

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

LUANA NUNES DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
EM EDIFICAÇÃO DE UMA EMPRESA PRESTADORA DE SERVIÇOS DO NORTE
DO RIO GRANDE DO SUL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ERECHIM - RS
2022**

LUANA NUNES DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
EM EDIFICAÇÃO DE UMA EMPRESA PRESTADORA DE SERVIÇOS DO NORTE
DO RIO GRANDE DO SUL**

**Trabalho de Conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica,
Departamento de Engenharias e Ciência da
Computação da Universidade Regional
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –
Câmpus de Erechim.**

Orientador: Prof. Esp. Fernando Luis Tartari
Peres

**ERECHIM - RS
2022**

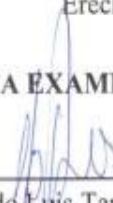
LUANA NUNES DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
EM EDIFICAÇÃO DE UMA EMPRESA PRESTADORA DE SERVIÇOS DO NORTE
DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel
em Engenharia Elétrica, Departamento de
Engenharias e Ciência da Computação da
Universidade Regional Integrada do Alto
Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.

Erechim, 08 de Dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA



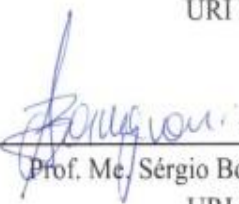
Prof. Esp. Fernando Luis Tartari Peres (Orientador)
URI Erechim



Prof. Ma. Camila Sampaio dos Reis (Coorientadora)
URI Erechim



Prof. Dr. Cássio Luciano Baratieri (Examinador)
URI Erechim



Prof. Me. Sérgio Bordignon (Examinador)
URI Erechim

Dedico este trabalho a Deus, o maior orientador da minha vida, onde esteve comigo a todo momento nessa jornada, também dedico aos meus pais Olga e Adelcio, pois estou concluindo esse curso graças a todo apoio e incentivo que a deles vieram, e dedico também aos meus amigos e colegas (de trabalho e graduação) que tanto contribuíram para a formação da pessoa que me tornei.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pois foi ele que me permitiu cursar Engenharia Elétrica, ele quem me deu sabedoria, me fortaleceu fisicamente e emocionalmente para que eu não desistisse e viesse a concluir o curso, eu senti a presença dele durante esse tempo todo. Quero também agradecer as pessoas mais importantes na minha vida, minha mãe Olga C. Nunes de Oliveira e meu pai Adelcio Nunes de Oliveira, que são os responsáveis por tornar esse meu sonho possível. Que deixaram seus sonhos de lado, para que eu pudesse alcançar o meu. Jamais mediram esforços para me proporcionar todas as condições necessárias, me deram suporte emocional, financeiro, me deram colo, quando faltava animo me deram muito carinho, e sempre acreditaram em mim, o carinho, a presença deles foi o combustível para eu ter chegado até aqui!! Desde criança sempre me incentivando a buscar conhecimento. Sou imensamente grata, amo vocês.

Agradeço também a meu grande amigo e irmão de coração Bruno, que esteve comigo em muitos momentos ao longo dessa jornada, e a maioria deles eram os difíceis. Amigo que fez eu conhecer e acreditar no meu potencial, e sempre acreditou em mim, sempre esteve ao meu lado, esse apoio foi fundamental para tornar meus dias mais leves, mais alegres e foi combustível para que eu continuasse a jornada.

Agradeço aos meus queridos colegas de trabalho, que inclusive são meus grandes amigos, e ao meu gestor Cassiano J. Pomiecinski, que estiveram comigo nessa jornada, auxiliando o meu desenvolvimento, ao desenvolvimento de minhas habilidades, sempre torcendo por mim, vocês foram peças fundamentais e são, contribuíram bastante para a formação da pessoa que me tornei, e são um presente em minha vida.

Quero agradecer também a pessoas, onde não citarei nomes, mas que quando estiverem lendo esse texto sentirão que és para vós, amigos e família, vocês que compreenderam a certa ausência que foi necessária para meus dias de estudos e dedicação ao curso, vocês que mesmo estando distantes fisicamente sempre acharam alguma forma de se mostrar presente na minha jornada e me dando forças, vocês que tiveram paciência e permanecem comigo até hoje, o meu sincero muito obrigada.

Agradeço também, a todos meus colegas que são grandes amigos, por todos os aprendizados que partilhamos juntos, e todos os momentos que passamos para que o nosso tão esperado dia chegasse. Agradeço a todos os professores da graduação, que me proporcionaram aprendizado das disciplinas do curso de Engenharia Elétrica, que foi fundamental para o desenvolvimento desse trabalho.

