas sem um aterramento próprio no local, mas que utilizam o eletrodo de aterramento da alimentação por meio de condutor separado (PE) ou condutor de neutro combinado com proteção (PEN);
- I: massas isoladas, não aterradas

Esta sigla também pode incluir outras letras:

- S: separado, é empregado quando o condutor de aterramento das massas (PE) é distinto do condutor de neutro.
- C: comum, isto é, quando o condutor de aterramento das massas é o mesmo utilizado com neutro (PEN) – condutor com dupla função.

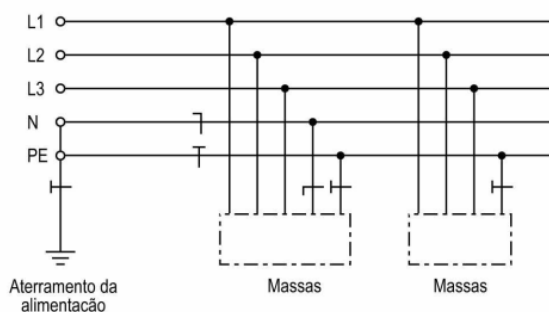
Com essas definições, aborda-se os esquemas apresentados pela NBR 5410.

#### 2.6.6.1.1 Esquema TN

Neste esquema o eletrodo de aterramento da instalação é comum para o aterramento do condutor de neutro e para o aterramento das massas da instalação. Esta configuração, entretanto, apresenta determinadas variantes.

No esquema TN-S (Figura 25) o condutor de neutro e de proteção (PE) são distintos e em nenhum momento são comuns.

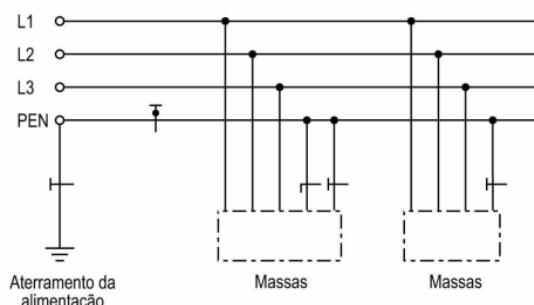
Figura 25 – Esquema TN-S



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

No esquema TN-C (Figura 26) o condutor de neutro e de proteção são combinados em um único condutor, o PEN. E seguem assim durante toda a instalação.

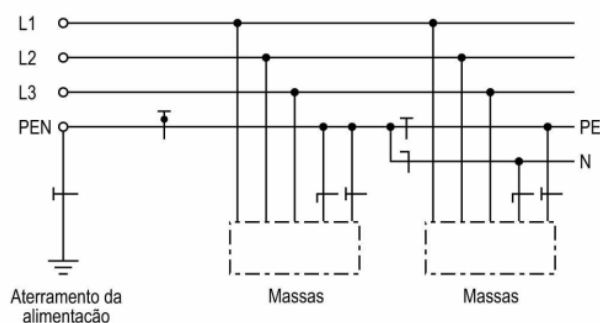
Figura 26 – Esquema TN-C



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

No esquema TN-C-S (Figura 27), o condutor de neutro e de proteção também são combinados, porém em determinado momento da instalação eles são separados em neutro e proteção. Uma vez desmembrados, eles não poderão ser combinados novamente para formar o PEN.

Figura 27 – Esquema TN-C-S



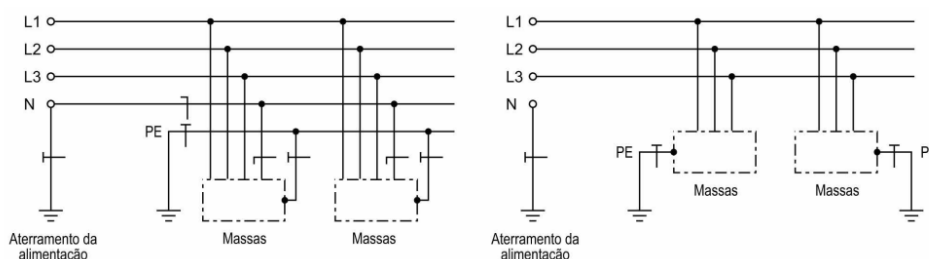
Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

#### 2.6.6.1.2 Esquema TT

No esquema TT, o eletrodo utilizado para aterramento do neutro é distinto daquele utilizado para a proteção. Neste caso há ainda duas possibilidades apresentadas na Figura 28, um eletrodo individual para cada massa (ou conjunto de massas) ou um único aterramento para todas as massas da instalação.

Este esquema é particularmente interessante quando se deseja um terra “limpo”, já que o sistema elétrico não colocará ruídos nesta malha. Esta situação pode ser desejável em aplicações com equipamentos eletrônicos sensíveis. Também é interessante o uso deste esquema quando a fonte está distante da instalação.

Figura 28 – Esquema TT



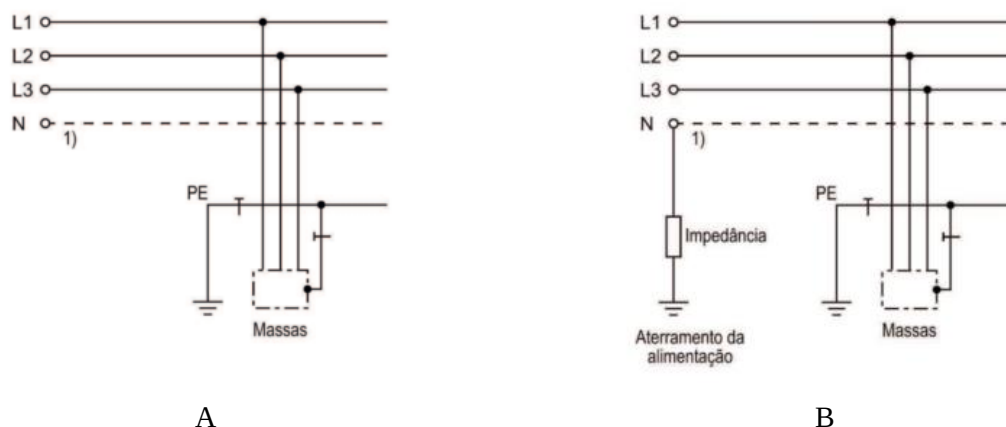
Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

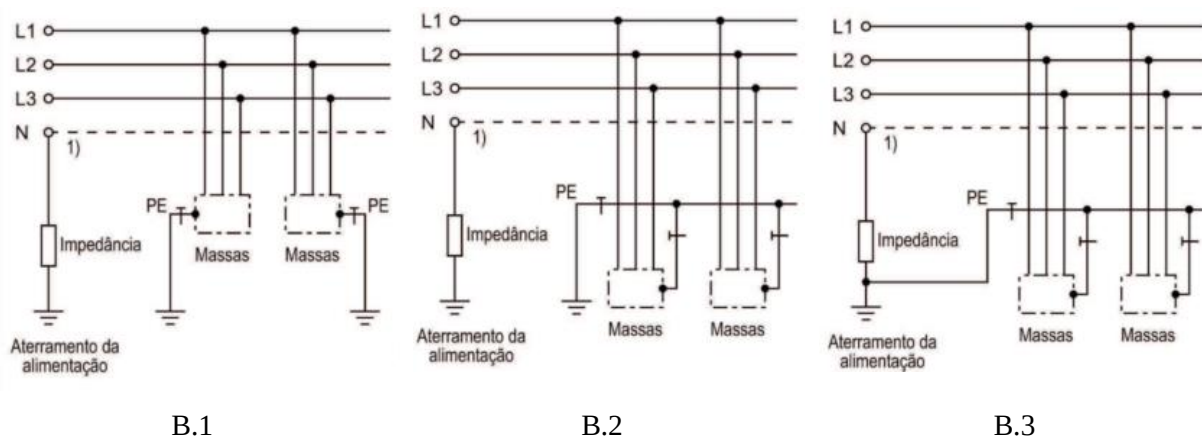
Este esquema, porém, requer cuidados especiais no dimensionamento das proteções, pois a intensidade de um curto-circuito fase-terra estará dependente da qualidade do aterramento da fonte e da massa. Aterramentos e/ou solos com impedância mais elevada levarão a baixos valores de falta fase-terra, logo, os dispositivos de proteção poderão não atuar ou levar muito tempo para a atuação, levando a uma energização de todas as massas, colocando em risco a instalação e seus usuários.

#### 2.6.6.1.3 Esquema IT

Trata-se de um sistema de aterramento isolado por impedância, onde a alimentação poderá estar aterrada por impedância ou não estar aterrada e as massas estarão aterradas em eletrodos próprios ou isoladas da alimentação, conforme os arranjos contidos na Figura 29. Este tipo de aterramento é empregado quando se deseja a continuidade do serviço em decorrência de uma primeira falta monofásica à terra.

Figura 29 – Esquema IT





Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

- A = sem aterramento da alimentação;
- B = alimentação aterrada através de impedância;
- B.1 = massas aterradas em eletrodos separados e independentes do eletrodo de aterramento da alimentação;
- B.2 = massas coletivamente aterradas em eletrodo independente do eletrodo de aterramento da alimentação;
- B.3 = massas coletivamente aterradas no mesmo eletrodo da alimentação.

Os sistemas IT deverão possuir um Dispositivo de Supervisão de Isolamento (DSI) a fim de indicar a ocorrência de uma falta fase-terra ou fase-massa (MAMEDE FILHO, 2022).

No caso de uma falta à terra, as massas estarão sujeitas a um potencial (tensão de toque) que deverá ser calculada e ficar dentro da tensão de segurança (valor definido pelo Anexo C da NBR 5410). A corrente que irá fluir para o aterramento também deverá ser dimensionada para que não sensibilize a proteção e derrube o sistema – é necessário que apenas o DSI “perceba” a falta. Na ocorrência uma segunda falta fase-terra ela na realidade se tornaria uma falta fase-fase e neste caso a atuação das proteções se torna inevitável e essencial para a proteção da instalação.

#### 2.6.6.2 Aterramento e Equipotencialização

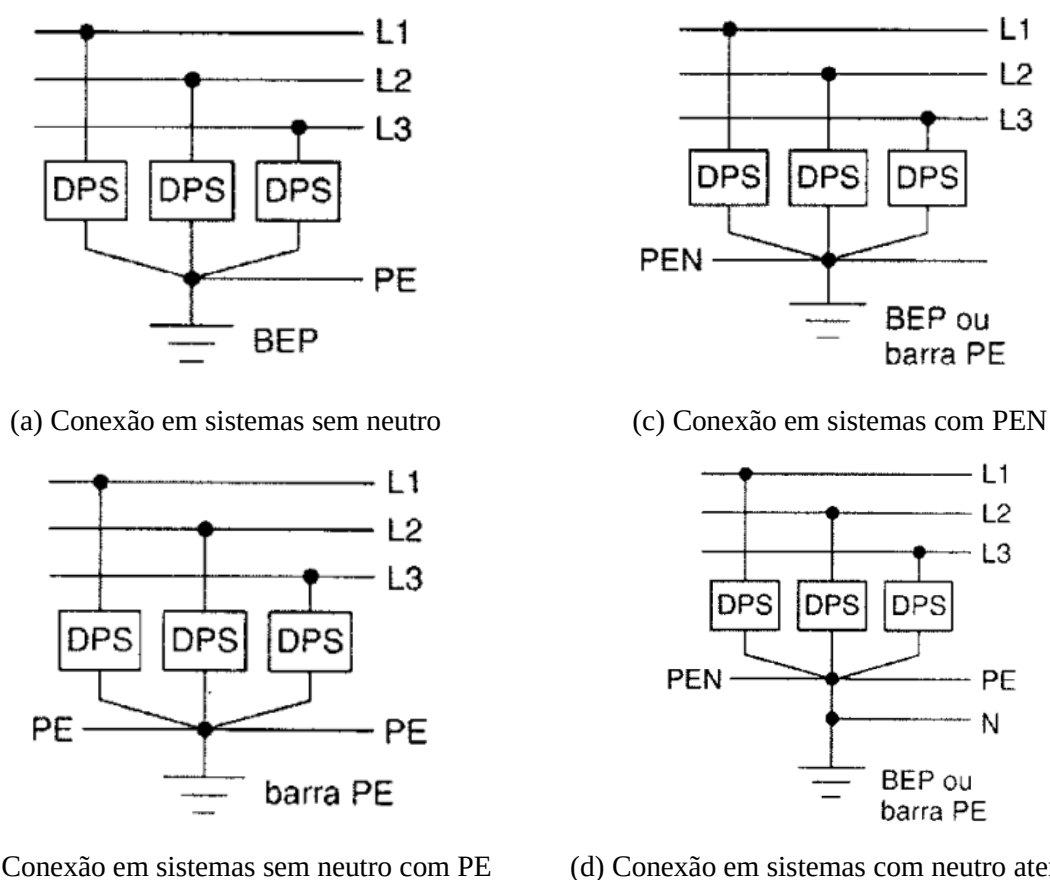
A NBR 5410, assim como a NBR 5419-3, recomenda a utilização das armaduras metálicas das edificações como eletrodo de aterramento e na impossibilidade do uso delas, minimamente é prescrito o uso do anel de aterramento. Também é prescrito que não deve haver distinção entre o eletrodo de aterramento para o SPDA e o eletrodo de aterramento para equipotencialização – a edificação deverá conter um único elemento que deverá ser compartilhado.

### 2.6.6.3 Esquemas de Ligação de DPS

A NBR 5410 também estabelece os esquemas de ligação para os dispositivos DPS na linha elétrica, as possibilidades estão divididas em 3 esquemas, que irão depender da configuração da rede que adentra a instalação.

Na Figura 30 são apresentados esquemas de conexões que são utilizados quando a instalação não necessita de DPS no condutor de neutro, no caso da instalação não utiliza-lo ou no caso dele já ser equalizado ao aterramento.

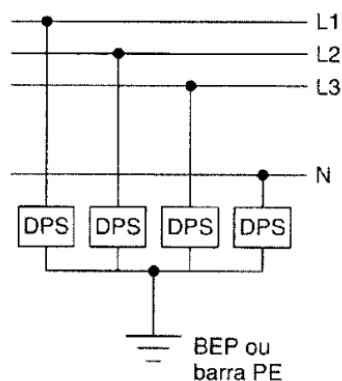
Figura 30 – Esquema 1 de conexão de DPS



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

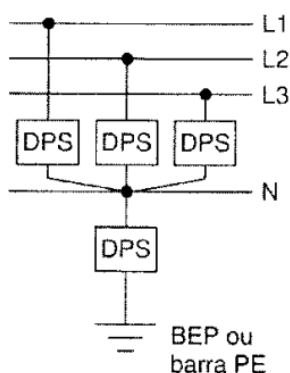
Os esquemas 2 e 3, apresentados na Figura 31 e na Figura 32 são utilizados em instalações onde o neutro não é aterrado no mesmo eletrodo de aterramento da edificação (onde os DPS estarão equalizados). Dentro desta possibilidade haverá diferentes configurações de aterramento da instalação: TT com neutro, IT com neutro e linha que adentra a edificação em TN-S.

Figura 31 – Esquema 2 de conexão de DPS



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

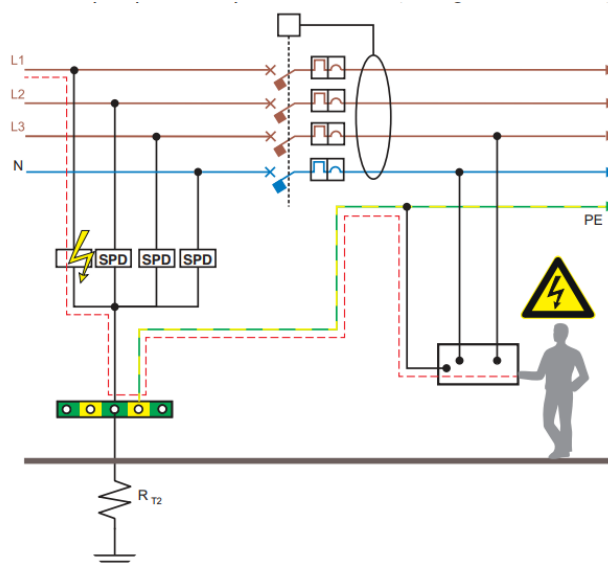
Figura 32 – Esquema 3 de conexão de DPS



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

O uso do esquema 3 é obrigatório no caso de uma instalação com esquema TT, onde não há dispositivo DR instalado à montante do DPS. Em instalações deste tipo, o uso do Esquema 2 poderia energizar o condutor PE da instalação no caso de falha do DPS e isso poderia não sensibilizar nenhum dispositivo de proteção, colocando em risco os usuários da instalação. No esquema apresentado na Figura 33 é ilustrada essa situação.

Figura 33 – Demonstração da fragilidade do esquema 2 em instalações com aterramento TT



Fonte: (FINDER, 2012)

Logo, utilizando o esquema 3, em uma falha de um DPS de linha, além de não haver mais a possibilidade de energização das massas, iria surgir uma corrente de curto-circuito fase-neutro, que é capaz de sensibilizar a proteção à montante. Este esquema também é recomendado em instalações com SPDA (FINDER, 2012).

### 2.6.7 ABNT NBR 7117-1: Parâmetros do solo para projetos de aterramentos elétricos – Parte 1: Medição da resistividade e modelagem geolétrica

Trata-se de uma norma técnica brasileira que busca estabelecer diretrizes para a realização da sondagem geolétrica do solo a fim de obter os parâmetros para projetos de aterramentos elétricos e fornecer orientações para a seleção de métodos de medição e interpretação dos resultados.

Este caderno aborda a sondagem geolétrica e os possíveis métodos, técnicas e arranjos para realizá-la. A revisão de 2020 trouxe uma grande mudança na abordagem realizada – a revisão anterior utilizava uma perspectiva da engenharia elétrica, agora a norma utiliza de conceitos geológicos para obter os parâmetros úteis para a disciplina de elétrica.

Incorporaram-se aos conhecidos métodos elétricos para modelagem do solo, como os arranjos de Schlumberger e de Wenner (este abordado em 2.5.2 Medição de resistividade e estratificação do solo), as técnicas eletromagnéticas, como o método magnetotelúrico (MT) e o eletromagnético no domínio do tempo (TDEM), que são métodos modernos, com uma



capacidade de penetração muito maior e que já eram utilizados em projetos de sistemas de aterramento de grande porte (O SETOR ELÉTRICO, 2021).

Alguns dos principais tópicos abordados pela ABNT NBR 7117-1 incluem:

1. **Seleção do método de medição:** a norma descreve os diferentes métodos disponíveis para medir a resistividade do solo, como o método de Wenner, o método de Schlumberger, entre outros. Ela fornece orientações sobre a escolha do método mais adequado para diferentes situações.
2. **Procedimentos de medição:** são apresentados os procedimentos passo a passo para a realização da medição da resistividade do solo, incluindo a preparação do terreno, a instalação dos eletrodos, a aplicação da corrente elétrica, a coleta dos dados e a determinação da resistividade.
3. **Interpretação dos resultados:** a norma fornece orientações sobre a interpretação dos resultados obtidos nas medições, levando em consideração fatores como a profundidade, a homogeneidade e a variação da resistividade do solo.

### 3 METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE UM SISTEMA DE PDA

Neste capítulo serão apresentados os métodos utilizados para o desenvolvimento do projeto, abordando as etapas preliminares à elaboração do projeto executivo, tais como o planejamento das etapas, levantamento de documentações, medições e inspeções em campo, estudos e análises e finalmente a elaboração do projeto executivo.

#### 3.1 Cronograma de execução do trabalho

A elaboração de um cronograma é de extrema importância para o planejamento e gestão eficiente de um projeto. Um cronograma permite visualizar e organizar todas as atividades, tarefas e marcos importantes ao longo do tempo, proporcionando uma visão clara do fluxo de trabalho e dos prazos envolvidos.

Para a execução deste projeto, definiu-se um cronograma a ser seguido, que está representado através de um diagrama de Gantt, conforme apresentado na Tabela 11. Desta forma é possível realizar um acompanhamento “previsto *versus* realizado” e garantir um bom desenvolvimento das atividades.

Tabela 11 – Diagrama de Gantt

| FASE | TAREFAS                                                                                   | SEMANA |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|      |                                                                                           | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1    | Definir escopo do projeto de SPDA.                                                        |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Identificar os requisitos legais e normas aplicáveis.                                     |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Estabelecer a equipe responsável pelo projeto.                                            |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Elaborar o cronograma detalhado do projeto.                                               |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Identificar os recursos necessários (materiais, equipamentos, mão de obra, etc.).         |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Preparar o orçamento preliminar.                                                          |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Realizar levantamento das informações do local.                                           |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Realizar uma visita técnica no local para o levantamento de dados e medições necessárias. |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Analisar o tipo de SPDA mais adequado para o local.                                       |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2    | Realizar os cálculos, análises e dimensionamentos necessários.                            |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Elaborar o projeto executivo do SPDA e a especificação dos componentes.                   |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Elaborar a lista de materiais.                                                            |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Realizar a revisão e validação do projeto.                                                |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Realizar eventuais ajustes e correções.                                                   |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Preparar a documentação final do projeto.                                                 |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Verificar a conformidade com as normas aplicáveis.                                        |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 3    | Realizar a revisão final do projeto.                                                      |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Preparar a documentação técnica final, tais como o memorial descritivo, relatórios e ART. |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|      | Realizar a entrega do projeto ao cliente.                                                 |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

Previsto   
Realizado 

Fonte: próprio autor

### **3.2 Levantamento de dados**

Trata-se de uma etapa indispensável em um projeto de PDA, colher o máximo de informações possíveis do local em que a proteção será instalada. O cliente poderá fornecer projetos da edificação e até outras informações que poderão fazer a diferença no conceito que o projetista do PDA irá adotar para realizar a proteção. Porém, a visita em campo não poderá ser dispensada, por mais que haja vasta e confiável documentação – é através da inspeção de campo que se pode obter grande parte das informações necessárias para a Análise de Risco e pode-se visualizar detalhes do local que, por vezes, as documentações e projetos não apresentam.

#### **3.2.1 Levantamento de documentação existente**

Com o intuito de facilitar e agilizar a elaboração dos desenhos, solicita-se ao cliente as plantas do local, o projeto do SPDA existente (se aplicável), plantas elétricas e quaisquer outras documentações que possam ser interessantes ao projetista, trazendo informações que agregarão nos conceitos que serão empregados.

As plantas em arquivos digitais poupam tempo da equipe e do projetista, já que a necessidade de ir à campo tomar medidas da estrutura e posteriormente a realização dos desenhos pode ser suprimida ou facilitada.

#### **3.2.2 Inspeção visual**

Durante a inspeção visual no local, para um melhor desenvolvimento e aproveitamento da visita técnica, é recomendável realizar previamente uma lista dos itens que são importantes serem verificados, se possível também é recomendado a elaboração de um *checklist*.

Os registros fotográficos são também indispensáveis, pois eles são uma excelente fonte de consulta quando se está no escritório e se deseja relembrar algum detalhe ou apresentar certas situações ou não-conformidades em um relatório.

Atualmente, com a popularização dos drones, estes se tornaram uma ferramenta aliada nas inspeções, particularmente nas de SPDA. Isto porque o inspetor fica livre de subir em telhados e coberturas para análise do sistema de captação, trazendo maior comodidade e segurança.

#### **3.2.3 Medição de continuidade no eletrodo de aterramento existente**

Neste projeto em questão há uma particularidade que será apresentada no item **4.1 Contextualização do problema**, o local já possui um SPDA instalado e apesar de estar

danificado e com insuficiências técnicas, há a possibilidade de aproveitamento do sistema de aterramento. Com este eventual aproveitamento, os custos com material e mão de obra previstos para o projeto serão reduzidos em comparação a realização de uma infraestrutura completamente nova.

Para aprovar essa alternativa, é necessário realizar uma inspeção neste eletrodo. A NBR 5419-3 fornece alguns critérios que serão necessários durante a inspeção. No item **7 Manutenção, inspeção e documentação de um SPDA**, é estabelecido que o mesmo método de verificação de continuidade das armaduras (projetos de SPDA natural) poderá ser empregado para os condutores do subsistema de aterramento. Este método pode ser encontrado no Anexo F e ele estabelece que para a medição de continuidade deverá ser utilizado um instrumento de medição de resistência elétrica, tal como um microhmímetro, capaz de aplicar uma corrente elétrica entre 1 a 10 ampères de corrente contínua ou alternada, desde que essa última seja de frequência diferente de 60 Hz e seus múltiplos. O aparelho de medição deverá utilizar o método da Ponte de Kelvin (também chamado de medição a quatro fios) para a medição da resistência, neste método injeta-se corrente no circuito utilizando duas pontas de prova e realiza-se a medição da tensão utilizando as outras duas pontas, dessa forma é possível medir baixos valores de resistência elétrica com boa precisão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015c). Para as medições, utilizou-se o microhmímetro da Megabras, modelo MPK 254 (vide Figura 34), que atende aos requisitos normativos e consegue efetuar medições com resolução de  $1\mu\Omega$  injetando até 5 A de corrente contínua.

Figura 34 – Microhmímetro Megabras MPK 254



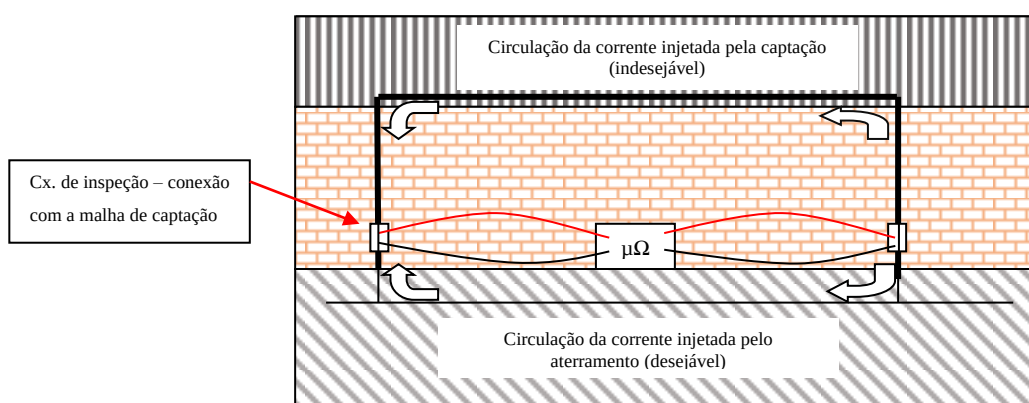
Fonte: (MEGABRAS, 2023)

Para a medição de continuidade do eletrodo de aterramento, o primeiro passo é realizar um planejamento da inspeção a ser realizada antes de ir a campo. Deverão ser levantados

todos os pontos de inspeção do aterramento do local, conhecer o tipo de aterramento do local e se possível calcular um valor teórico da resistência a ser obtida entre os trechos a serem medidos.

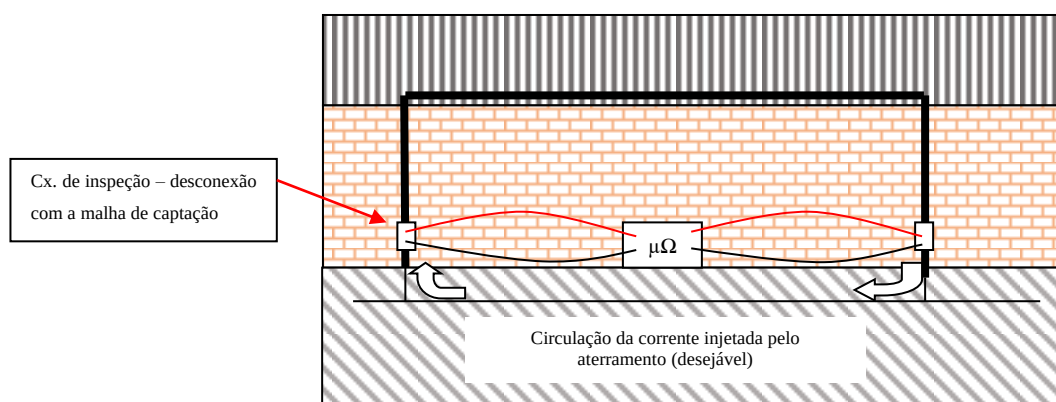
O passo seguinte após a preparação do material é a inspeção. Inicialmente deve-se desfazer as conexões entre o subsistema de aterramento e os subsistemas de descidas e captação. Isto é feito através dos conectores para ensaio existentes nas descidas. Essa separação deverá ser feita pois deseja-se que a corrente injetada circule apenas pelos condutores do eletrodo de aterramento e não pela parte das descidas e captação. Caso a corrente injetada circule por outros condutores que não os de aterramento, as leituras serão incorretas. Na Figura 35 tem-se uma ilustração dessa situação e na Figura 36 apresenta-se a forma correta de realizar a medição.

Figura 35 – Medição da resistividade do solo – forma incorreta



Fonte: próprio autor

Figura 36 – Medição da resistividade do solo – forma correta



Fonte: próprio autor

Os valores medidos devem ser anotados e, se possível, fotografados, a fim de se ter uma evidência objetiva da inspeção no caso de ser solicitado pelo cliente ou para inclusão no relatório.

A inspeção deverá abranger todos os trechos do eletrodo e os valores deverão ficar próximos ao valor teórico. Valores altos ou sem leitura poderão indicar uma insuficiência no eletrodo, como corrosão nos condutores, soldas ou conexões desgastadas.

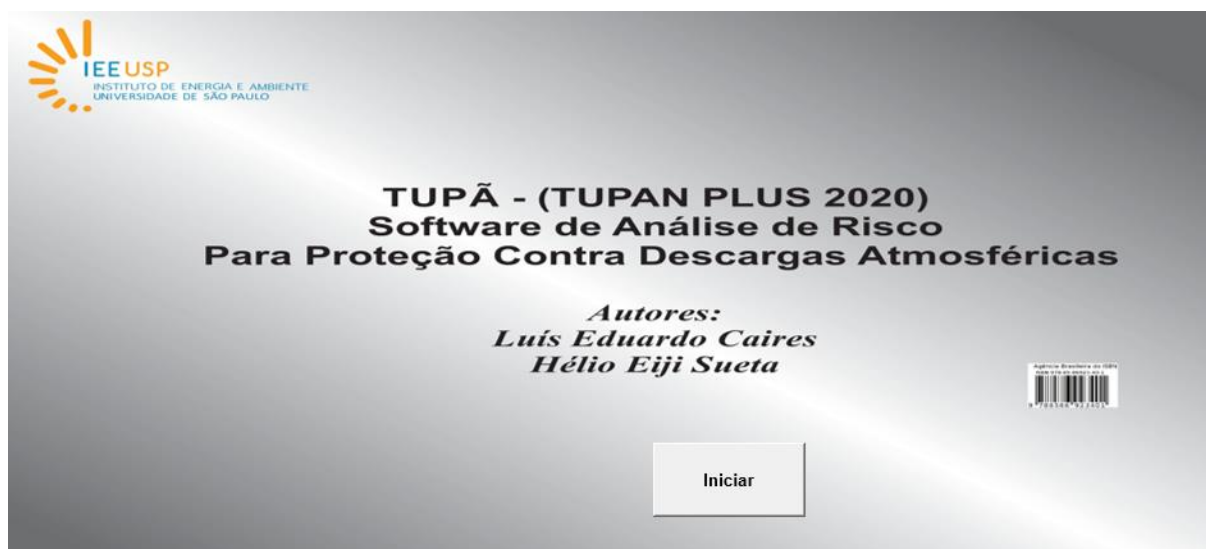
### 3.3 Análise de Riscos

Na parte 2 da NBR 5419, conforme abordado na seção 2.6.3 são estabelecidos os requisitos para a aplicação dessa metodologia que orienta o projetista a respeito da proteção a ser adotada. Cabe ressaltar que o método da Análise de Riscos deve ser respeitado como a proteção mínima a ser utilizada, mas não necessariamente deverá ser seguido integralmente. A decisão da proteção a ser implementada deverá ser do projetista.

Como exemplo, uma análise de riscos poderá indicar que a aplicação de um SPDA classe IV pode ser suficiente para o local, porém o projetista poderá dimensionar um sistema de maior eficácia na proteção e não haverá nenhum empecilho normativo quanto a isso. Porém o contrário não será válido, caso o nível de risco só seja atendido com um SPDA de determinado nível de proteção, o projetista não poderá utilizar nos dimensionamentos os critérios de um sistema de menor nível de proteção.

Calcular manualmente os fatores da análise de riscos se torna exaustivo devido à quantidade de parâmetros utilizados. Por isso, o uso de *softwares* torna-se indispensável nesta parte do projeto. Para o projeto em questão, utilizou-se o *software Tupan Plus 2020* desenvolvido pelo Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE-USP). O *software* utiliza a linguagem Visual Basic e opera na plataforma do Microsoft Excel. Na Figura 37 apresenta-se a tela inicial do software (IEE-USP, 2020).

Figura 37 – Tela Inicial do Software *Tupan*



Fonte: Próprio autor

Iniciando o *software*, abre-se uma nova janela para que se possa alimentar o *software* com os dados necessários para a análise de riscos, conforme apresentado na Figura 38. Nesta primeira aba, insere-se dados relativos à estrutura em análise:

- Área de exposição equivalente;
- Densidade de descargas atmosféricas para a terra ( $N_G$ );
- Risco de incêndio ou explosão (aplicável em áreas classificadas) e se há sistemas de combate e supressão à incêndio;
- Dados da linha de energia e de telecomunicação conectada à estrutura: fatores ambientais, tensão suportável de impulso do sistema, condições de blindagem e fator de instalação da linha.

Figura 38 – Software *Tupan*: aba “Dados Técnicos”

The screenshot shows the 'Dados Técnicos' tab in the Tupan 2020 software. The interface includes a top navigation bar with tabs: 'Dados Técnicos', 'Outros Dados', 'Resultado', 'Zonas', 'Avaliação de custo', and 'Ajuste de tela'. The main content area is divided into several sections:

- Dados de Estrutura:** Includes a field for 'Área de exposição equivalente da estrutura principal' (0 m²) and buttons for 'Com ajuda para Cálculo de estruturas simples' and 'Sem ajuda para Cálculo de estruturas simples'.
- Influências ambientais:** Includes fields for 'Localização (cidade):', 'Localização da estrutura:', 'Estrutura isolada', and 'Frequência de raios (n/a)' (0 1/km²/ano).
- Risco de incêndio ou explosão:** Includes a dropdown for 'Incêndio Baixo ou explosão (zonas 2,22)' and a button for 'Avaliação NT nº14/2019'.
- Medidas de proteção ou mitigação do risco:** Includes a dropdown for 'Proteção por SPDA (se alterar faça avaliação para todas zonas dentro da estrutura principal)' (sem SPDA) and a button for 'Ajuda para seleção dos campos'.
- Atributos da linha de energia conectada:** Includes fields for 'Comprimento da linha conectada:' (0 m) and 'Área de exposição adjacente:' (0 m²), and dropdowns for 'Fator ambiental (Ce)', 'Fator de instalação dos condutores (Ci)', 'Condição da blind., ater., e isolamento', 'Tipo de linha (Ct)', 'Tensão sup. impulso do sistema', 'DPS de acordo com nível de proteção', and 'Fiação interna (Ks3)'. It also shows 'Última zona carregada na memória: **NENHUMA**' and a button for 'Ajuda para seleção dos campos'.
- Atributos da linha de telecomunicação conectada:** Includes fields for 'Comprimento da linha conectada:' (0 m) and 'Área de exposição adjacente:' (0 m²), and dropdowns for 'Fator ambiental (Ce)', 'Fator de instalação dos condutores (Ci)', 'Condição da blind., ater., e isolamento', 'Tensão sup. impulso do sistema', 'DPS de acordo com nível de proteção', and 'Fiação interna (Ks3)'. It also shows a button for 'Ajuda para seleção dos campos'.

Fonte: Próprio autor

Na aba “Outros Dados” (Figura 39) pode-se inserir as medidas de proteção contra tensões de toque e passo, os fatores que atenuam ou amplificam os riscos de percas e é feito o dimensionamento das perdas  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  e  $L_4$ .

- Para a perca  $L_1$  insere-se a quantidade de pessoas no local e tempo de exposição delas a estrutura em horas anuais, a finalidade da edificação e os riscos que falhas dos sistemas internos poderiam causar.



- Para a perda  $L_2$ , informa-se a respeito do tipo de serviço fornecido ao público;
- A perda  $L_3$  considera os valores relativos à memória cultural da edificação;
- Na perda  $L_4$ , pode-se considerar o capital agregado ou armazenado no local – estas três últimas percas não serão aplicadas neste estudo de caso.

Figura 39 – Software *Tupan*: aba “Outros Dados”

Tupan 2020

Dados Técnicos | Outros Dados | Resultado | Zonas | Avaliação de custo | Ajuste de tela

Medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem

Contra tensão de passo e toque na estrutura: Nenhuma medida de proteção

Contra tensão de passo e toque na linha conectada: Nenhuma medida de proteção

☐ Blindagem metálica contínua ☒ Sem blindagem metálica

Largura da blindagem ou distância Wm1: 8,3333 [m] Wm2: 8,3333 [m]

Ajuda para definir largura da blindagem ou distância das descidas

Fatores de variação das perdas

Fator de redução pelo tipo de solo ou piso: Asfalto, Linóleo, Madeira

Fator de acréscimo devido a um perigo especial: Sem perigo especial

Risco admissível

|                                            |     |                  |
|--------------------------------------------|-----|------------------|
| R1 (risco de perda de vida humana)         | 1   | Valores de norma |
| R2 (risco de perda de serviço ao público)  | 100 |                  |
| R3 (risco de perda de patrimônio cultural) | 10  |                  |
| R4 (risco de perda de valor econômico)     | 100 |                  |

Dimensionamento das perdas potenciais (montante do risco)

Vidas humanas (perda L1)

Número de pessoas na zona: 0 Tempo de exposição na zona(em horas por ano): 8760

Número total de pessoas: 0

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos: Locais onde falhas de sistemas internos não causam perdas d

Tipo da estrutura: Hospital, hotel, escola, edifício cívico

Instalações de serviço ao público (perda L2)

Tipo do serviço: TV, linhas de telecomunicações

Memória cultural (perda L3)

Valor do patrimônio cultural na zona: 0 Valor total da edificação: 0

Valor econômico (perda L4)

Valor dos animais na zona: 0 Valor do conteúdo na zona: 0

Valor da edificação na zona: 0 Valor dos sistemas internos na zona: 0

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos: Nenhum risco

Tipo da estrutura: Outros

Última zona carregada na memória: **NENHUMA**

Fonte: Próprio autor

Na aba “Resultado” (Figura 40) calcula-se e apresenta-se os riscos totais  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ , e as componentes de risco  $R_A$ ,  $R_U$ ,  $R_B$ ,  $R_V$ ,  $R_C$ ,  $R_W$ ,  $R_Z$ ,  $R_M$ . É possível marcar os valores que ultrapassam os valores máximos permitidos, dessa forma pode-se identificar qual o fator que está mais preponderante e assim especificar uma medida de proteção para atenuar os valores – no caso contido na Figura 40, por exemplo, os valores relativos a descargas na estrutura estão ultrapassando o tolerável, logo um SPDA será necessário neste local.

Na aba “Zonas” (Figura 41) pode-se atribuir a análise feita para uma determinada zona da edificação, sendo possível criar mais zonas de proteção no local analisado. No caso em questão não será utilizada esta funcionalidade pois o prédio será tratado como uma única zona de proteção.

Figura 40 – Software *Tupan*: aba “Resultado”

Tupan 2020

Dados Técnicos | Outros Dados | Resultado | Zonas | Avaliação de custo | Ajuste de tela

Resultado

Atributos da avaliação  
Projeto: Quadra de Borracha  
Avaliador: Pedro Pizzoquero

Atualizar resultados

Marcar valores acima do tolerável

Riscos

Os valores abaixo devem ser multiplicados por  $10^5$

|                                              | Valores toleráveis | Zona Z1       | Total       |
|----------------------------------------------|--------------------|---------------|-------------|
| R1-Perda de vida humana                      | 1                  | 0,439653959   | 0,439653959 |
| R2-Perda de serviço ao                       | 100                | 1,31692103582 | 1,316921035 |
| R3-Perda de herança cultural                 | 10                 | <0,1          | <0,1        |
| R4-Perda de valor econômico                  | 100                | <0,1          | <0,1        |
| Custo anual das perdas (unidades monetárias) |                    | 0             |             |

Última zona carregada na memória:

Resultados na Memória de Trabalho (Volátil)

|                   | R <sub>A</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | R <sub>U</sub> | R <sub>B</sub> | R <sub>V</sub> | R <sub>C</sub> | R <sub>W</sub> | R <sub>Z</sub> | R <sub>M</sub> | R <sub>1</sub> |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>NENHUMA</b>    | 0,699962320                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <0,1           | 1,399924641    | <0,1           | <0,1           | <0,1           | <0,1           | <0,1           | 2,119563529    |
| <b>MODIFICADO</b> | <div> <b>D1 - Ferimento</b><br/> Descarga na estrutura    Descarga na linha </div> <div> <b>D2 - Danos físicos</b><br/> Descarga na estrutura    Descarga na linha </div> <div> <b>D3 - Falhas de sistemas</b><br/> Descarga na estrutura    Descarga na linha    Descarga perto da linha    Descarga perto da estrutura </div> |                |                |                |                |                |                |                |                |

Fonte: Próprio autor

Figura 41 – Software *Tupan*: aba “Zonas”

Tupan 2020

Dados Técnicos | Outros Dados | Resultado | Zonas | Avaliação de custo | Ajuste de tela

Zonas de estudo

Z1-Zona única

Descrição da zona

Guardar Z1

Carregar Z1

☒ Z1 Pertence à estrutura principal

Apagar memória temporária

Última zona carregada na memória:

**NENHUMA**

Modo Debug

SENHA MODO DEBUG

Memória permanente

Guardar caso base

Carregar caso base

Guardar caso 1

Carregar caso 1

Guardar caso 2

Carregar caso 2

Fonte: Próprio autor

Na aba “Avaliação de Custo” (Figura 42) pode-se inserir os custos para a implementação do sistema estudado e verificar a viabilidade da proteção estudada em relação as perdas de valor econômico ( $R_4$ ).