Por fim quero agradecer ao meu orientador Prof. Esp. Fernando Luis Tartari Peres e a minha Coorientadora Profa. Ma. Camila Sampaio dos Reis, por todo ensinamento e incentivo para a realização desse trabalho. Também agradecer por toda a paciência e a grande amizade durante essa jornada, vou levar ela para a vida.

“Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou teu Deus; eu te fortaleço, e te ajudo, e te sustendo com a destra da minha justiça.”

Isaías 41:10

RESUMO

O presente trabalho aplica os conceitos e métodos referentes a proteção contra descargas atmosféricas (PDA), que se constitui de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas e Medidas de Proteção contra Surtos, para a análise da necessidade de instalação na edificação de uma empresa prestadora de serviços da região norte do Rio Grande do Sul, localizada no município de Erechim. A fundamentação teórica contempla, desde a origem da descarga atmosférica até o sistema de captação, descida, aterramento e equipotencialização da edificação em estudo. Também se encontram as descrições das Medidas de Proteção contra Surtos. Em seguida foram apresentadas características da empresa, e características referentes a localização geográfica, condições climáticas e densidades de descargas atmosféricas da mesma. Após as etapas de estudo e pesquisas, foi realizado um roteiro, que teve como objetivo auxiliar a análise em campo. Com os dados coletados da viabilidade em campo, e parâmetros necessários, foi realizado a análise e gerenciamento de risco da edificação, onde inicialmente foi identificado que a mesma não possuía PDA instalado, foi separado em 3 zonas, sendo: zona 1, zona 2 e zona 3. Foram definidos os tipos de perdas de cada zona, onde cada perda implicou em a determinação de certos riscos. Em seguida foram realizados os cálculos necessários para obter o valor de risco de cada zona, e por fim encontrado o risco total da edificação, dessa forma comparado com o risco tolerável, onde foi possível concluir que há necessidade de instalação de proteção. Posteriormente, foram definidos os novos parâmetros, considerando proteção de PDA, refeitos os cálculos para obtenção do valor total do risco, e comparado novamente com o risco tolerável, onde a solução proposta, referente ao nível de proteção atende aos requisitos. Após obter o nível de proteção que atende aos requisitos, foi implementado projeto PDA completo, onde inicialmente foi definido o método a ser utilizado no projeto, em seguida foi projetado o subsistema de captação, seguindo as normas e respeitando as distâncias máximas das malhas. Posterior a isso, foi projetado o subsistema de descida, onde foram calculadas as quantidades de descida necessárias e distribuídas no projeto, visando funcionalidade e a otimização. Em seguida foi projetado o aterramento, onde inicialmente foi realizada a sondagem geoeletrica do solo em campo, na empresa, para verificar a resistividade e características do solo, e após foram ressaltadas as determinações para que haja a confiabilidade do sistema. Afim de evitar danos aos sistemas internos, posteriormente foi realizado o dimensionamento de DPS, onde foi levado em consideração a potência instalada na empresa, as características da carga, dimensões da estrutura e o sistema de proteção contra descargas atmosféricas proposto. Após foram verificados os materiais necessários para a realização do projeto e a análise de custos. Por fim, concluiu-se que a empresa não possui nenhum tipo de PDA, onde dessa forma não oferece proteção necessária as condições de riscos existentes, recomenda-se que a mesma acate as soluções do projeto, pois apresentou uma solução adequada, alinhada as normas técnicas atuais, e também voltado aos requisitos solicitados da empresa, e caso a empresa opte pela realização do projeto, deverá ser realizado por um profissional habilitado e capacitado a exercer essa atividade.

Palavras-chave: PDA. SPDA. DPS. Descargas Atmosféricas. Surto. Proteção. Aterramento.