Figura 42 – Software *Tupan*: aba “Avaliação de Custo”

Fonte: Próprio autor

### 3.4 Elaboração do SPDA

Definida na análise de risco a classe do SPDA, pode-se partir para o projeto eletromecânico do SPDA. Deve-se possuir, preferencialmente em CAD, a planta do local e os cortes de pontos essenciais, que possibilitem uma análise gráfica correta do método de proteção empregado, seja ele o Eletrogeométrico, ângulo de proteção ou método das malhas.

Assim como qualquer projeto executivo, deve-se produzir desenhos claros, que enfatizem aquilo que é essencial e rico em detalhes, para que o instalador que vá executar a obra não tenha dúvidas de como será feita a instalação e quais materiais serão necessários. É recomendável colocar nas pranchas de desenhos todas as informações que o executor da obra for necessitar e não as deixar apenas no memorial descritivo.

Para um projeto de SPDA, pode-se dividir os desenhos em uma série de pranchas, tais como:

- **Planta de aterramento:** apresentando todos os detalhes relativos ao sistema de aterramento, cabos, hastes e conexões;
- **Planta de captação:** apresentando os elementos a serem instalados no telhado e que fazem parte do subsistema de captação, como mastros, minicaptadores, cabos, barras e suas conexões e os pontos que serão descidas para o subsistema de aterramento;
- **Zonas de Proteção:** uma prancha contendo as vistas, cortes e planta da edificação mostrando a região de proteção criada pelo SPDA a ser implementado. Desta forma é possível justificar que todo o sistema de captação especificado irá cobrir a edificação.
- **Detalhes típicos:** Por vezes os detalhes típicos podem ser incluídos nas próprias pranchas onde eles serão referenciados, porém no caso de vários desenhos pode ser uma boa prática colocá-los em uma prancha dedicada, para não ocorrer uma poluição visual.
- **Plantas e cortes:** Apesar de não conterem informações específicas do sistema a ser implementado, pode-se acrescentá-las a documentação, de forma a agregar em algum detalhe que foi suprimido nas demais pranchas e que poderá ser útil ao instalador.

### 3.5 Elaboração das MPS

Para a elaboração das MPS, deve-se utilizar duas normas para referência, a NBR 5419-4 e a NBR 5410. Ambas tratam deste assunto e se complementam.

Para este trabalho em questão, não serão utilizados sistemas com blindagem, portanto será abordado apenas o DPS como MPS. O método para realizar o dimensionamento deste componente não é único e o projetista deverá consultar as normas. Para este estudo de caso, não será utilizado o dimensionamento apresentado na NBR 5419-4, pois para se obter a corrente da descarga atmosférica é necessário conhecer a resistividade do solo. Portanto, serão seguidos requisitos da NBR 5410.

O primeiro parâmetro a ser considerado é a máxima tensão de operação contínua do DPS ( $U_c$ ). Este valor está associado à tensão da rede onde o DPS está instalado, mas também deverá ter um percentual a ser acrescentado dependendo do esquema de aterramento e esquema de conexão, conforme a Tabela 12.

Tabela 12 – Valor mínimo de  $U_c$  exigível do DPS em função do esquema de aterramento

| DPS conectado entre                                                                                   |        |    |     | Esquema de aterramento |           |           |                           |                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----|-----|------------------------|-----------|-----------|---------------------------|---------------------------|
| Fase                                                                                                  | Neutro | PE | PEN | TT                     | TN-C      | TN-S      | IT com neutro distribuído | IT sem neutro distribuído |
| X                                                                                                     | X      | -  | -   | $1,1 U_o$              | -         | $1,1 U_o$ | $1,1 U_o$                 | -                         |
| X                                                                                                     | -      | X  | -   | $1,1 U_o$              | -         | $1,1 U_o$ | $\sqrt{3} U_o$            | U                         |
| X                                                                                                     | -      | -  | X   | -                      | $1,1 U_o$ | -         | -                         | -                         |
| -                                                                                                     | X      | X  | -   | $U_o$                  | -         | $U_o$     | $U_o$                     | -                         |
| NOTAS                                                                                                 |        |    |     |                        |           |           |                           |                           |
| 1 Ausência de indicação significa que a conexão considerada não se aplica ao esquema de aterramento.  |        |    |     |                        |           |           |                           |                           |
| 2 $U_o$ é a tensão fase-neutro                                                                        |        |    |     |                        |           |           |                           |                           |
| 3 U é a tensão entre fases                                                                            |        |    |     |                        |           |           |                           |                           |
| 4 Os valores adequados de $U_c$ podem ser significativamente superiores aos valores mínimos da tabela |        |    |     |                        |           |           |                           |                           |

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

O parâmetro seguinte a ser definido é a tensão de proteção  $U_P$  que deverá ser dimensionada conforme a Tabela 13. O valor poderá variar de 0,8 kV a 8 kV a depender da tensão de rede e do tipo de equipamento a ser protegido.

Tabela 13 – Suportabilidade a impulso exigível dos componentes da instalação

| Tensão nominal da instalação<br>V                                                                                                                                                            |                                 | Tensão de impulso suportável requerida<br>kV     |                                                                            |                            |                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
|                                                                                                                                                                                              |                                 | Categoria de produto                             |                                                                            |                            |                                   |
| Sistemas trifásicos                                                                                                                                                                          | Sistemas monofásicos com neutro | Produto a ser utilizado na entrada da instalação | Produto a ser utilizado em circuitos de distribuição e circuitos terminais | Equipamentos de utilização | Produtos especialmente protegidos |
|                                                                                                                                                                                              |                                 | Categoria de suportabilidade a impulsos          |                                                                            |                            |                                   |
|                                                                                                                                                                                              |                                 | IV                                               | III                                                                        | II                         | I                                 |
| 120/208<br>127/220                                                                                                                                                                           | 115–230<br>120–240<br>127–254   | 4                                                | 2,5                                                                        | 1,5                        | 0,8                               |
| 220/380, 230/400,<br>277/480                                                                                                                                                                 | –                               | 6                                                | 4                                                                          | 2,5                        | 1,5                               |
| 400/690                                                                                                                                                                                      | –                               | 8                                                | 6                                                                          | 4                          | 2,5                               |
| NOTAS                                                                                                                                                                                        |                                 |                                                  |                                                                            |                            |                                   |
| 1 O anexo E traz orientação sobre esta tabela.                                                                                                                                               |                                 |                                                  |                                                                            |                            |                                   |
| 2 Valores válidos especificamente para seccionadores e interruptores-seccionadores são dados na tabela 50.                                                                                   |                                 |                                                  |                                                                            |                            |                                   |
| 3 Para componentes associados a linhas de sinal utilizados na entrada da instalação (categoria IV de suportabilidade), a tensão de impulso suportável mínima é de 1 500 V (ver IEC 61663-2). |                                 |                                                  |                                                                            |                            |                                   |

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

O terceiro parâmetro é a corrente nominal de descarga  $I_n$  e corrente de impulso  $I_{imp}$ .

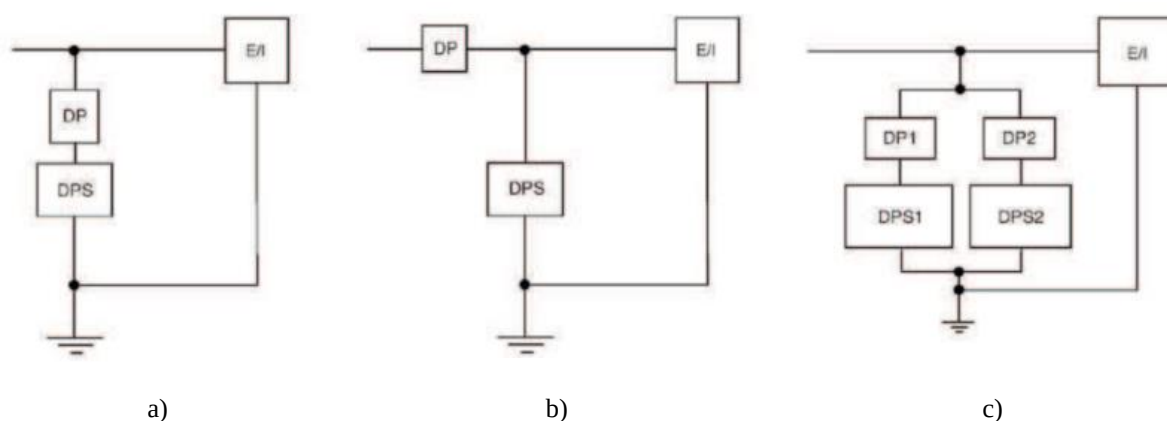
- A corrente  $I_{imp}$  é aplicável para os DPS classe I, que são capazes de suportar as ondas de corrente 10/350 e devem ser utilizados onde haja circulação de corrente impulsiva (descargas diretas na estrutura ou proximidades). Para o dimensionamento deste parâmetro a NBR 5410 recomenda o uso da IEC 61312-1 – substituída pela IEC 60305-4, que é a norma de base da NBR 5419-4 – porém caso não seja possível utilizá-las, poderá ser assumido este valor como 12,5kA para cada modo de proteção; 50kA para DPS entre neutro e PE na rede trifásica ou 25kA para rede monofásica.
- A corrente  $I_n$  é aplicável para os DPS classe II, que são capazes de suportar as ondas de corrente 8/20 e devem ser utilizados em locais sujeitos a circulação de corrente impulsiva induzida (descargas indiretas). A sua corrente nominal de descarga não deve ser inferior a 5 kA (8/20  $\mu$ s) para cada modo de proteção. Para conexão entre neutro e PE,  $I_n$  não deve ser inferior a 20 kA (8/20  $\mu$ s) em redes trifásicas, ou a 10 kA (8/20  $\mu$ s) em redes monofásicas.

Estabelecidos estes três parâmetros, pode-se consultar os catálogos de fabricantes em busca de um produto que atenda a estas necessidades. Para a instalação dos DPS são necessários outros dimensionamentos, como o de dispositivos de proteção contra sobrecorrentes no caso de falhas do DPS e os condutores de conexão.

No caso de uma falha interna do DPS, como o fim de sua vida útil ou uma solicitação extrema, há a possibilidade que este dispositivo entre em curto-circuito. O primeiro quesito que se deve projetar é o posicionamento deste dispositivo de proteção (DP), que poderá ser de três formas, conforme apresentado na Figura 43.

O esquema a) possibilita uma continuidade de operação caso haja falha do DPS, porém caso ocorra outra sobretensão a instalação estará desprotegida e caso não haja inspeção ou sinalização de queima do DPS, o defeito poderá passar despercebido. No esquema b) uma falha irá interromper o fornecimento de eletricidade para a instalação, e só poderá ser retomado na substituição do DPS – é um esquema que oferece economia e maior efetividade na proteção, já que exige a troca do dispositivo, porém compromete a continuidade do serviço. O esquema c) busca oferecer uma redundância na proteção, no caso de falha de um dispositivo haverá outro para cobrir a proteção – é o esquema que apresenta maior custo. A corrente nominal do dispositivo de proteção deverá ser especificada pelo fabricante do DPS.

Figura 43 – Possibilidades de posicionamento do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

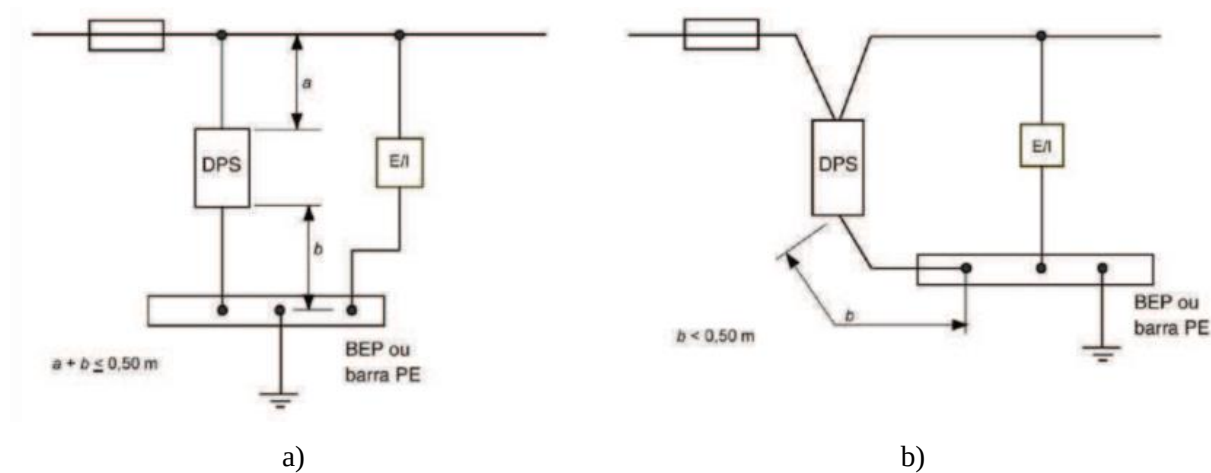


Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Os condutores a serem utilizados nas conexões da linha para o DPS deverão possuir seção nominal mínima de 4 mm<sup>2</sup> em cobre, mas caso o dispositivo esteja sendo dimensionado para receber sobretensões de descargas diretas na estrutura o cabo deverá possuir seção mínima de 16 mm<sup>2</sup> em cobre (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Quanto ao comprimento das conexões, elas deverão ser conforme apresentado na

Figura 44, preferencialmente conforme o esquema a), possuindo no máximo 0,5 metros no total. Na impossibilidade desta, a conexão entre o DPS e o BEP deverá ser inferior a 0,5 metros. As conexões deverão ser o mais retilíneas possíveis, sem curvas ou laços.

Figura 44 – Comprimento máximo total dos condutores de conexão do DPS



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)



### 3.6 Memorial descritivo

O memorial descritivo é um dos documentos que deverá compor a documentação do projeto. Trata-se, de modo geral, de um documento técnico que descreve as características de um projeto, obra ou serviço com a finalidade de fornecer as informações do trabalho que deverá ser executado. Alguns pontos que poderão conter neste documento:

- **Descrição do projeto:** Inclui o objetivo, a finalidade do projeto, suas características específicas e sua funcionalidade;
- **Especificações técnicas:** Apresenta as especificações detalhadas dos materiais a serem utilizados, incluindo suas características físicas, propriedades mecânicas, normas de referência, quantidades, entre outros aspectos técnicos;
- **Metodologia de execução:** Descreve os procedimentos a serem seguidos durante a execução de alguma etapa ou de todo o projeto.
- **Cronograma:** estabelece o prazo estimado para a execução do projeto, dividindo as atividades em etapas e indicando as datas previstas para cada uma delas.
- **Normas e regulamentos:** É importante serem incluídas normas de referência que deverão ser seguidas durante a execução do projeto, garantindo a conformidade com os padrões estabelecidos.

Trata-se de um documento de grande relevância no projeto pois ele é tomado como referência para as diversas partes envolvidas, como empresa contratante, contratada, responsável técnico, fornecedores e executores do trabalho.

### 3.7 Lista de materiais

Trata-se de um item indispensável em qualquer projeto elétrico ou eletromecânico. Nessa lista, deve-se apresentar a descrição do material, e apresentar um fabricante para a referência, com o código específico do produto.

Também devem ser calculadas as quantidades de cada material. Dependendo do produto, é de boa prática prever uma porcentagem de sobras do material, pois durante a execução dos trabalhos pode acontecer certos imprevistos: o instalador poderá perder algum material, seja por descuido ou por falha durante a instalação. No caso de cabos e terminais, pode ocorrer que durante a compressão, ocorra alguma falha e perca-se o trecho do cabo e o terminal.

O projetista deverá calcular com precisão a quantidade de materiais e estipular um percentual para essa sobra utilizando o bom-senso, pois nem todo material exige sobra, devido seu custo ou a probabilidade de perdê-lo durante a instalação ser muito improvável. Na Tabela 14 apresenta-se um exemplo de uma lista de materiais.

Tabela 14 – Exemplo de uma Lista de Materiais

| PLANILHA DE MATERIAIS |      |     |                                                                                                   |               | FOLHA                   |
|-----------------------|------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------|
|                       |      |     |                                                                                                   |               | 01 de 02                |
| Cliente:              |      |     |                                                                                                   | Pedido: _____ | Data: 21/03/2022        |
| Projeto:              | PDA  |     |                                                                                                   |               |                         |
| Local:                |      |     |                                                                                                   |               |                         |
| Item                  | Qtd. | Un. | CAPTAÇÃO                                                                                          | Ref.          | Empresa                 |
| 1                     | 4    | Pç  | Termocaptor de aço galvanizado á fogo, de Ø16 mm, com 4 m de comprimento.                         | Tel 974       | Termotécnica ou similar |
| 2                     | 2    | Pç  | Minicaptor em alumínio 7/8" x 1/8" x 600 mm.                                                      | Tel 940       | Termotécnica ou similar |
| 3                     | 10   | Pç  | Mastro telescópico em aço galvanizado a fogo - 8 metros                                           | Tel 491       | Termotécnica ou similar |
| 4                     | 10   | Pç  | Captor Franklin em aço inox - 3/4" x 350 mm                                                       | Tel 010       | Termotécnica ou similar |
| 5                     | 10   | Pç  | Abraçadeira para aterramento de mastros de Ø2" com dois conectores p/ cabos 35-70 mm <sup>2</sup> | Tel 806       | Termotécnica ou similar |
| 6                     | 10   | Pç  | Abraçadeira para mastro 4 estais                                                                  | PK-0613       | Paraklin ou similar     |

Fonte: próprio autor

## **4 ESTUDO DE CASO: PROJETO DE UM SISTEMA DE PDA PARA UMA INSTALAÇÃO ELÉTRICA INDUSTRIAL**

Ao longo deste trabalho foram abordados todos os conceitos, as ferramentas e metodologias necessárias para a elaboração de um projeto de PDA. Neste capítulo será apresentado o estudo de caso, contendo toda a sua contextualização, e a aplicação da metodologia descrita no capítulo 3 para a elaboração e desenvolvimento do projeto.

### **4.1 Contextualização do problema e apresentação da edificação**

A empresa responsável pela elaboração do projeto foi contratada para desenvolver uma solução de PDA para um galpão de estocagem industrial. O galpão já possuía um SPDA, porém, após uma inspeção geral dos sistemas de PDA realizada em toda a planta, foram verificadas não conformidades no sistema instalado e o relatório apontou a necessidade da adequação de todo o sistema deste prédio.

O prédio em questão é utilizado como estoque de matéria prima para a fábrica e a parte dos fundos é utilizada como almoxarifado. O telhado do prédio possui um formato convexo, é fabricado com telhas de fibrocimento e a estrutura é feita de madeira. A estrutura principal do prédio é feita por colunas de concreto, igualmente espaçadas e simétricas. A maior parte das laterais do prédio é aberta, outras partes são parcialmente fechadas em alvenaria ou com telhas metálicas.

Por se tratar de um armazém, em uma das laterais há um pátio de manobras, onde circulam caminhões e empilhadeiras. Na outra lateral há apenas um terreno fechado da empresa, onde não há fluxo de pessoas. No final do prédio há uma estrutura anexa ao prédio que não pertence a empresa em questão, logo o projeto que será elaborado não contemplará esta estrutura, que está sendo identificada na planta baixa que é apresentada na Figura 45 e no Anexo B.

O prédio também possui uma parede corta-fogo, aproximadamente em sua metade, que separa o armazém de matéria-prima do almoxarifado. Esta parede se eleva além da estrutura do telhado, tal detalhe pode ser verificado na Figura 46.



Figura 47 – Relé Fotocélula próximo ao condutor de descida



Fonte: Próprio autor

O projeto possuía como maior desafio a restrição imposta pela empresa contratante, que durante a execução a equipe de montagem não poderia andar sobre o telhado, devido ao elevado risco de queda, pois as telhas são de fibrocimento e apresentam sinais de desgaste e pontos de fragilidade em algumas partes. Logo, deverá ser idealizada uma solução que atenda a esta necessidade.

## 4.2 Levantamento de dados do local

A empresa contratante não localizou de imediato os projetos do galpão, tais como plantas baixas ou o projeto do SPDA que estava instalado. Com isso, foi necessário realizar um levantamento das dimensões do galpão em campo.

Com o uso de trena a laser (Figura 48) e trena de fita, aferiu-se todas as medições que são necessárias para a elaboração da planta baixa e dos cortes. Tais desenhos estão disponíveis para consulta no Anexo B e no Anexo E.

Figura 48 – Trena a Laser



Fonte: (BOSCH, 2023)

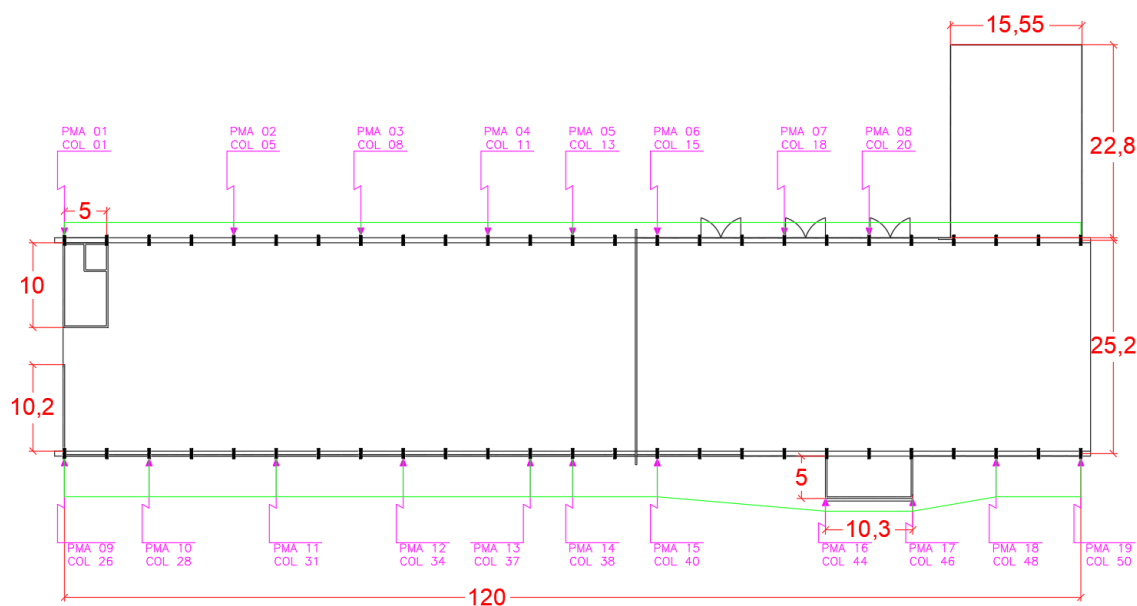
Durante o levantamento da planta baixa do prédio, foram registradas diversas fotografias do local. Esses registros podem ser utilizados para consultas caso apareçam dúvidas e seja necessário retomar algum detalhe que pode ter passado despercebido no momento da inspeção e assim pode-se poupar uma nova visita ao local. Também foi preenchido um *checklist*, contendo informações que são importantes na elaboração da Análise de Risco do local. O *checklist* preenchido com todas as informações pode ser verificado na íntegra no Anexo A.

### 4.3 Aproveitamento de parte do sistema de aterramento existente

Devido a existência de um SPDA no local, há a possibilidade de aproveitamento de parte da estrutura existente a fim de redução de custos com matéria prima e mão de obra. Porém, deve-se comprovar através de ensaios e inspeções que os elementos existentes apresentam condições de serem mantidos sem que o novo sistema de proteção fique comprometido devido à má qualidade das partes do sistema anterior.

Para isso, executou-se o ensaio de medição da continuidade do eletrodo de aterramento existente, cujo método utilizado foi descrito no item 3.2.3. Na Figura 49 tem-se a planta baixa do prédio indicando os Pontos de Medição de Aterramento (PMA), que são os locais em que estão posicionadas as descidas e que, obrigatoriamente deverão possuir os conectores para ensaio, em que são feitas as aferições.

Figura 49 – Planta baixa indicando os PMA do local



Fonte: Próprio autor

Na Figura 50 apresenta-se o momento em que era realizada uma das medições. Nota-se o microhmímetro com uma de suas garras conectadas ao cabo de cobre do aterramento no interior da caixa de inspeção. Na Tabela 15, apresenta-se os resultados obtidos.

Figura 50 – Medição da Continuidade do Eletrodo de Aterramento



Fonte: Próprio autor

Tabela 15 – Valores obtidos na medição de continuidade no eletrodo de aterramento

| PMA     | Comprimento (m) | Valor Medido (mΩ) | Valor Calculado (mΩ) | Seção Nominal do eletrodo (teórica) (mm²) | Resultado |
|---------|-----------------|-------------------|----------------------|-------------------------------------------|-----------|
| 01 – 09 | 33              | L.C.              | 8,492                | 70                                        | N.C.      |
| 01 – 02 | 26              | 6,132             | 6,196                | 70                                        | C         |
| 02 – 03 | 21              | 5,278             | 4,965                | 70                                        | C         |
| 03 – 04 | 21              | 7,166             | 5,537                | 70                                        | C         |
| 04 – 05 | 16              | L.C.              | 4,305                | 70                                        | N.C.      |
| 05 – 06 | 16              | L.C.              | 4,305                | 70                                        | N.C.      |
| 06 – 07 | 21              | 6,913             | 6,108                | 70                                        | C         |
| 07 – 08 | 16              | 5,415             | 4,877                | 70                                        | C         |
| 09 – 10 | 22              | L.C.              | 7,980                | 70                                        | N.C.      |
| 10 – 11 | 27              | O.R.              | 9,212                | 70                                        | N.C.      |
| 11 – 12 | 27              | 9,330             | 9,212                | 70                                        | C         |
| 12 – 13 | 27              | 9,116             | 9,212                | 70                                        | C         |
| 13 – 14 | 17              | –                 | 6,749                | 70                                        | N.C.      |
| 14 – 15 | 22              | –                 | 7,980                | 70                                        | N.C.      |
| 13 – 15 | 22              | 9,323             | 9,212                | 70                                        | C         |
| 15 – 16 | 29              | 10,066            | 9,064                | 70                                        | C         |
| 16 – 17 | 16              | 5,830             | 5,222                | 70                                        | C         |
| 17 – 18 | 19              | 6,778             | 6,601                | 70                                        | C         |
| 18 – 19 | 22              | 6,982             | 6,946                | 70                                        | C         |
| 19 – 20 | 26              | L.C.              | 9,335                | 70                                        | N.C.      |
| 20 – 08 | 74              | L.C.              | 20,763               | 70                                        | N.C.      |

C = Conforme.

N.C. = Não conforme.

O.R. = Valor acima do fundo de escala.

L.C. = Valor não medido devido a circuito sem continuidade elétrica.



Nota-se que algumas medições não apresentaram leitura, devido a alguma descontinuidade no eletrodo, seja por rompimento do cabo ou por corrosão nas soldas exotérmicas. Tais trechos necessitarão de substituição. As medições que obtiveram leitura ficaram com valores bem próximos aos calculados. No PMA 14 não havia conector de ensaio, sendo assim não foi possível realizar medições e considerou-se a medição como não-conforme.

Este sistema de aterramento não utiliza cabos com fios de 3 mm de diâmetro, conforme prescrito na tabela 7 da NBR 5419-3, porém, ele atende os valores calculados para cabos de 70 mm<sup>2</sup>, valor acima do mínimo exigido de 50 mm<sup>2</sup> pela NBR 5419-3. Portanto, irá se recomendar que sejam realizadas inspeções periódicas no eletrodo, pois a tendência de um cabo com maior número de fios é que o processo de degradação seja mais acelerado.

#### 4.4 Análise de Risco

Para a realização da Análise de Risco é necessário levantar informações do local, essas informações foram obtidas em visita ao local, o *checklist* contido no Anexo A foi utilizado como uma ferramenta de apoio, tanto para a execução da análise de riscos quanto para a elaboração do relatório de inspeção.

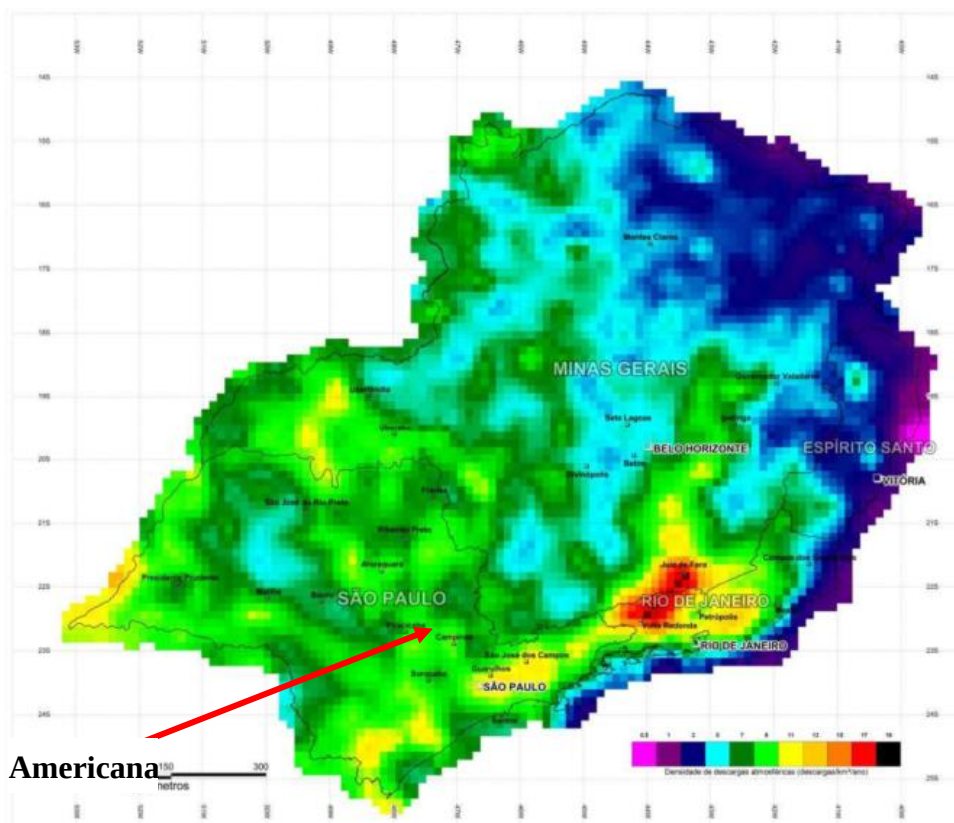
Neste caso, realizou-se duas análises de riscos: uma inicial, considerando a atual situação da estrutura e outra contendo as medidas de proteção mínimas para se obter um risco tolerável.

Em ambas as análises, alguns parâmetros serão constantes, como aqueles relativos ao local e a estrutura em si. Abaixo, apresenta-se as informações inseridas no *software* Tupan.

##### 4.4.1 Densidade de descargas atmosféricas NG:

Para obter o valor deste parâmetro, consulta-se o Anexo F da NBR 5419-2, figura F.5, conforme apresentado na Figura 51. O valor de  $N_G$  obtido para este caso é de 9 descargas atmosféricas/km<sup>2</sup>/ano (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b).

Figura 51 – Densidade de descargas atmosféricas  $N_G$  – Mapa da região Sudeste (descargas atmosféricas/km<sup>2</sup>/ano)



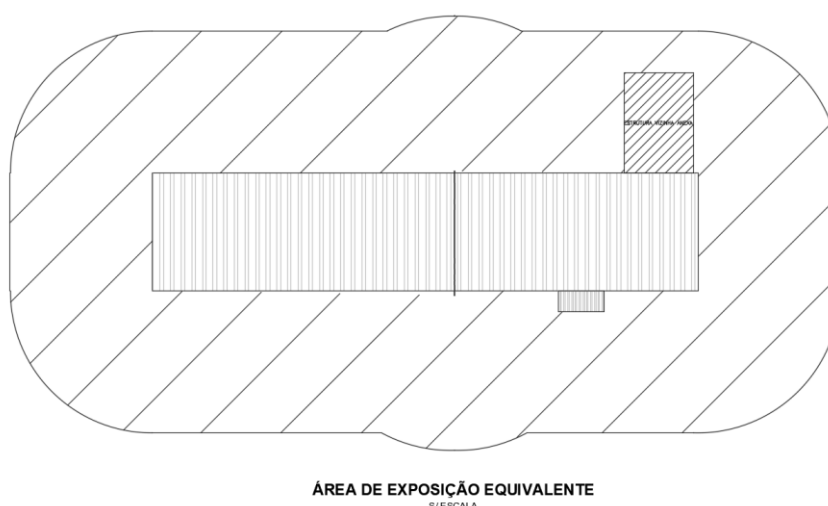
Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

#### 4.4.2 Área de exposição equivalente da estrutura principal $A_D$

A área de exposição equivalente da estrutura é a área definida pela interseção entre a superfície do solo com uma linha reta de inclinação 1 para 3, a qual passa pelas partes mais altas da estrutura (tocando-a nestes pontos) e rotacionando ao redor dela (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b). Basicamente, deve-se projetar 3 vezes a altura da estrutura ao redor da mesma.

Neste caso, se tratando de uma estrutura com algumas complexidades, optou-se por calcular essa área graficamente, pelo *AutoCAD*. Na Figura 52, tem-se a representação desta área. A estrutura vizinha anexa não foi incluída neste cálculo, já que ela não será protegida, por ser uma área de outra empresa. A área de exposição equivalente da estrutura é de 13.910 m<sup>2</sup>.

Figura 52 – Área de exposição equivalente da estrutura principal



Fonte: Próprio Autor

#### 4.4.3 Atributos da linha de energia conectada

A linha de energia que alimenta a estrutura vem de uma rede subterrânea, através de cabos singelos, sem blindagem. A tensão de alimentação do local é em 480V sem neutro distribuído. A tensão passa por um transformador que reduz para 127/220V. Estima-se que a linha tenha em torno de 250 metros de comprimento, a partir da subestação de onde ela oriunda.

#### 4.4.4 Atributos da linha de telecomunicações conectada

A linha de telecomunicações presente no local é do sistema de alarme de incêndio, que utiliza cabos de fibra ótica, portanto será considerado que o local não possui linha de telecomunicações conectada, já que o meio utilizado não é elétrico e, portanto, não se corre o risco de haver alguma corrente induzida ou direta causada por descargas atmosféricas.

#### 4.4.5 Risco de Incêndio ou explosão (para áreas classificadas)

O local, apesar de ser um armazém com matéria prima, não é considerado uma área classificada e possui um risco de incêndio comum. Também possui um sistema de supressão de incêndio constituído por extintores, hidrantes e alarmes.

#### 4.4.6 Número de pessoas no local

Considerou-se 10 pessoas presentes no local cerca de 24 horas por dia durante 365 dias, apresentando um total de 8760 horas por ano.

#### 4.4.7 Resultados das análises de risco

Conforme abordado anteriormente, fez-se uma análise de risco inicial considerando a situação atual da estrutura. Devido a situação precária do SPDA, não foi considerada nenhuma proteção com essa finalidade. O relatório geral da análise pode ser verificado na Tabela 16.

Tabela 16 – Resultado da análise de risco inicial

|                                                                   |                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Área de exposição equivalente $A_D$ [m <sup>2</sup> ]             | 13910                                                                                         |
| <b>Influências ambientais</b>                                     |                                                                                               |
| Localização ( $c_D$ ):                                            | Estrutura cercada por objetos de mesma altura ou mais baixos                                  |
| Frequência de descarga para terra $N_G$ [1/km <sup>2</sup> /ano]: | 10,064                                                                                        |
| Tipo de solo:                                                     | Agrícola, concreto                                                                            |
| Tipo de estrutura:                                                | Locais onde falhas de sistemas internos não causam perdas de vidas humanas                    |
| Risco de incêndio ( $r_I$ ):                                      | Incêndio Normal                                                                               |
| Perigo especial ( $h_z$ ):                                        | Baixo nível de pânico (ex.: prédio com até 2 andares e quantidade de pessoas limitadas a 100) |
| Número de pessoas na zona:                                        | 10                                                                                            |
| Serviços conectados:                                              |                                                                                               |
| Largura da blindagem ou distância entre as descidas $w_1$ [m]     | 8,3333                                                                                        |

|                                                               |                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Largura da blindagem ou distância entre as descidas $w_2$ [m] | 8,3333                                                                                                     |
| <b>Medidas de proteção</b>                                    |                                                                                                            |
| Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA):     | sem SPDA                                                                                                   |
| Meios para restringir as consequências de incêndio ( $r_p$ ): | Extintores manuais, alarmes manuais, hidrantes, rotas de fuga protegidas ou compartimentos à prova de fogo |
| Contra tensão de toque ou passo na estrutura ( $P_{TA}$ ):    | Nenhuma medida de proteção                                                                                 |
| Contra tensão de toque ou passo na linha ( $P_{TA}$ ):        | Nenhuma medida de proteção                                                                                 |
| <b>Atributos da linha conectada:</b>                          |                                                                                                            |
| <b>Linha de energia</b>                                       |                                                                                                            |
| Fator ambiental da linha:                                     | Urbano                                                                                                     |
| Fiação interna:                                               | Não blindado- sem precaução para evitar laços                                                              |
| Tensão suportável de impulso atmosférico no sistema [kV]      | 2,5kV                                                                                                      |
| Dispositivo de proteção contra Surto DPS ( $P_{SPD}$ ):       | Sem proteção coordenada com DPS                                                                            |
| Modo de instalação da linha ( $C_l$ ):                        | Enterrado                                                                                                  |
| <b>Linha de telecomunicação</b>                               |                                                                                                            |
| Fator ambiental da linha:                                     | Nenhuma linha externa                                                                                      |
| Fiação interna:                                               | Nenhuma linha externa                                                                                      |
| Tensão suportável de impulso atmosférico no sistema [kV]      | Nenhuma linha externa                                                                                      |
| Dispositivo de proteção contra Surto DPS ( $P_{SPD}$ ):       | Nenhuma linha externa                                                                                      |
| Modo de instalação da linha ( $C_l$ ):                        | Nenhuma linha externa                                                                                      |
| <b>Resultado</b>                                              |                                                                                                            |
| Perda de vida humana $R_1$                                    | 2,4934E-05                                                                                                 |
| Avaliação de risco:                                           | intolerável                                                                                                |
| Perda de serviço público $R_2$                                | 2,4239E-04                                                                                                 |
| Avaliação de risco:                                           | tolerável                                                                                                  |
| Perda de herança cultural $R_3$                               | 0,0000E+00                                                                                                 |
| Avaliação de risco:                                           | tolerável                                                                                                  |
| Perda econômica $R_4$                                         | 0,0000E+00                                                                                                 |
| Avaliação de risco:                                           | tolerável                                                                                                  |

Fonte: próprio autor

Nota-se que o risco de vida humana apresentou um valor intolerável. Os valores de tolerância que estão sendo utilizados são os padrões, atribuídos pela NBR 5419-2.

Realizando uma segunda análise de riscos, aplicando um SPDA classe IV e proteção contra surtos classe III-IV na linha conectada, obtém-se o relatório da Tabela 17.

Tabela 17 – Resultado da análise de risco a ser seguida

|                                                                   |                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Área de exposição equivalente $A_D$ [m <sup>2</sup> ]             | 13910                                                                                                      |
| <b>Influências ambientais</b>                                     |                                                                                                            |
| Localização ( $C_D$ ):                                            | Estrutura cercada por objetos de mesma altura ou mais baixos                                               |
| Frequência de descarga para terra $N_G$ [1/km <sup>2</sup> /ano]: | 10,064                                                                                                     |
| Tipo de solo:                                                     | Agrícola, concreto                                                                                         |
| Tipo de estrutura:                                                | Locais onde falhas de sistemas internos não causam perdas de vidas humanas                                 |
| Risco de incêndio ( $r_f$ ):                                      | Incêndio Normal                                                                                            |
| Perigo especial ( $h_z$ ):                                        | Baixo nível de pânico (ex.: prédio com até 2 andares e quantidade de pessoas limitadas a 100)              |
| Número de pessoas na zona:                                        | 10                                                                                                         |
| Serviços conectados:                                              |                                                                                                            |
| Largura da blindagem ou distância entre as descidas $w_1$ [m]     | 8,3333                                                                                                     |
| Largura da blindagem ou distância entre as descidas $w_2$ [m]     | 8,3333                                                                                                     |
| <b>Medidas de proteção</b>                                        |                                                                                                            |
| Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA):         | Classe do SPDA IV                                                                                          |
| Meios para restringir as consequências de incêndio ( $r_p$ ):     | Extintores manuais, alarmes manuais, hidrantes, rotas de fuga protegidas ou compartimentos à prova de fogo |
| Contra tensão de toque ou passo na estrutura ( $P_{TA}$ ):        | Nenhuma medida de proteção                                                                                 |
| Contra tensão de toque ou passo na linha ( $P_{TA}$ ):            | Nenhuma medida de proteção                                                                                 |
| <b>Atributos da linha conectada:</b>                              |                                                                                                            |
| <b>Linha de energia</b>                                           |                                                                                                            |
| Fator ambiental da linha:                                         | Urbano                                                                                                     |
| Fiação interna:                                                   | Não blindado- sem precaução para evitar laços                                                              |
| Tensão suportável de impulso atmosférico no sistema [kV]          | 2,5kV                                                                                                      |
| Dispositivo de proteção contra Surto DPS ( $P_{SPD}$ ):           | III-IV                                                                                                     |
| Modo de instalação da linha ( $C_l$ ):                            | Enterrado                                                                                                  |
| <b>Linha de telecomunicação</b>                                   |                                                                                                            |
| Fator ambiental da linha:                                         | Nenhuma linha externa                                                                                      |
| Fiação interna:                                                   | Nenhuma linha externa                                                                                      |
| Tensão suportável de impulso atmosférico no sistema [kV]          | Nenhuma linha externa                                                                                      |

|                                                         |                       |
|---------------------------------------------------------|-----------------------|
| Dispositivo de proteção contra Surto DPS ( $P_{SPD}$ ): | Nenhuma linha externa |
| Modo de instalação da linha ( $C_i$ ):                  | Nenhuma linha externa |
| <b>Resultado</b>                                        |                       |
| <b>Perda de vida humana <math>R_1</math></b>            | <b>4,3965E-06</b>     |
| <b>Avaliação de risco:</b>                              | <b>tolerável</b>      |
| <b>Perda de serviço público <math>R_2</math></b>        | <b>1,3169E-05</b>     |
| <b>Avaliação de risco:</b>                              | <b>tolerável</b>      |
| <b>Perda de herança cultural <math>R_3</math></b>       | <b>0,0000E+00</b>     |
| <b>Avaliação de risco:</b>                              | <b>tolerável</b>      |
| <b>Perda econômica <math>R_4</math></b>                 | <b>0,0000E+00</b>     |
| <b>Avaliação de risco:</b>                              | <b>tolerável</b>      |

Fonte: próprio autor

Com isso, os valores de risco de perda de vida humana atingiram valores dentro da margem de tolerância, logo, para este cenário e esta estrutura, um SPDA classe IV e um sistema de DPS com nível de proteção III-IV atendem os requisitos estabelecidos pela NBR 5419-2.