ABSTRACT

The present work applies the concepts and methods related to lightning protection (PDA), which consists of Lightning Protection Systems (SPDA) and Surge Protection Measures (MPS), to analyze the need for installation in the building. of a service provider company in the northern region of Rio Grande do Sul, located in the municipality of Erechim-rs. The theoretical foundation covers, from the origin of the atmospheric discharge to the system of capture, descent, grounding and equipotentialization of the building under study. Also included are descriptions of Outbreak Protection Measures. Next, the company's characteristics were presented, and characteristics referring to its geographic location, climatic conditions and atmospheric discharge densities. After the study and research stages, a script was carried out, which aimed to assist the analysis in the field. With the data collected from the feasibility in the field, and necessary parameters, the analysis and risk management of the building was carried out, where initially it was identified that it did not have PDA installed, it was separated into 3 zones, being: zone 1, zone 2 and zone 3. The types of losses for each zone were defined, where each loss implied the determination of certain risks. Then the necessary calculations were carried out to obtain the risk value of each zone, and finally the total risk of the building was found, in this way compared with the tolerable risk, where it was possible to conclude that there is a need to install protection. Finally, new parameters were defined, considering PDA protection, the calculations were redone to obtain the total value of the risk, and compared again with the tolerable risk, where the proposed solution, regarding the level of protection, meets the requirements. After obtaining the protection level that meets the requirements, a complete PDA project was implemented, where the method to be used in the project was initially defined, then the capture subsystem was designed, following the standards and respecting the maximum distances of the meshes. After that, the descent subsystem was designed, where the necessary descent quantities were calculated and distributed in the project, aiming at functionality and optimization. Then the grounding was designed, where initially the geoelectric sounding of the soil was carried out in the field, at the company, to verify the resistivity and characteristics of the soil, and after that the determinations were highlighted so that there is the reliability of the system. In order to avoid damage to the internal systems, the SPD sizing was later carried out, which took into account the installed power in the company, the characteristics of the load, dimensions of the structure and the proposed lightning protection system. Afterwards, the materials needed to carry out the project and the cost analysis were verified. Finally, it was concluded that the company does not have any type of PDA, which in this way does not offer the necessary protection to the existing risk conditions, it is recommended that it comply with the project solutions, as it presented an adequate solution, in line with the norms current techniques, and also aimed at the requirements requested by the company, and if the company chooses to carry out the project, it must be carried out by a qualified professional qualified to carry out this activity.

Palavras-chave: PDA. SPDA. DPS. Atmospheric discharges. Outbreak. Protection. Grounding.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição das cargas elétricas.....	21
Figura 2 – Formação de uma descarga atmosférica.	22
Figura 3 – Mapa do Biênio 2018/2019.....	23
Figura 4 – Casa danificada por um raio.....	24
Figura 5 – Danos em equipamentos devido as descargas atmosféricas.	24
Figura 6 – Conexões entre as partes da ABNT NBR 5419: 2015.	25
Figura 7 – Procedimento para decisão da necessidade de proteção e para selecionar as medidas de proteção.	26
Figura 8 – Fontes de dados, tipo de danos e tipo de perdas de acordo com o ponto de impacto.	28
Figura 9 –Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos.	29
Figura 10 – Volume de proteção promovido por um mastro.	34
Figura 11 – Ângulo de proteção correspondente a classe do SPDA.	34
Figura 12 – Volume de proteção promovido por um mastro para duas alturas diferentes.....	35
Figura 13 – Determinação da distância do raio da esfera do modelo eletrogeométrico.....	35
Figura 14 – Projeto do subsistema de captação conforme o método da esfera rolante.	36
Figura 15 – Posicionamento dos condutores em função da Classe do SPDA.....	37
Figura 16 – Comprimento mínimo do eletrodo de aterramento.	40
Figura 17 – Divisão de ambiente em zonas de proteção contra raios.....	41
Figura 18 – Exemplo de um sistema de aterramento tridimensional consistindo em uma rede de equipotencialização, interligada com o subsistema de aterramento.	42
Figura 19 – DPS classe I/II para instalação em quadros de entrada.....	44
Figura 20 – Localização da empresa.	47
Figura 21 – Mapa topográfico Erechim- RS.	48
Figura 22 – Temperaturas e precipitações médias do clima em Erechim.	48
Figura 23 – Densidade de descargas atmosféricas NG – Erechim (descargas atmosféricas/km ² / ano).....	49
Figura 24 – Separação das zonas da edificação.....	49
Figura 25 – Área de exposição equivalente da estrutura.	51
Figura 26 – Parâmetros característicos da edificação.....	51
Figura 27 – Parâmetros da linha de energia.	52
Figura 28 – Parâmetros de entrada referentes a linha de sinal.	52
Figura 29 – Características da Zona de Exposição – Zona 1.....	53
Figura 30 – Entrada de dados para análise L1: perda de vida humana zona 1.....	54
Figura 31 – Entrada de dados para análise L4: perda de valor econômico zona 1.....	56
Figura 32 – Características da Zona de Exposição – Zona 2.....	57
Figura 33 – Entrada de dados para análise L1: perda de vida humana zona 2.....	58
Figura 34 – Características da Zona de Exposição – Zona 3.....	59
Figura 35 – Entrada de dados para análise L1: perda de vida humana zona 3.....	59
Figura 36 – Detalhamento fixação barra chata em alumínio no telhado	64
Figura 37 – Detalhamento referente a emendas de barras chatas em alumínio.....	65