## **4.5 Projeto do SPDA**

Conforme apresentado anteriormente, será necessário a implementação de um SPDA classe IV e a instalação de dispositivos supressores de surtos na linha conectada ao prédio de estocagem.

Nos itens a seguir apresenta-se cada parte individual do projeto da PDA, buscando detalhar as peculiaridades deste projeto e a solução adotada, que tem como premissa conciliar as necessidades do cliente, os atributos do projetista e os requisitos normativos.

### **4.5.1 Subsistema de Captação**

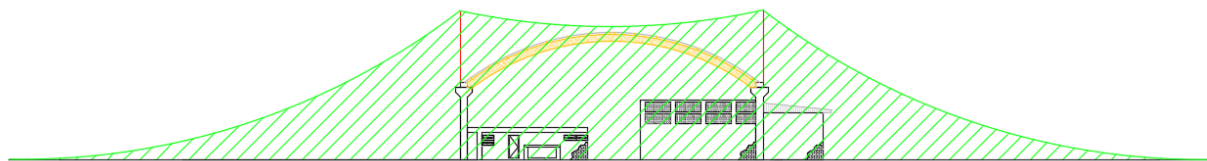
A primeira escolha que o projetista deve tomar para o sistema de captação é escolher os métodos de proteção aplicáveis. Por se tratar de uma estrutura simples, será utilizado um único método durante todo o projeto da captação. Avaliando o método das malhas, verifica-se que é necessário a criação de malhas metálicas sobre o telhado. Entretanto, conforme estabelecido pelo cliente está vetado o trabalho sobre a cobertura, e, portanto, é descartada a possibilidade de uso deste método.

Tanto o método do ângulo de proteção quanto o da esfera rolante são aplicáveis à situação. Realizando um estudo preliminar feito através de desenhos em CAD, fez-se o dimensionamento de um mastro instalado na lateral do prédio utilizando o método da esfera rolante, apresentado na Figura 53. Utilizou-se este corte por se tratar da região com maior dificuldade para se traçar a zona de proteção requerida, já que a ela deve cobrir todo o telhado, que é uma estrutura que se eleva no ponto onde a esfera rolante ou a linha formada pelo ângulo de proteção está mais baixa.

Com uma esfera rolante de 60 metros, exigida para o nível de proteção IV, aplicou-se sua extremidade mais baixa bem próxima ao telhado, sem que encostasse, dessa forma pôde-se estabelecer as alturas dos mastros captadores, apresentados na Figura 53, em vermelho. Em seguida, aplicou-se mais duas esferas, partindo da ponta dos mastros até o solo, fechando a zona de proteção adquirida com esses dois mastros. Nota-se que toda a estrutura está protegida. Neste caso, com mastros de 6 metros acima da linha da calha de água pluvial consegue-se a proteção necessária.



Figura 53 – Estudo preliminar – Método da esfera rolante



Fonte: Próprio autor

Utilizando esse mesmo arranjo, analisou-se pelo método do ângulo de proteção para verificar sua viabilidade. Inicialmente obteve-se o ângulo de proteção considerando o solo como um plano de referência e o topo do telhado como o segundo plano. O ângulo de proteção utilizado e a altura do captor em relação ao plano de referência estão apresentados na Tabela 18. Tal valor de ângulo pode ser obtido através do gráfico contido na Figura 1 da NBR 5419-2. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b).

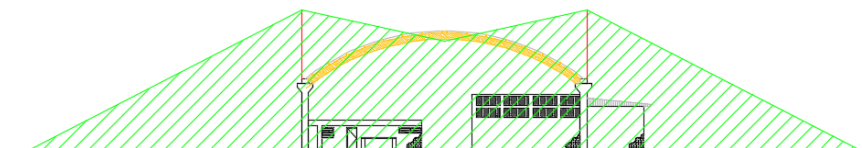
Tabela 18 – Ângulo de proteção obtido para a estrutura a ser protegida

| Altura do captor ao plano de referência (m) | Ângulo de proteção (graus) |
|---------------------------------------------|----------------------------|
| 12,4                                        | 63                         |
| 1,8                                         | 78                         |

Fonte: próprio autor

Dessa forma, obteve-se a zona de proteção representada na Figura 54. Nota-se que o topo do telhado ficou desprotegido e que, para conseguir protegê-lo, mastros mais altos seriam requeridos, necessitando de estruturas mais reforçadas para recebê-los, o que deixará o projeto com custo maior.

Figura 54 – Estudo preliminar – Método do ângulo de proteção



Fonte: Próprio autor

Portanto, o método da esfera rolante será utilizado no dimensionamento do sistema de captação, por exigir estruturas mais simples que trarão um custo-benefício mais interessante. As zonas de proteção obtidas estão apresentadas em maiores detalhes no Anexo F.

O posicionamento dos captores é realizado por tentativa e erro no software CAD. Posiciona-se um captor e na sequência aplica-se a esfera rolante, verificando qual será a área

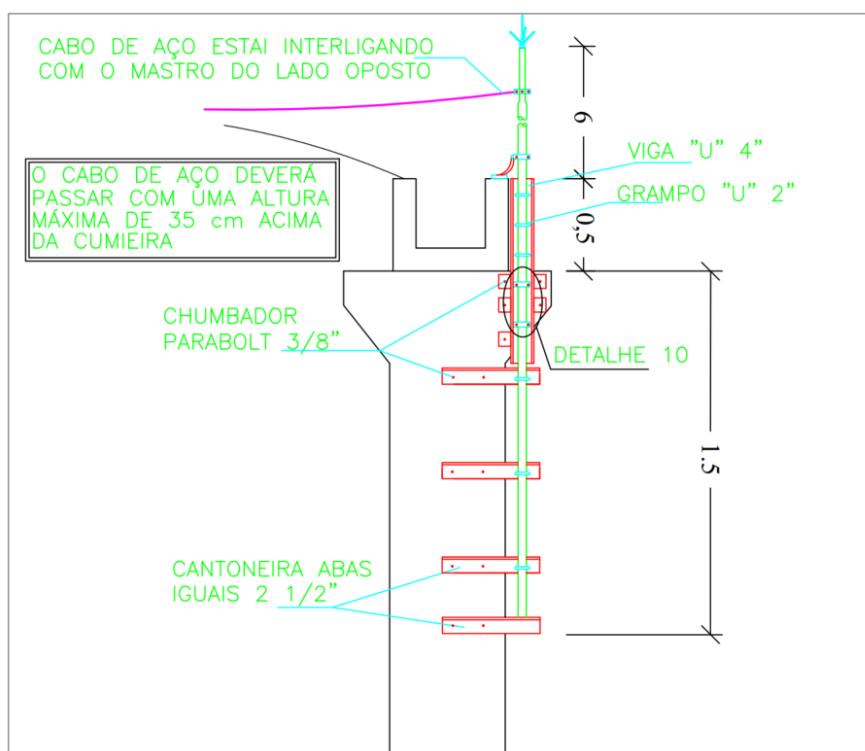
de cobertura obtida, se a esfera tocar a estrutura, mais captosres são necessários. Esta análise deverá ser feita em várias vistas e cortes na estrutura, quanto mais complexa a forma do prédio, maior a quantidade de representações serão necessárias. Dessa forma, faz-se toda a distribuição de forma que se utilize o menor número de captosres e obtenha-se uma proteção completa. Para isso, entretanto, o projetista deverá se atentar nas questões normativas e é interessante que também se atente a estética. Deverá se levar em conta também a exigência do cliente que para a instalação os trabalhadores não poderão andar sobre o telhado.

O prédio em questão é todo estruturado em colunas distribuídas uniformemente de 5 em 5 metros e elas ficam sobressalentes à parede, o que possibilita a fixação dos mastros nas mesmas.

Inicialmente foi projetado um anel de captação em todo o perímetro do prédio, que conectará todos os mastros e captosres, utilizando barra chata de alumino de 7/8"x1/8", e deverá ser instalado nos lados externos das calhas de concreto para captação de águas pluviais, nas extremidades das telhas de fibrocimento da parte da frente e de trás do telhado.

Ao longo do anel de captação serão instalados 10 mastros telescópicos com captosres Franklin com comprimento total de 8 metros, sendo que 2 metros será utilizado para fixação, ficando 6 metros acima da parte superior da calha de captação de águas pluviais. Os mastros deverão ser instalados na lateral das colunas conforme apresentado na Figura 55.

Figura 55 – Detalhe da fixação dos mastros



Fonte: próprio autor

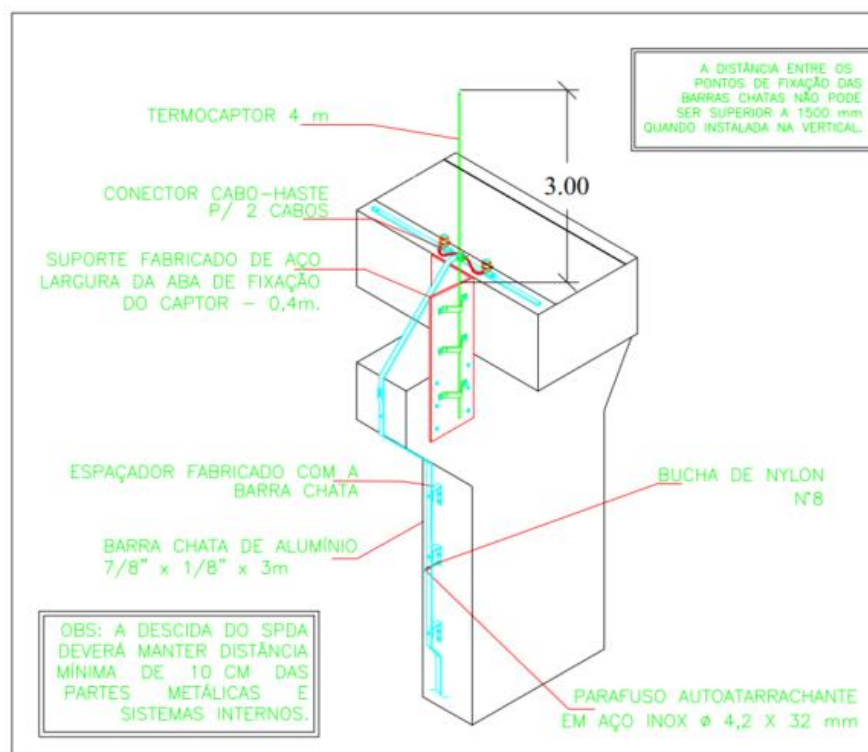
Como medida de contraventamento, estes mastros deverão ser estaiados com cabos de aço entre as colunas e os mastros opostos deverão ser fixados entre si, com cabos de aço passando pelo telhado mantendo uma distância de segurança da cumieira. Este cabo de aço está sendo previsto ser instalado dentro da zona de proteção do SPDA, já que ele não será projetado para receber o impacto de uma descarga atmosférica, apenas está sendo utilizado para fins mecânicos.

Nas colunas 1, 25, 26 e 50 deverão ser instalados captores de 3 metros, devido às interferências no local e devido à dificuldade de estaiamento de um possível mastro nestas estruturas, esta instalação pode ser vista com detalhes na Figura 56. Na cumieira entre as colunas 1-26 e 25-50, deverá ser instalado um minicaptor de 600 mm fixado no anel de captação, conforme apresentado no Anexo D.

O prédio também possui, na metade de seu comprimento, uma parede corta-fogo, que se eleva acima do telhado em alguns metros e a zona de proteção criada pelos mastros não a cobriria, sendo, portanto, necessário especificar para esta estrutura uma barra chata de alumínio 7/8" percorrendo o topo. Dessa forma se estabelece a proteção para esta parte da estrutura. O projeto completo do sistema de captação pode ser conferido no Anexo D. Com

este projeto, poderá ser instalado todo o sistema apenas utilizando plataformas elevatórias e caminhões Munck, sem colocar os trabalhadores para executarem o serviço andando sobre a cobertura.

Figura 56 – Detalhe da fixação dos captosres instalados nas colunas 1, 25, 26 e 50



Fonte: próprio autor

#### 4.5.2 Subsistema de Descidas

Para o subsistema de descida, a norma exige para a classe IV de proteção, que sejam instaladas descidas com no máximo 20 metros (sendo toleráveis 20% de desvio). Neste prédio em questão, tem-se colunas a cada 5 metros, trazendo um facilitador na distribuição delas, além do que, os mastros estarão fixados nas mesmas colunas, atendendo a exigência de se ter uma descida por mastro.

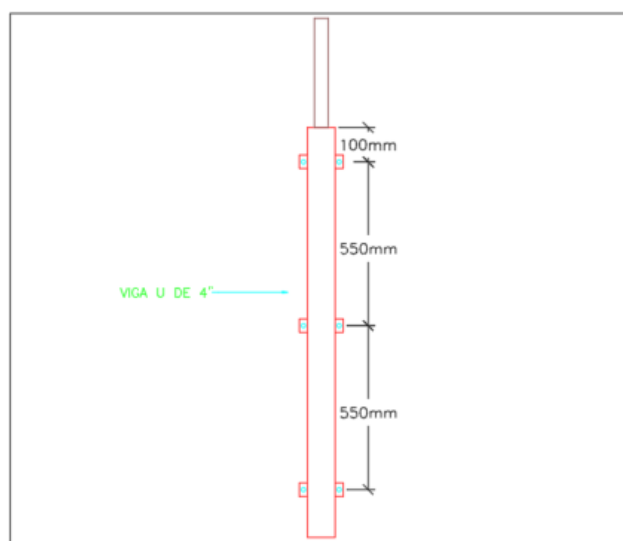
O prédio possui um perímetro de 296 metros, aplicando uma coluna a cada 20 metros, tem-se o total de colunas apresentado pela equação (4.1):

$$total\ de\ descidas = \frac{296\ (metros)}{20\ (descidas/metro)} = 14,8 \approx 15\ descidas \quad (4.1)$$

Optou-se pelo uso de barras chatas de alumínio 7/8" para as descidas, idênticas as utilizadas no anel de captação feito em todo perímetro do prédio. Considerou-se também a

aplicação de caixas de inspeção suspensas, conforme exemplificado na Figura 22. Na área voltada para o pátio, há intenso fluxo de empilhadeiras, portanto, projetou-se uma proteção mecânica reforçada, construída utilizando viga U de aço carbono, promovendo uma proteção adicional para os condutores na parte mais baixa, já que apenas eletrodutos de PVC não iriam suportar as possíveis batidas que por vezes ocorrem nestes locais. O construtivo desta proteção é apresentado na Figura 57.

Figura 57 – Proteção mecânica para os eletrodutos das descidas na área voltada para o pátio



Fonte: próprio autor

Na coluna 1 do prédio, devido a plataforma metálica existente (vide Figura 58), é necessário a fabricação de espaçadores para o condutor de descida, a fim de promover uma distância de segurança entre os condutores de descida e as massas metálicas da estrutura.

Figura 58 – Estrutura metálica próxima a descida



Fonte: próprio autor

Para conhecer-se a distância de segurança, aplica-se o método mais conservador fornecido pela NBR 5419-3. A aplicação da equação (4.2) resulta na distância  $s$  que se deseja encontrar.

$$s = \frac{k_i}{k_m} \times k_c \times I \quad (4.2)$$

Sendo:

$k_i$  é uma variável que depende do nível de proteção adotado, para SPDA classe IV o valor será 0,04;

$k_c$  depende da corrente da descarga atmosférica pelos condutores de descida. Utilizando a abordagem simplificada, que para um sistema com mais de 3 descidas o valor será 0,44;

$k_m$  depende do material isolante, no caso em questão é o ar onde o valor adotado é 1;

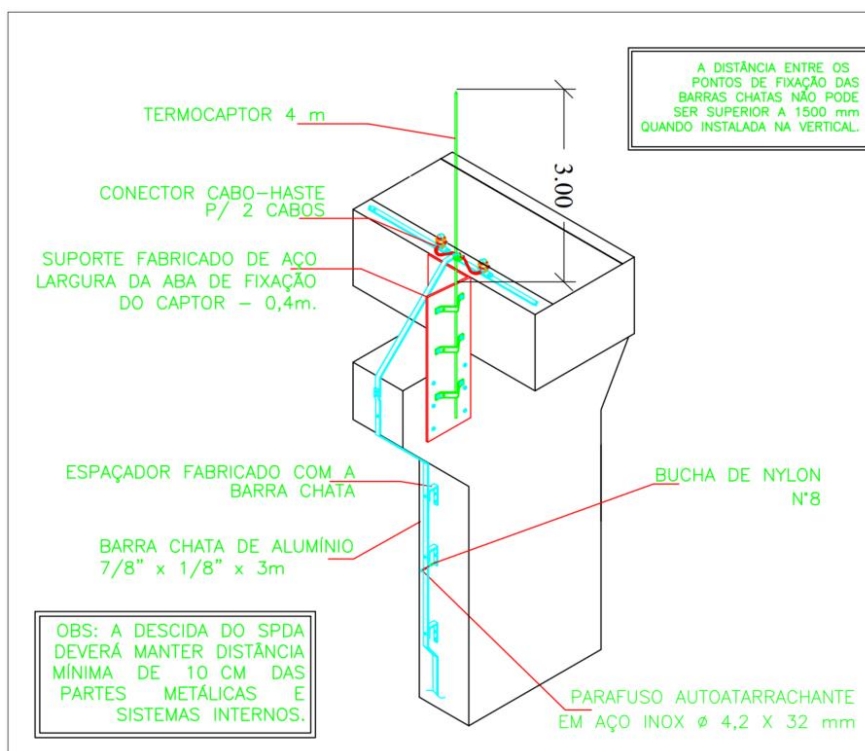
$I$  é o comprimento expresso em metros ao longo do sistema de captação ou de descida desde o ponto onde a distância de segurança deverá ser considerada até a equipotencialização mais próxima. No caso em questão, será a altura da descida até a estrutura metálica que suporta os refletores, sendo 5,2 metros.

Aplicando os valores, obtém-se a distância  $s$  na equação (4.3):

$$s = \frac{0,04}{1} \times 0,44 \times 5,2 = 0,091 \text{ (m)} \quad (4.3)$$

Portanto, para evitar centelhamentos, o condutor de descida deverá estar distante de qualquer superfície condutora em 0,091 metros, por praticidade adota-se  $s = 10 \text{ cm}$ . Na Figura 59 apresenta-se o detalhe da instalação do SPDA da coluna 1, contendo os espaçadores.

Figura 59 – Detalhe da instalação do sistema de captação e descida na coluna 1



Fonte: próprio autor

#### 4.5.3 Subsistema de Aterramento

Por se tratar de um SPDA classe IV, estudos de resistividade do solo são dispensáveis pela NBR 5419. Portanto, como filosofia de aterramento será dimensionado um eletrodo em anel no entorno do prédio. Outras possibilidades, como o aproveitamento de elementos naturais da edificação ficarão fora de questão. Por se tratar de uma estrutura já construída e de grandes dimensões, realizar um estudo para verificar a possibilidade de aproveitamento das armaduras seria demorado, caro e afetaria a estrutura, já que é necessário quebrar o concreto para ter acesso às ferragens e realizar os estudos de continuidade.

Conforme visto anteriormente no item 4.3 uma parte considerável do eletrodo em anel existente está conforme e poderá ser aproveitado. Devido a alguns pequenos trechos apresentarem continuidade e outros pequenos trechos adjacentes não, considerou-se a troca total a fim de evitar muitas emendas com o eletrodo antigo. Essa situação ocorreu no maior

trecho a ser substituído, que abrange boa parte da lateral voltada para o pátio até os fundos do prédio. Pode-se conferir o projeto executivo do subsistema de aterramento no Anexo C.

O condutor a ser utilizado no aterramento é o cabo de cobre de 50 mm<sup>2</sup> encordoado com 7 fios. Para as conexões, serão utilizados conectores à compressão, por possibilitarem uma instalação mais prática e limpa. Um exemplo desta conexão é apresentado na Figura 60.

Figura 60 – Emenda de condutores utilizando conectores à compressão

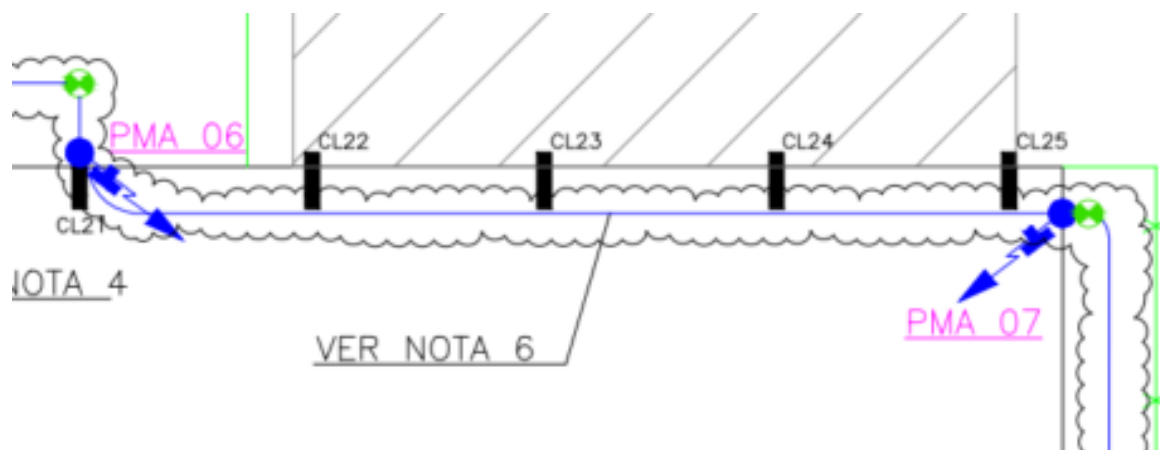


Fonte: (INTELLI, 2023)

Na parte traseira do prédio, há uma estrutura vizinha anexa, onde não é possível fechar o anel de aterramento pela área externa, a solução adotada é fazer com que os condutores percorram o interior do edifício, vide Figura 61 e Anexo C. Tal situação é permitida pela NBR 5419-3, item 5.4.3, desde que sejam tomadas medidas preventivas contra as tensões superficiais. No caso, o eletrodo será instalado em uma valeta de 100x100 mm e será recoberta com concreto faceando o piso, promovendo um isolamento elétrico entre o eletrodo e o piso. Outra medida aplicada está baseada na própria característica do local - o trecho que será instalado o eletrodo internamente é ocupado por largas prateleiras industriais, criando uma barreira na área que afasta as pessoas da região em que poderá surgir tensões perigosas.



Figura 61 – Trecho do eletrodo instalado na parte interna do prédio



Fonte: próprio autor

Na lateral oposta ao pátio, o projeto do eletrodo de aterramento original foi instalado mais distante que o um metro solicitado na NBR 5419-3 devido a uma galeria de água pluvial que passa próximo ao local, sendo, portanto, uma interferência existente.

Estima-se que aproximadamente 200 metros de condutores serão economizados, além de toda a mão de obra de quebrar pisos, abrir valetas para enterrar os cabos e reconstruir o piso.

#### 4.5.4 Detalhes típicos para montagem

Os detalhes típicos de montagem desempenham um papel fundamental nos projetos de SPDA, pois fornecem diretrizes específicas e detalhadas para a correta implementação e instalação dos componentes do sistema. Esses detalhes abrangem aspectos como a fixação de hastes de captação, a interligação de condutores, a conexão de cabos, a implementação de malhas de aterramento e outros elementos essenciais do SPDA. Ao seguir rigorosamente os detalhes típicos de montagem, é possível garantir a eficácia e a conformidade do sistema de proteção, bem como a segurança dos ocupantes e dos equipamentos em uma estrutura. Além disso, esses detalhes fornecem um padrão consistente para os profissionais envolvidos na montagem do sistema, facilitando a compreensão e a execução correta do projeto. Os detalhes típicos para este projeto podem ser consultados no ANEXO G.

## 4.6 Projeto das MPS

Por se tratar de um local que contém apenas o sistema de iluminação, sem cargas sensíveis, será considerado para o projeto das MPS o emprego de um conjunto de DPS na entrada da rede da instalação e um conjunto na entrada do QDF da instalação. Para este dimensionamento será seguida a metodologia apresentada previamente no item 3.5.

### 4.6.1 Conjunto de DPS a ser instalado na entrada de linha de energia

O prédio recebe uma alimentação em 480 volts oriundo de uma rede de distribuição subterrânea. A rede vem de um sistema em delta, com condutor PE e não possui neutro distribuído. Essa alimentação entra em um transformador abaixador delta-estrela ( $\Delta$ -Y), fornecendo uma tensão para consumo em 127/220 volts.

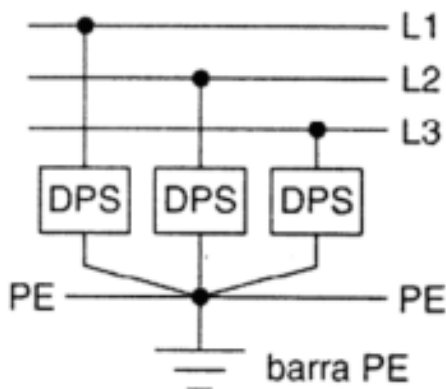
Tratando-se de um sistema de aterramento IT, sem neutro distribuído, a máxima tensão de operação contínua ( $U_c$ ), de acordo com a Tabela 12, será o mesmo valor da tensão entre fases, neste caso, 480 V.

A tensão de proteção ( $U_P$ ), consultando a Tabela 13, será de até 8 kV, considerando a categoria IV de suportabilidade a impulsos. Escolheu-se este valor pois os equipamentos instalados na entrada da linha conectada, como o transformador e fusíveis, atendem a esta prescrição da NBR 5410.

Se tratando de um DPS instalado na entrada da linha conectada, será considerado um DPS classe I, que é ensaiado com a corrente de impulso ( $I_{imp}$ ). Seguindo a recomendação da NBR 5410, considera-se dispositivos com  $I_{imp} = 12,5 \text{ kA}$ .

O esquema de instalação do dispositivo, de acordo com a NBR 5410, será conforme apresentado na Figura 62.

Figura 62 – Esquema de conexão dos DPS na entrada da linha conectada



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Consultando catálogos de fabricantes, optou-se pelo modelo PWT 100-800AC-FM produzido pela Phoenix Contact (vide Figura 63). O dispositivo possui proteção combinada das classes I e II. O circuito interno é composto por um centelhador em série com um varistor, o que proporciona a ausência de correntes de fuga (FINDER, 2012). As características do dispositivo são apresentadas na Tabela 19.

Figura 63 – Modelo de DPS escolhido para proteger a linha conectada



Fonte: (PHOENIX CONTACT, 2023)

Tabela 19 – Dados técnicos do DPS a ser conectado na entrada

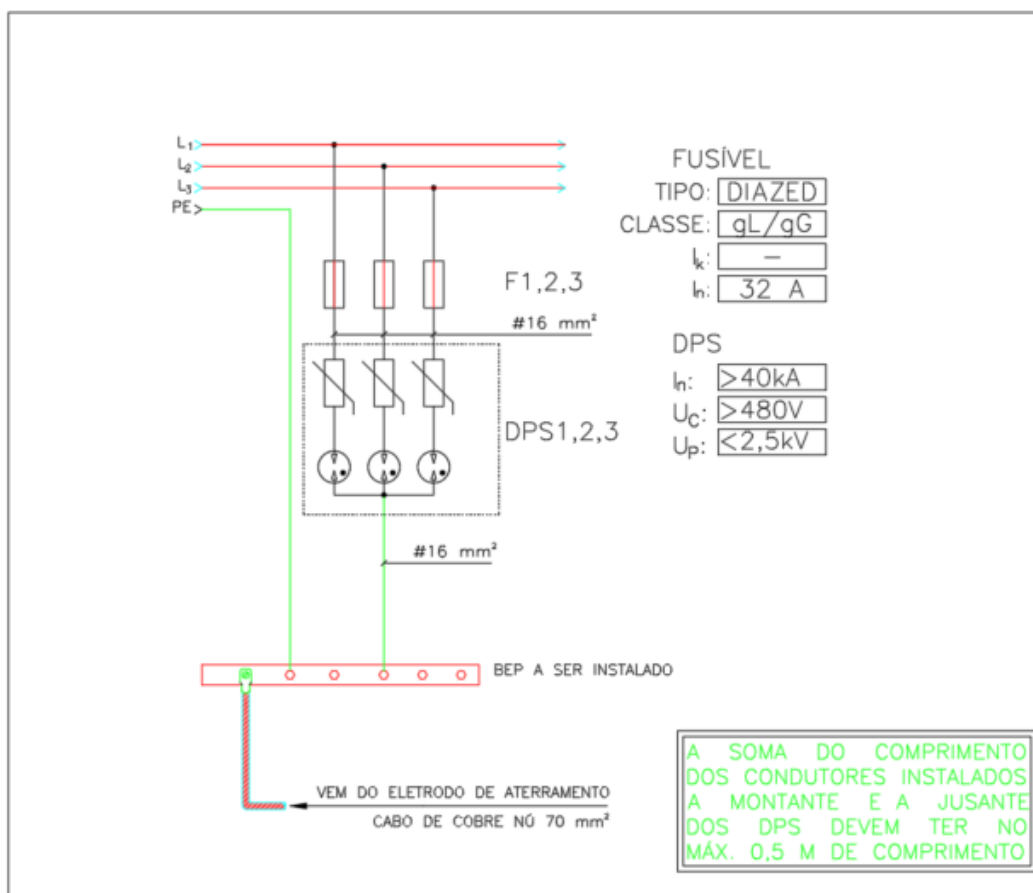
|                                                                                       |                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>Tipo de proteção de acordo com IEC</b>                                             | I / II                                                        |
| <b>Tensão nominal <math>U_N</math></b>                                                | 690/554/960 V <sub>AC</sub> (TN-C) / 690 V <sub>AC</sub> (IT) |
| <b>Máxima tensão contínua <math>U_C</math></b>                                        | 800 V <sub>AC</sub>                                           |
| <b>Corrente de surto nominal <math>I_n</math> (8/20) <math>\mu</math>s</b>            | 35 kA                                                         |
| <b>Máx. corrente de pico derivada <math>I_{máx}</math> (8/20) <math>\mu</math>s</b>   | 100 kA                                                        |
| <b>Corrente de teste contra raios <math>I_{imp}</math> (10/350) <math>\mu</math>s</b> | 35 kA                                                         |
| <b>Nível de proteção <math>U_p</math></b>                                             | $\leq 4,5$ kV                                                 |
| <b>Resistência a curto-circuito <math>I_{SCCR}</math></b>                             | 50 kA                                                         |

Fonte: (PHOENIX CONTACT, 2016)

Para o dispositivo de proteção deste DPS, será utilizado fusível tipo Diazed gL/gG de 32A. Os dispositivos de DPS possuem a funcionalidade de abrir seu circuito no fim de sua vida útil, não necessitando de um dispositivo de proteção, porém, para assegurar uma proteção extra, serão dimensionados fusíveis, conforme especificado no esquema de instalação do DPS na Figura 64. Escolheu-se esta topologia para os fusíveis do DPS pois no local preza-se pela continuidade da operação e há uma equipe de manutenção que faz verificações periódicas na integridade das instalações.

Os condutores a serem utilizados na instalação serão de 16mm<sup>2</sup> devido a possibilidade de sobretensões de descargas diretas na estrutura.

Figura 64 – Esquema de instalação do DPS na entrada da linha conectada



Fonte: Próprio autor

#### 4.6.2 Conjunto de DPS a ser instalado no QDF

No QDF da instalação, verificou-se um sistema trifásico 127/220 volts, com neutro aterrado. Essa alimentação é distribuída para os circuitos terminais da edificação.

Tratando-se de um sistema de aterramento TT, a máxima tensão de operação contínua ( $U_c$ ), de acordo com a Tabela 12, será o valor apresentado na equação (4.4).

$$U_c = 1,1 \times U_o = 1,1 \times 127 = 139,7 \text{ V} \quad (4.4)$$

Para o DPS de neutro,  $U_c = U_o = 127 \text{ V}$ .

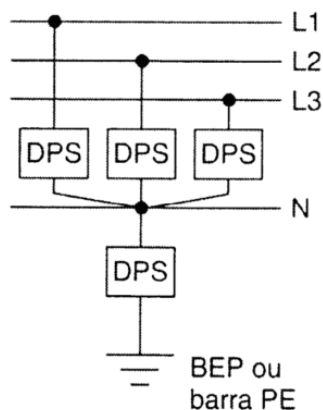
A tensão de proteção ( $U_p$ ), consultando a Tabela 13, será de até 1,5 kV, considerando a categoria II de suportabilidade a impulsos, exigida para os locais contendo equipamentos de utilização.

Se tratando de um DPS instalado no quadro de distribuição, posicionado à jusante de um DPS classe I na entrada da linha conectada, será considerado um DPS classe II, que é

ensaiado com a corrente nominal de descarga ( $I_n$ ). Seguindo a recomendação da NBR 5410, considera-se dispositivos com  $I_n = 5 \text{ kA}$ . Para o DPS de neutro,  $I_n = 20 \text{ kA}$

O esquema de instalação do dispositivo será conforme apresentado na Figura 62.

Figura 65 – Esquema de conexão dos DPS no QDF



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Consultando catálogos de fabricantes, optou-se pelo modelo VAL-SEC-T2-3S-350-FM produzido pela Phoenix Contact (vide Figura 66). O dispositivo possui proteção classe II e seu circuito interno é composto por varistores nos dispositivos de linha e no DPS de neutro é utilizado centelhador. As características do dispositivo são apresentadas na Tabela 20.

Figura 66 – Modelo de DPS escolhido para proteger o QDF e circuitos à jusante



Fonte: (PHOENIX CONTACT, 2023)

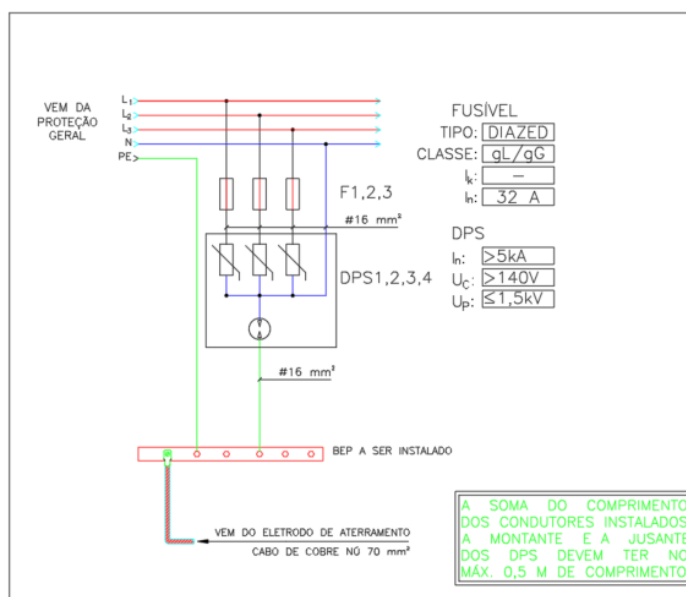
Tabela 20 – Dados técnicos do DPS a ser instalado no QDF

|                                                                                     |                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>Tipo de proteção de acordo com IEC</b>                                           | II                                                            |
| <b>Tensão nominal <math>U_N</math></b>                                              | 240/415 V <sub>AC</sub> (TN-S) / 240/415 V <sub>AC</sub> (TT) |
| <b>Máxima tensão contínua <math>U_C</math></b>                                      | 350/264 V <sub>AC</sub>                                       |
| <b>Corrente de surto nominal <math>I_n</math> (8/20) <math>\mu</math>s</b>          | 35 kA                                                         |
| <b>Máx. corrente de pico derivada <math>I_{máx}</math> (8/20) <math>\mu</math>s</b> | 40kA                                                          |
| <b>Corrente de teste contra raios <math>I_N</math> (8/20) <math>\mu</math>s</b>     | 20kA                                                          |
| <b>Nível de proteção <math>U_p</math></b>                                           | $\leq 1,5$ kV                                                 |
| <b>Resistência a curto-circuito <math>I_{SCCR}</math></b>                           | 25kA (com fusível 315A gG)<br>50 kA (com fusível 200A gG)     |

Fonte: (PHOENIX CONTACT, 2016)

Assim como no caso anterior, será utilizado fusível tipo Diazed gL/gG de 32 A. E os condutores a serem utilizados na instalação serão de 16mm<sup>2</sup>, conforme especificado no esquema de instalação do DPS na Figura 67.

Figura 67 – Esquema de instalação do DPS no QDF



Fonte: Próprio autor

Desta forma, empregando estes dois conjuntos de DPS coordenados entre si, espera-se proteger as instalações elétricas do local contra possíveis surtos que irão surgir no caso de uma descarga atmosférica na estrutura ou nas proximidades.

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de todo estudo acerca das fundamentações teóricas e normativas relativas à disciplina de Proteção contra Descargas Atmosféricas, juntamente com todo o *know-how* da equipe envolvida, levaram ao alcance dos objetivos traçados inicialmente.

O primeiro objetivo foi de apresentar todas as metodologias envolvidas em cada etapa do processo de elaboração do projeto, iniciando pelo gerenciamento e planejamento, com um cronograma dividindo cada etapa do processo e aplicando um prazo para o desenvolvimento de cada uma delas. A etapa seguinte consiste em levantar dados do local através de uma visita técnica, em que abordou-se a importância de realizar registros fotográficos e se possível também elaborar um *checklist*, contendo todos os pontos necessários para serem verificados durante uma inspeção. Descreveu-se também todo o processo para inspeção e medição de continuidade em um eletrodo de aterramento – tal processo foi realizado devido a possibilidade de aproveitamento do eletrodo existente na edificação em questão. Abordou-se a etapa de estudos, como desenvolver uma análise de riscos utilizando um *software* adequado para tal, também se descreveu todas as etapas e análises feitas para o desenvolvimento do projeto de SPDA, MPS e dos demais documentos que compõem um projeto de PDA.

Partindo para a etapa de execução do projeto, o segundo objetivo traçado compreendia avaliar o prédio com uma análise de risco, de forma a verificar qual a proteção mínima a ser adotada para proteger a estrutura. Inicialmente obteve-se que o risco existente na estrutura sem proteção era intolerável. Realizando novamente a análise de risco, encontrou-se um valor de risco adequado com a implementação de um SPDA classe IV e com a instalação de DPS classe I na entrada da linha de energia.

O terceiro objetivo abrangia a elaboração do projeto de um sistema de PDA, respeitando os resultados da análise de risco, as exigências normativas, as solicitações do cliente e que também apresentasse viabilidade financeira. Considera-se que o projeto final conseguirá atender todos os pré-requisitos exigidos. A principal exigência estabelecida pelo cliente é que a equipe que fosse realizar a instalação do sistema não poderia caminhar sobre o telhado, pois isso poderia comprometer a segurança dos trabalhadores. Desta forma, conseguiu-se projetar um sistema que poderá ser instalado apenas nas laterais do prédio, com o uso de plataformas elevatórias, escadas e caminhão Munck. Sobre o sistema de aterramento, por se tratar de um sistema classe IV não são exigidos estudos da resistividade do solo. Realizando uma inspeção no eletrodo de aterramento existente no local, constatou-se vários trechos que atendem as exigências normativas e que não precisarão serem substituídos.



Estima-se que cerca de 50% do eletrodo será poupado de substituição, trazendo economia de mão de obra, tempo de execução e materiais. Para a proteção dos sistemas internos, dimensionou-se um sistema de DPS classe I no ponto mais próximo da entrada, ainda na rede primária de 480V. No QDF da instalação, após a tensão passar por um transformador abaixador para a tensão de 127/220V, instalou-se mais um sistema de DPS classe II, de forma a proteger o circuito secundário de possíveis tensões induzidas, criando uma coordenação entre os sistemas de DPS.

Por último, recomenda-se fortemente que as adequações propostas sejam acatadas pela empresa, já que o prédio, nas situações em que se encontra atualmente, oferece risco de vida e de percas materiais caso seja atingido por uma descarga atmosférica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AÇOPLANO. Como usar telhas metálicas em paredes e fachadas. **Açoplano**, 2022. Disponível em: <<https://www.acoplano.com.br/blog/como-usar-telhas-metalicas-em-paredes-e-fachadas>>. Acesso em: 15 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-1**: Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 1: Princípios gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-2**: Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 2: Gerenciamento de risco. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-3**: Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida. Rio de Janeiro: ABNT, 2015c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-4**: Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2015d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7117-1**: Parâmetros do solo para projetos de aterramentos elétricos - Parte 1: Medição da resistividade e modelagem geoeletrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BENJAMIN FRANKLIN HISTORICAL SOCIETY. Kite Experiment. **Benjamin Franklin Historical Society**, 2022. Disponível em: <<http://www.benjamin-franklin-history.org/kite-experiment/>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

BOSCH. GLM 40 PROFESSIONAL. **Bosch Ferramentas Elétricas Profissionais & Acessórios**, 2023. Disponível em: <<https://www.bosch-professional.com/br/pt/products/glm-40-0601072900>>. Acesso em: 10 fev. 2023.

CENTRAL ELÉTRICA. Cabo de Cobre NU 25mm<sup>2</sup> para aterramento. **Central elétrica**, 2022. Disponível em: <<https://www.lojacentraleletrica.com.br/produto/cabo-de-cobre-nu-25mm-para-aterramento>>. Acesso em: 05 nov. 2022.

CIGRÉ. **Lightning parameters for engineering applications**. 1. ed. Belo Horizonte: Cigré, 2013.

COUTINHO, F. N.; ALTOÉ, C. A. **Levantamento de estruturas que necessitam de SPDA na UnB e análise de seus efetivos sistemas de proteção**. Brasília: Universidade de Brasília, 2003.

DALZIEL, C. F. **Effects of electric shok on man**. 1. ed. Berkeley (EUA): University of California, 1941.

DANTAS, R. M. **Levantamento prévio de acidentes e danos materiais causados por descargas atmosféricas em edificações no Distrito Federal**. Brasília: Universidade de Brasília, 2015.

ELAT - INPE. Como começaram os estudos sobre eletricidade atmosférica? **ELAT - INPE**, 2022. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/eletricidade.atmosferica/historia.php>>. Acesso em: 27 dez. 2022.

FINDER. **Guia para aplicação de Dispositivos de Proteção contra Surtos - DPS**. São Paulo: Finder, 2012.

G1. Dono de mansão atingida por raio em Campos prevê prejuízo de R\$ 1 mi. **G1**, 2013. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2013/02/dono-de-mansao-atingida-por-raio-em-campos-preve-prejuizo-de-r-1-mi.html>>. Acesso em: 20 dez. 2022.

IEE-USP. **Manual Tupan Plus 2020**. 1. ed. São Paulo: [s.n.], 2020. 69 p.

INPE. INPE. **Levantamento inédito sobre mortes por raios no Brasil resulta em segunda melhor matéria de divulgação científica em 2020**, 2021. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=5770](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5770)>. Acesso em: 11 jun. 2023.

INPE. Mecanismos de Eletrificação. **ELAT - Grupo de eletricidade atmosférica**, 3 dez. 2022. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/tempestades/mecanismos.de.eletrificacao.php>>.

INTELLI. SACC - CONECTOR DE ATERRAMENTO À COMPRESSÃO (CABO-CABO). **Intelli**, 2023. Disponível em:

<<https://www.intelli.com.br/produtos/aterramento/conectores-aterramento-compressao/conector-sacc>>. Acesso em: 15 maio 2023.

KINDERMANN, G.; CAMPAGNOLO, J. M. **Aterramento elétrico**. 3. ed. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto, 1995.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

MEGABRAS. Megabras. **MPK 254**, 2023. Disponível em: <<https://www.megabras.com/pt-br/produtos/microhmimetro/microhmimetro-MPK254.php>>. Acesso em: 2023 jun. 11.

MODENA, J. A nova ABNT NBR 5419:2015. **ABRACOPEL**, São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://abracopel.org/wp-content/uploads/2015/09/Jobson.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2023.

MODENA, J. Condutores de descida. **O Setor Elétrico**, 2022. Disponível em: <<https://www.osetoelettrico.com.br/condutores-de-descida/>>. Acesso em: 16 dez. 2022.

O SETOR ELÉTRICO. Medição de resistividade do solo e modelagem geométrica – Aterramento. **O Setor Elétrico**, 2021. Disponível em: <<https://www.osetoelettrico.com.br/aterramento-abnt-nbr-7117-parte-1/>>. Acesso em: 23 maio 2023.

OLIVO. Haste terra Cantoneira - Furo Quadrado - Com Conector. **Olivo**, 2022. Disponível em: <<https://www.olivosa.com.br/haste-terra-cantoneira-furo-quadrado-com-conector>>. Acesso em: 05 dez. 2022.

PHOENIX CONTACT. **Proteção contra raios e surtos para a rede de energia (SPD Classe I/II, tipo 1/2)**. Blomberg, Germany: Phoenix Contact, 2016.

PHOENIX CONTACT. PWT 100-800AC-FM - Dispositivo de proteção contra raios/surtos de tensão tipo 1/2. **Phoenix Contact**, 2023. Disponível em: <<https://www.phoenixcontact.com/pt-br/produtos/dispositivo-de-protecao-contr-raios-surtos-de-tensao-tipo1-2-pwt-100-800ac-fm-2800531>>. Acesso em: 29 maio 2023.

RAKOV, V. A.; UMAN, M. A. **Lightning: physics and effects**. Cambridge (Reino Unido): Cambridge University Press, 2003.

ROMERO, F. **Avaliação do comportamento dos campos eletromagnéticos gerados por descargas atmosféricas nuvem-terra**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007.

SANTIL. CAPTOR TIPO FRANKLIN 300MM 2 DESCIDAS EM LATAO NIQUELADO - PARATEC. **Santil**, 2022. Disponível em: <<https://www.santil.com.br/produto/captor-tipo-franklin-300mm-2-descidas-em-latao-niquelado-paratec/2897172>>. Acesso em: 15 nov. 2022.

SANTIL. TERMINAL AEREO 3/8 X 300MM ALUMINIO - PARATEC. **Santil**, 2022. Disponível em: <<https://www.santil.com.br/produto/terminal-aereo-38-x-300mm-aluminio-paratec/2897708>>. Acesso em: 15 nov. 2022.

SCIENCE PHOTO LIBRARY. Dalibard's lightning experiment. **Science Photo Library**, 2022. Disponível em: <<https://media.sciencephoto.com/image/h4040315/800wm>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. Montagem de. **Linha de vida escada marinho**, 2022. Disponível em: <<https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/manutencao-industrial/top-team/produtos/servicos/linha-de-vida-escada-marinho>>. Acesso em: 15 nov. 2022.

THE FRANKLIN INSTITUTE. Benjamin Franklin and the Kite Experiment. **The Franklin Institute**, 2017. Disponível em: <<https://www.fi.edu/en/benjamin-franklin/kite-key-experiment>>. Acesso em: 01 mar. 2023.

VISACRO FILHO, S. **Descargas Atmosféricas: Uma abordagem para a engenharia**. São Paulo: Artliber, 2005.

VISACRO FILHO, S. **Aterramentos elétricos**. 3. ed. São Paulo: Artliber, 2020.

ZEUS DO BRASIL. Haste de aterramento 5/8" cobre. **Zeus do Brasil**, 2022. Disponível em: <<https://zeusdobrasil.com.br/produtos/detalhes/haste-de-aterramento-5-8-cobre/>>. Acesso em: 12 maio 2022.

## ANEXO A - CHECKLIST – PDA

|                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>INFORMAÇÕES DA EDIFICAÇÃO</b>                                                                                                                                                         |
| <b>Tipo de edificação:</b> Concreto <input checked="" type="checkbox"/> Madeira <input checked="" type="checkbox"/> Metálica <input type="checkbox"/> Alvenaria <input type="checkbox"/> |
| <b>Uso da edificação:</b> Estoque de materiais                                                                                                                                           |
| <b>Tem documentação?</b> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>                                                                                            |

|                                                                 |                                         |                                         |                                       |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>I) SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO:</b>                               |                                         |                                         |                                       |
| 1. Tipo: Franklin ou Esfera <input checked="" type="checkbox"/> | Nº Mastros: 1                           | Altura: ~6m                             |                                       |
| Esfera rolante: Checado?                                        | SIM <input type="checkbox"/>            | NÃO <input checked="" type="checkbox"/> | R=                                    |
| Tem minicaptadores?                                             | SIM <input checked="" type="checkbox"/> | NÃO <input type="checkbox"/>            | Quantos? ~15 h= 600 mm                |
| 2. Tem captação complementar?                                   | SIM <input type="checkbox"/>            | NÃO <input checked="" type="checkbox"/> |                                       |
| 3. Cobertura Metálica?                                          | SIM <input type="checkbox"/>            | NÃO <input checked="" type="checkbox"/> |                                       |
| Material da cobertura: Telha de fibrocimento Espessura:         |                                         |                                         |                                       |
| Obs.:                                                           |                                         |                                         |                                       |
| 4. Possui Captor (cabo/barra) em toda periferia?                | SIM <input checked="" type="checkbox"/> | NÃO <input checked="" type="checkbox"/> |                                       |
| 5. Utiliza algum componente natural?                            | SIM <input type="checkbox"/>            | NÃO <input checked="" type="checkbox"/> |                                       |
| 6. Massa metálica na cobertura?                                 | SIM <input type="checkbox"/>            | NÃO <input checked="" type="checkbox"/> | Não aplicada <input type="checkbox"/> |
| Obs.:                                                           |                                         |                                         |                                       |

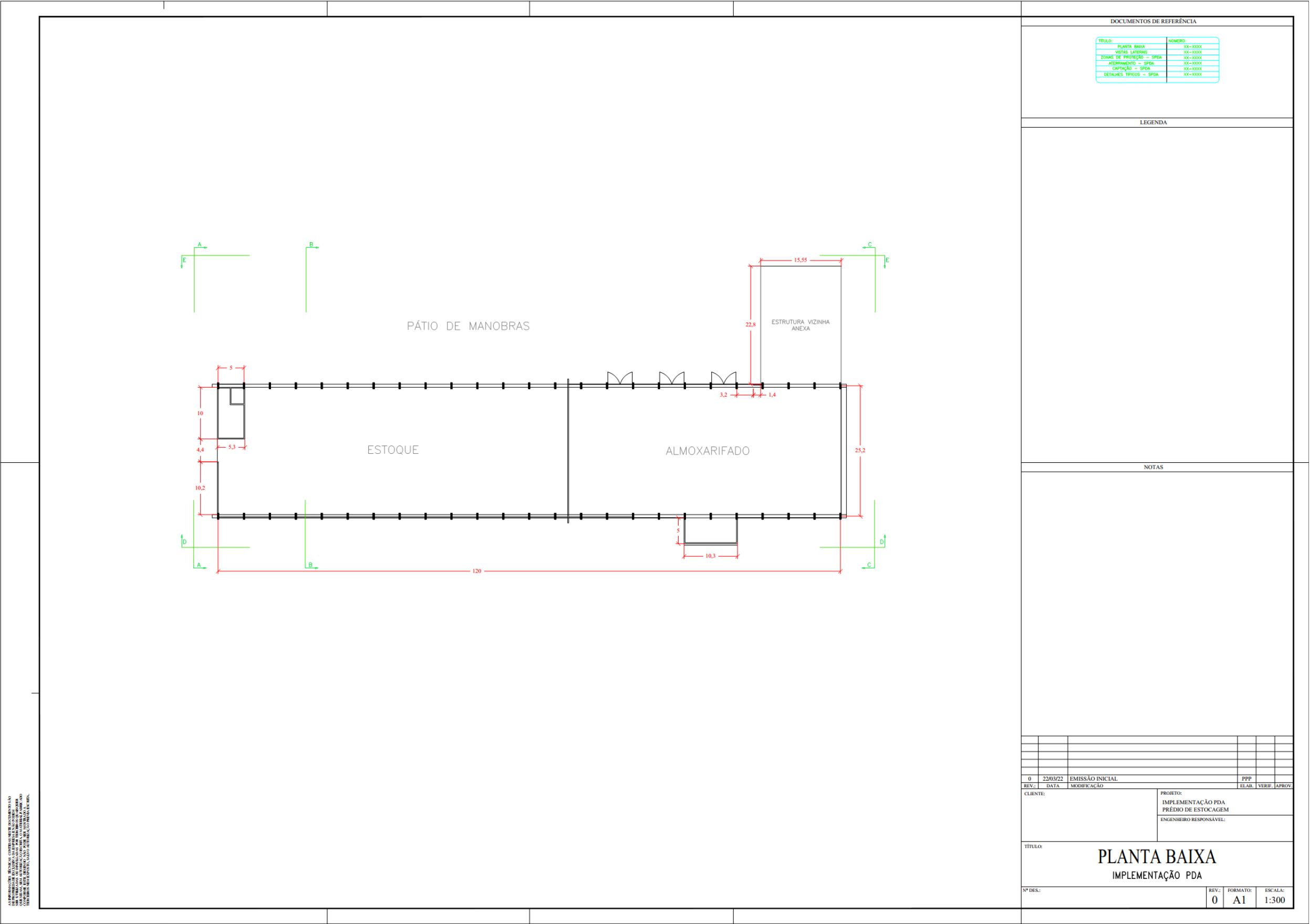
|                                                                                                                                                        |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>II) SUBSISTEMA DE DESCIDA:</b>                                                                                                                      |  |
| 1. Descida externa? SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>                                                               |  |
| Colada na parede? SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>                                                                 |  |
| Bitola dos cabos/barras: 35mm <sup>2</sup>                                                                                                             |  |
| Medida <input checked="" type="checkbox"/> Estimada <input type="checkbox"/>                                                                           |  |
| No caso de cabos, quantos fios? 7 x 2,5 (35 mm <sup>2</sup> ) / 19 x 1,5 (35 mm <sup>2</sup> )                                                         |  |
| Tem tubulação na proteção? SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>                                                        |  |
| Qual? Eletroduto de PVC                                                                                                                                |  |
| 2. Utiliza armadura da estrutura? SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>                                                 |  |
| Foi realizado ensaio de continuidade? SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>                                             |  |
| Tem documentação? SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>                                                                 |  |
| 3. Utiliza outra parte condutora na edificação? SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>                                   |  |
| 4. Tem conector para medição? SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>                                                     |  |
| Onde? Caixas de inspeção suspensas                                                                                                                     |  |
| Obs.: PMA 14 não possui conector para medição facilmente acessível.                                                                                    |  |
| 5. Massa metálica na fachada? SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> Não aplicada <input type="checkbox"/>               |  |
| Obs.: Refletores e luminárias                                                                                                                          |  |
| 6. Anéis de equipotencialização a cada x m? SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> Não aplicada <input checked="" type="checkbox"/> |  |

|                                                                                                                                           |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>III) SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO:</b>                                                                                                    |  |
| 1. <b>Anel enterrado em volta da edificação?</b> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>                     |  |
| Foi verificado: SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> Somente informações verbais <input type="checkbox"/> |  |
| 2. <b>Ligações nas caixas de inspeção</b>                                                                                                 |  |
| Bitola do cabo: 70 mm <sup>2</sup>                                                                                                        |  |
| Medida <input checked="" type="checkbox"/> Estimada <input type="checkbox"/> No caso de cabos, quantos fios? 19                           |  |
| 3. <b>Aterramento através de hastes enterradas?</b> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>                  |  |
| 4. <b>Existem caixas de inspeção?</b> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> Quantas? 18                    |  |
| 5. <b>Utiliza fundações baldrame?</b> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>                                |  |
| 6. <b>Foi realizado medição de continuidade?</b> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>                     |  |
| Tem relatório? SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>                                                       |  |
| 7. <b>Foi realizado medição de resistência de aterramento?</b> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>       |  |

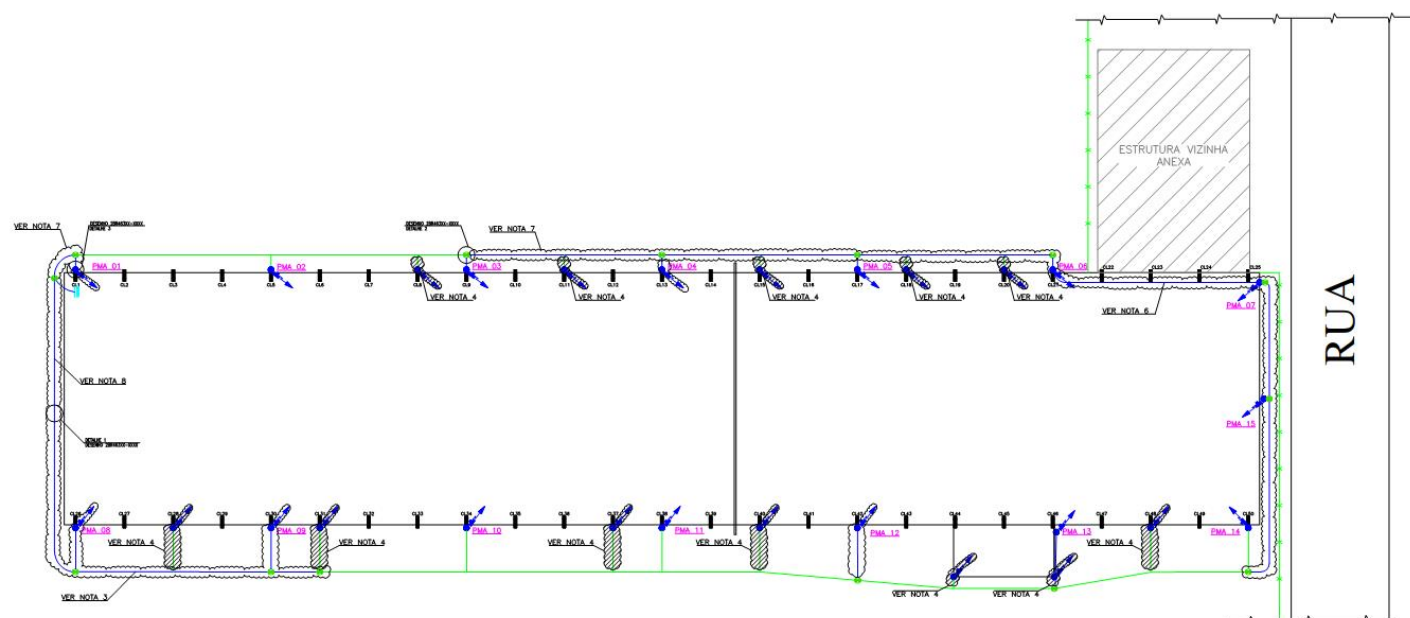


|                                                                                                                                               |                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>IV) MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (EQUIPAMENTOS E SISTEMAS DE INTERNOS):</b>                                                           |                                                                                                                                |
| 1. Foi feita a inspeção da proteção das instalações elétricas?                                                                                | SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>                                                           |
| Caso Não – Motivo?                                                                                                                            |                                                                                                                                |
| 2. Possui Caixa de Equalização com Barramento (BEP ou BEL)?                                                                                   | SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>                                                           |
| Obs.:                                                                                                                                         |                                                                                                                                |
| 3. Quadro Geral de Distribuição de Energia:                                                                                                   | Barra de terra <input checked="" type="checkbox"/> Neutro <input checked="" type="checkbox"/> Não tem <input type="checkbox"/> |
| Separadas <input type="checkbox"/> Interligadas <input type="checkbox"/>                                                                      | Obs.:                                                                                                                          |
| Possui DPS na entrada?                                                                                                                        | SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>                                                           |
| 4. Possui DPS nos quadros de distribuição?                                                                                                    |                                                                                                                                |
| SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/> Em parte <input type="checkbox"/> Não aplicável <input type="checkbox"/> |                                                                                                                                |
| 5. A instalação elétrica possui condutor PE nos circuitos?                                                                                    |                                                                                                                                |
| SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> Em parte <input type="checkbox"/>                                        |                                                                                                                                |
| 6. Os equipamentos de informática possuem estabilizadores?                                                                                    |                                                                                                                                |
| SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> Em parte <input type="checkbox"/> Não aplicável <input checked="" type="checkbox"/> |                                                                                                                                |
| 7. Os equipamentos de telefonia recebem sinal por fibra óptica?                                                                               |                                                                                                                                |
| SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> Não aplicável <input checked="" type="checkbox"/>                                   |                                                                                                                                |
| 8. Os equipamentos de áudio/vídeo possuem DPS específico na alimentação?                                                                      |                                                                                                                                |
| SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> Em parte <input type="checkbox"/> Não aplicável <input checked="" type="checkbox"/> |                                                                                                                                |
| 9. Os equipamentos de segurança (câmeras) possuem DPS específico na alimentação?                                                              |                                                                                                                                |
| SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> Em parte <input type="checkbox"/> Não aplicável <input checked="" type="checkbox"/> |                                                                                                                                |
| 10. O sistema de alarme e incêndio possui DPS na alimentação de entrada?                                                                      |                                                                                                                                |
| SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/> Não aplicável <input type="checkbox"/>                                   |                                                                                                                                |
| Tem condutor de proteção (PE)?                                                                                                                |                                                                                                                                |
| SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>                                                                          |                                                                                                                                |
| O condutor de proteção (PE) está conectado na barra de terra?                                                                                 | SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>                                                           |
| O sistema de alarme e incêndio recebe sinal por fibra óptica?                                                                                 | SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>                                                           |
| O sistema de alarme e incêndio possui DPS na linha de sinal?                                                                                  | SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>                                                           |

ANEXO B – PROJETO: PLANTA BAIXA



## ANEXO C – PROJETO: ATERRAMENTO



| DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA |           |
|--------------------------|-----------|
| TÍTULO:                  | NÚMERO:   |
| PLANTA BARRA             | 10X-XXXXX |
| VISTAS LATERAIS          | 10X-XXXXX |
| ZONAS DE PROTEÇÃO - SPDA | 10X-XXXXX |
| ATERROAMENTO - SPDA      | 10X-XXXXX |
| CAPTAÇÃO - SPDA          | 10X-XXXXX |
| DETALHES TÍPICOS - SPDA  | 10X-XXXXX |

### LEGENDA

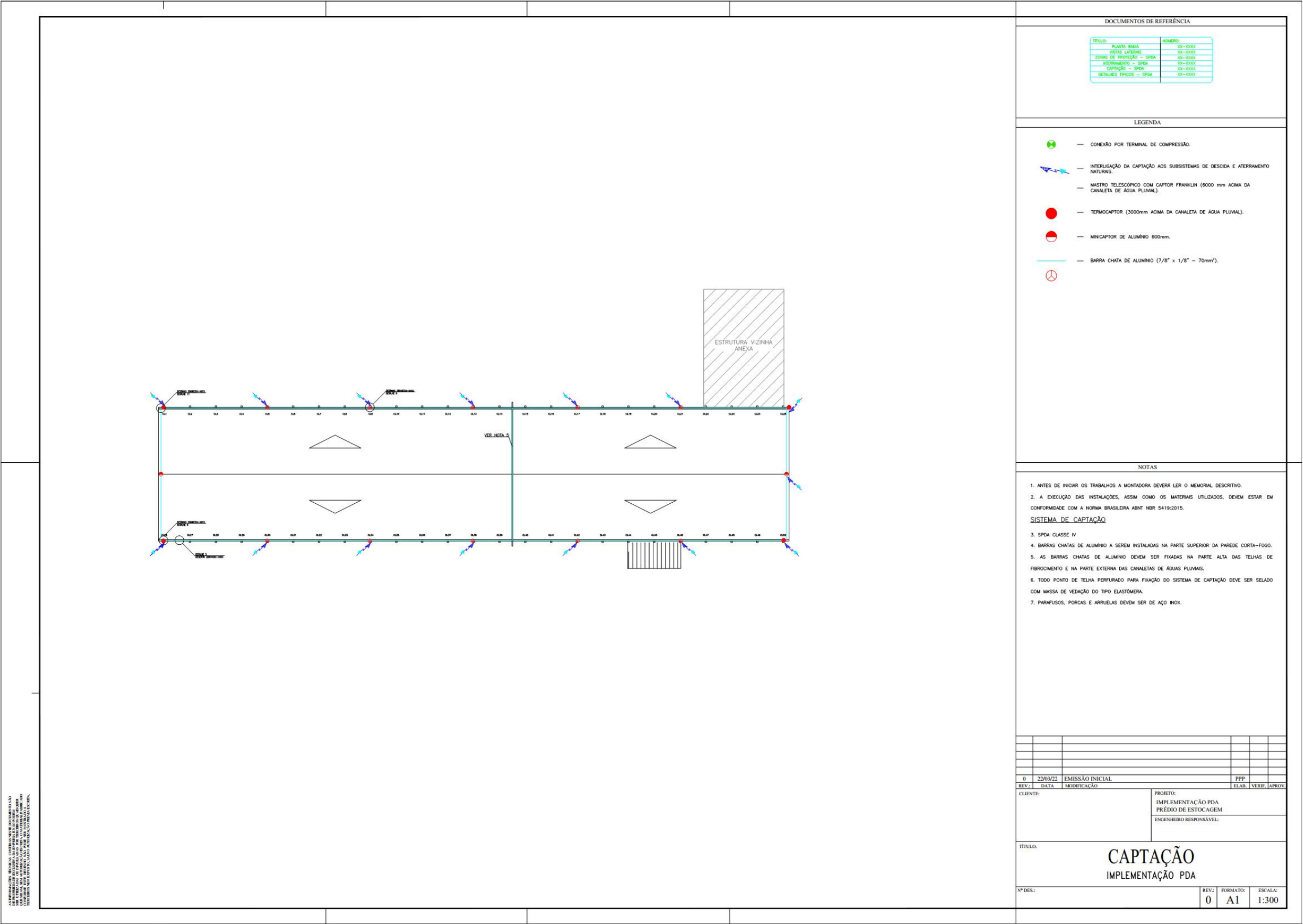
-  — BARRA DE EQUIPOTENCIALIZAÇÃO PRINCIPAL (BEP).
- PMA 01** — PONTO DE MEDIÇÃO DE ATERAMENTO (PMA).
-  — CONEXÃO POR TERMINAL DE COMPRESSÃO.
-  — INTERLIGAÇÃO DA DESCIDA AO SUBSISTEMA DE ATERAMENTO ATRAVÉS DE CAIXA DE INSPEÇÃO SUSPensa
-  — CABO DE COBRE NU #70 mm<sup>2</sup> (ELETRODO DE ATERAMENTO) EXISTENTE.
-  — CABO DE COBRE NU #70 mm<sup>2</sup> (ELETRODO DE ATERAMENTO) A INSTALAR.
-  — ALAMBRADO

## NOTAS

1. ANTES DE INICIAR OS TRABALHOS A MONTADORA DEVERÁ LER O MEMORIAL DESCRITIVO.
  2. A EXECUÇÃO DAS INSTALAÇÕES, ASSIM COMO OS MATERIAIS UTILIZADOS, DEVEM ESTAR EM CONFORMIDADE COM A NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 5419:2015.
- SISTEMA DE ATERRAMENTO
3. O ANEL DE ATERRAMENTO EXISTENTE FOI INSTALADO A DISTÂNCIA MAIOR QUE 1 METRO DEVIDO A INTERFERÊNCIAS DO LOCAL.
  4. REMOVER A DESCIDA E A INTERLIGAÇÃO COM O ANEL DE ATERRAMENTO.
  5. SUBSTITUIR O TRECHO EXISTENTE.
  6. NO INTERIOR DO PREDIO ENTRE OS PMA 06 E PMA 07, ABRIR VALETA COM 100 mm DE PROFUNDIDADE E 100 mm DE LARGURA PARA ACOMODAR O CONDUTOR DE ATERRAMENTO, A LINHA DA VALETA DEVERÁ SER ABERTA O MAIS PRÓXIMO POSSÍVEL DAS COLUNAS, FECHAR COM CONCRETO, FAZENDO O PISO.
  7. INSTALAR UM NOVO CABO PARA FECHAR O ANEL DE ATERRAMENTO ENTRE AS COLUNAS 09 E 21, 01 E 31.
  8. DEVIDO A INTERFERÊNCIAS NO LOCAL, A VALETA PODERÁ SER ABERTA A UMA DISTÂNCIA SUPERIOR A 1 METRO NESTE TRECHO.
  9. PARA O ANEL DE ATERRAMENTO EXISTENTE, FOI UTILIZADO UM CABO DE 70 mm<sup>2</sup>.
  10. TERMINAIS DE COMPRESSÃO DEVEM POSSUIR ACABAMENTO ESTANHOADO.
  11. PARAFUSOS, PORCAS E ARRUELAS DEVEM SER DE AÇO INOX.

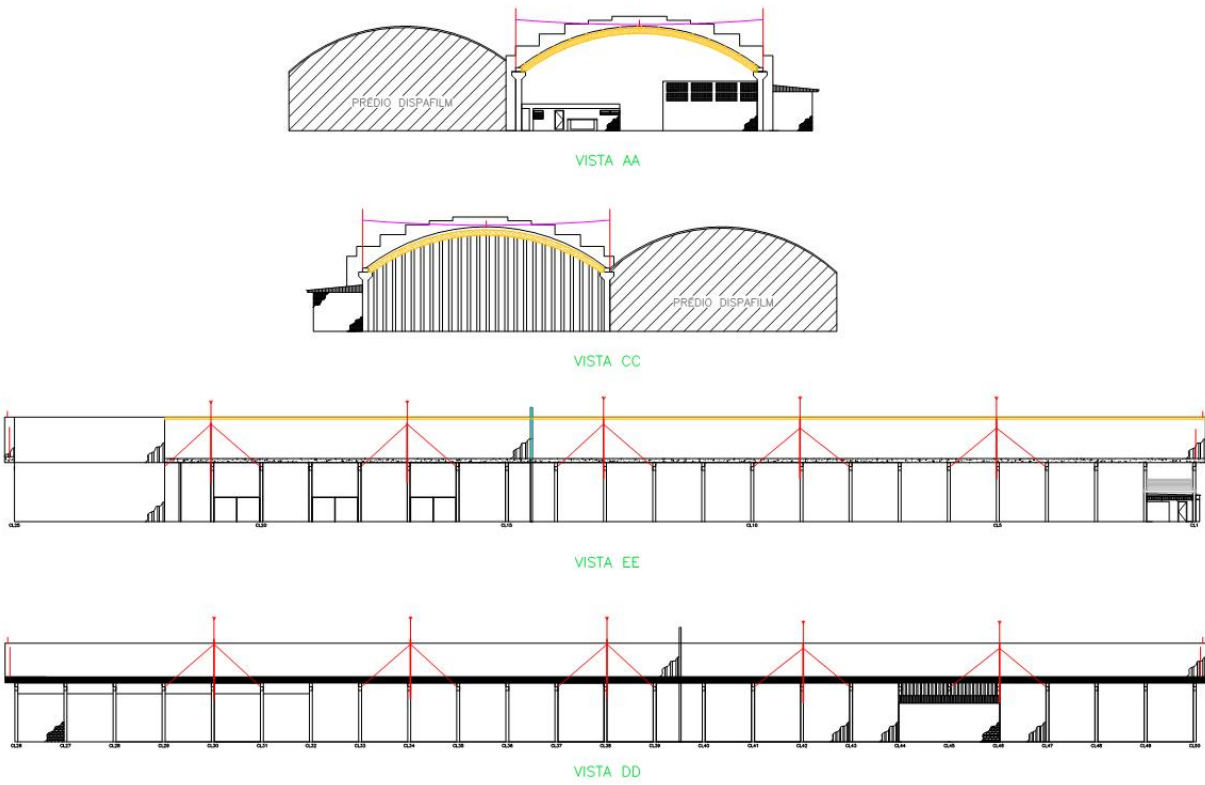
|                                                 |          |                 |  |                                                                                 |  |          |       |         |        |
|-------------------------------------------------|----------|-----------------|--|---------------------------------------------------------------------------------|--|----------|-------|---------|--------|
|                                                 |          |                 |  |                                                                                 |  |          |       |         |        |
|                                                 |          |                 |  |                                                                                 |  |          |       |         |        |
|                                                 |          |                 |  |                                                                                 |  |          |       |         |        |
|                                                 |          |                 |  |                                                                                 |  |          |       |         |        |
|                                                 |          |                 |  |                                                                                 |  |          |       |         |        |
| 0                                               | 22/03/22 | EMISSÃO INICIAL |  |                                                                                 |  |          | PPP   |         |        |
| REV:                                            | DATA     | MODIFICAÇÃO     |  |                                                                                 |  |          | ELAB. | VERIF.  | APROV. |
| CLIENTE:                                        |          |                 |  | PROJETO:<br>IMPLEMENTAÇÃO PDA<br>PRÉDIO DE ESTOCAGEM<br>ENGENHEIRO RESPONSÁVEL: |  |          |       |         |        |
| TÍTULO:                                         |          |                 |  |                                                                                 |  |          |       |         |        |
| <h1>ATERRAMENTO</h1> <h2>IMPLEMENTAÇÃO PDA</h2> |          |                 |  |                                                                                 |  |          |       |         |        |
| Nº DES:                                         |          |                 |  | REV:                                                                            |  | FORMATO: |       | ESCALA: |        |
|                                                 |          |                 |  | 0                                                                               |  | A1       |       | 1:300   |        |

ANEXO D – PROJETO: CAPTAÇÃO



AS INFORMAÇÕES, MEMÓRIAS, COTACÕES, MEMORANDOS, E OUTROS DOCUMENTOS, SÃO DE PROPRIEDADE DA EMPRESA E DEVEM SER MANTIDOS EM SEGREDO. A DISTRIBUIÇÃO DE COPIAS DESTE DOCUMENTO PARA OUTRAS EMPRESAS, SEM A AUTORIZAÇÃO PRÉVIA DA EMPRESA, É PROIBIDA. A DISTRIBUIÇÃO DE COPIAS DESTE DOCUMENTO PARA OUTRAS EMPRESAS, SEM A AUTORIZAÇÃO PRÉVIA DA EMPRESA, É PROIBIDA.

## ANEXO E – PROJETO: VISTAS LATERAIS



| TÍTULO:                  | NÚMERO: |
|--------------------------|---------|
| PLANTA BARRA             | XX-XXXX |
| VISTAS LATERAIS          | XX-XXXX |
| ZONAS DE PROTEÇÃO - SPDA | XX-XXXX |
| ATERRAMENTO - SPDA       | XX-XXXX |
| CAPTAÇÃO - SPDA          | XX-XXXX |
| DETALHES TÍPICOS - SPDA  | XX-XXXX |

## LEGENDA

NOTAS

|       |          |                 |       |        |        |
|-------|----------|-----------------|-------|--------|--------|
| 0     | 22/03/22 | EMISSÃO INICIAL | PPP   |        |        |
| REV.: | DATA     | MODIFICAÇÃO     | ELAB. | VERIF. | APROV. |

|         |  |
|---------|--|
| CLIENTE |  |
|---------|--|

**PROJETO:**

IMPLEMENTAÇÃO PDA  
PRÉDIO DE ESTOCAGEM  
ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:

ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:

TITULO:

## VISTAS LATERAIS

### IMPLEMENTAÇÃO PDA

N° DES.:

|      |  |
|------|--|
| REV: |  |
|------|--|

**FORMATO:**

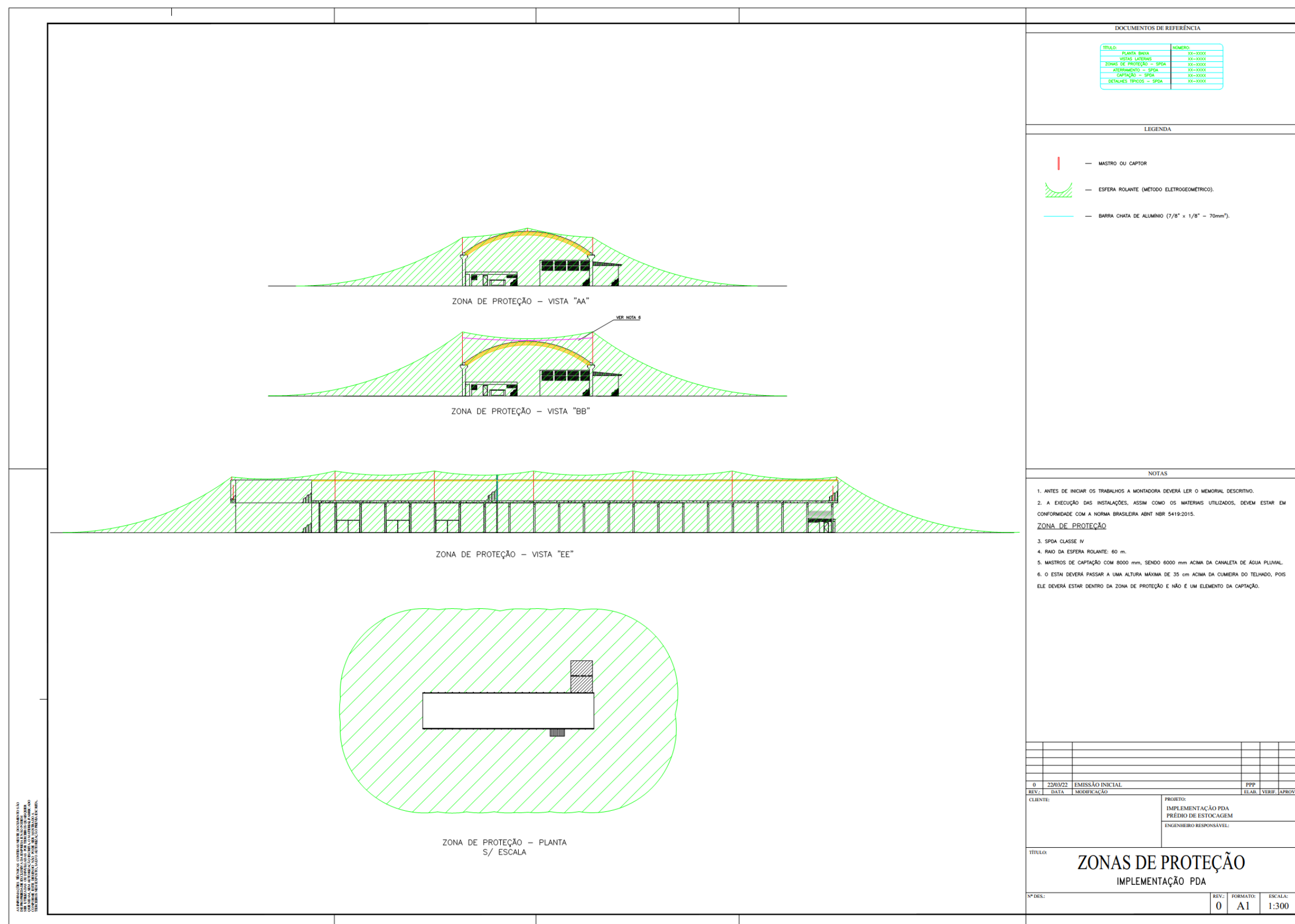
ESCALA:

0

A1

1-300

## ANEXO F – PROJETO: ZONAS DE PROTEÇÃO





ANEXO G – PROJETO: DETALHES TÍPICOS

DETALHE 1  
VALA PARA ACOMODAÇÃO DO ELETRODO DE ATERRAMENTO

DETALHE 2  
CONEXÃO ENTRE DOIS CABOS UTILIZANDO CONECTOR DE COMPRESSÃO

DETALHE 3  
JUNÇÃO ENTRE DESCIDA E ATERRAMENTO

DETALHE 4  
CAIXA DE INSPEÇÃO DE ATERRAMENTO

DETALHE 5  
EMENDA ENTRE BARRA CHATA E FIXAÇÃO NA ALVENARIA

DETALHE 6  
CURVA DE 90° COM BARRA CHATA DE ALUMÍNIO E SOBRE TELHA DE FIBROCIMENTO

DETALHE 7  
PROTEÇÃO MECÂNICA PARA OS ELETRODUTOS DAS DESCIDAS NA ÁREA VOLTADA PARA O PÁTIO

DETALHE 8  
JUNÇÃO ENTRE DESCIDA DE BARRA CHATA E ATERRAMENTO

DETALHE 9A – VISTA LATERAL  
FIXAÇÃO DOS MASTROS

DETALHE 9B – VISTA FRONTAL  
FIXAÇÃO DOS MASTROS

DETALHE 10  
FIXAÇÃO DO MASTRO NA VIGA "U"

DETALHE 11  
JUNÇÃO ENTRE CAPTAÇÃO E DESCIDA NAS COLUNAS COM DISTÂNCIA DE SEGURANÇA

DETALHE 12  
FIXAÇÃO DO ESTAI NA COLUNA

DETALHE 13  
INSTALAÇÃO DOS DPS EM LINHA ELÉTRICA NA ENTRADA DA LINHA CONECTADA

DETALHE 14  
INSTALAÇÃO DOS DPS NO QDF

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

| TÍTULO                   | NÚMERO  |
|--------------------------|---------|
| PLANTA BAIXA             | XX-XXXX |
| VISTAS LATERAIS          | XX-XXXX |
| ZONAS DE PROTEÇÃO - SPDA | XX-XXXX |
| ATERRAMENTO - SPDA       | XX-XXXX |
| CAPTAÇÃO - SPDA          | XX-XXXX |
| DETALHES TÍPICOS - SPDA  | XX-XXXX |

LEGENDA

NOTAS

|                                                         |                                                                                 |                |                     |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------|
| 0                                                       | 22/03/22                                                                        | EMIÇÃO INICIAL | PPP                 |
| REV:                                                    | DATA                                                                            | MODIFICAÇÃO    | ELAB. VERIF. APROV. |
| CLIENTE:                                                | PROJETO:<br>IMPLEMENTAÇÃO PDA<br>PRÉDIO DE ESTOCAGEM<br>ENGENHEIRO RESPONSÁVEL: |                |                     |
| TÍTULO:<br><b>DETALHES TÍPICOS</b><br>IMPLEMENTAÇÃO PDA |                                                                                 |                |                     |
| Nº DES:                                                 | REV: 0                                                                          | FORMATO: A1    | ESCALA: 1:300       |

Este documento é propriedade da empresa e não deve ser reproduzido ou divulgado sem a autorização expressa da empresa. A empresa não se responsabiliza por danos ou prejuízos decorrentes do uso indevido deste documento.