Figura 38 – Detalhamento descida de barra chata em alumínio.....	66
Figura 39 – Detalhamento conexão da descida em barra chata de alumínio com o aterramento	67
Figura 40 – Terrômetro MTD 20KWe MEGABRAS, utilizado na medição.....	68
Figura 41 – Curva de resistividade por distância antes da inversão	69
Figura 42 – Curva de resistividade do solo após inversão e comportamento geolétrico das camadas do solo.....	70
Figura 43 – Detalhe da vala para acomodação do cabo do aterramento	71
Figura 44 – Detalhe do anel de aterramento.....	71
Figura 45 – DPS-CLAMPER Front	72
Figura 46 – Esquema de ligação do DPS em quadro de distribuição.....	73
Figura 47 – Relação de materiais necessários para realização do projeto, e análise de custos..	74
Figura 48 – Perdas, Riscos e Danos de cada zona analisada.....	75

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Níveis de proteção e suas respectivas classes de SPDA.....	32
Tabela 2 – Máximas dimensões da malha em relação a classe de proteção.....	37
Tabela 3 – Valores típicos de distância dos condutores de descida, de acordo com a classe de SPDA.....	38
Tabela 4 –Valores típicos de risco tolerável R_T	50
Tabela 5 – Valores das probabilidades da edificação sem proteção.....	53
Tabela 6 - Tipo de perda L1: Valores da perda para cada zona.	54
Tabela 7 – Probabilidades de perda vida humana zona 1.....	54
Tabela 8 – Valores de riscos perda vida humana zona 1.....	55
Tabela 9 – Tipo de perda L4: Valores da perda para cada zona.....	55
Tabela 10 – Probabilidades de perda valor econômico zona 1.....	56
Tabela 11 – Valores de risco perda valor econômico zona 1	56
Tabela 12 – Probabilidades de perda vida humana zona 2.....	58
Tabela 13 – Valores de riscos perda vida humana zona 2.....	58
Tabela 14 – Valores de riscos perda vida humana zona 3.....	60
Tabela 15 – Valores de riscos perda vida humana zona 3.....	60
Tabela 16 – Novos cálculos de probabilidade.....	61
Tabela 17 – Probabilidades de perdas zona 1.....	61
Tabela 18 – Novos valores de riscos zona 1.....	61
Tabela 19 – Novos Novos cálculos probabilidades de perdas de valor econômico.	62
Tabela 20 – Novos valores de riscos econômicos zona 1.	62
Tabela 21 – Probabilidade de perdas zona 2.	62
Tabela 22 – Novos valores de riscos zona 2.....	63
Tabela 23 – Probabilidades de perdas zona 3.....	63
Tabela 24 – Novos valores de riscos zona 3.....	63
Tabela 25 – Valores das resistências apresentadas no termômetro	68
Tabela 26 – Valores da resistividade aparente inicial	68
Tabela 27 – Valores da resistividade aparente final sem erros.....	69
Tabela 28 – Valores das 4 camadas do solo	70
Tabela 29 – Número esperado anual de eventos perigosos na Edificação	75
Tabela 30 – Análise dos resultados sem proteção	76
Tabela 31 – Análise dos resultados com proteção.....	76
Tabela A1 – Fator de localização da estrutura C_D	90
Tabela A2 – Fator de instalação da linha CI	90
Tabela A3 – Fator de instalação da linha CT	90
Tabela A4 – Fator ambiental da linha CE	90
Tabela B1 – Valores de probabilidade P_{TA} de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choques a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas.....	91

Tabela B2 – Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.	91
Tabela B3 – Valores de probabilidade P_{SPD} em função no NP para o qual os DPS foram projetados.	91
Tabela B4 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento.....	92
Tabela B5 – valor do fator K_{S3} dependendo da fiação interna.....	92
Tabela B6 – Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas.	93
Tabela B7 – Valor da probabilidade PEB em função do NP para o qual os DPS foram projetados	93
Tabela B8 – Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_W do equipamento.	93
Tabela B9 – Valores da probabilidade P_{LI} dependendo do tipo da linha e da tensão suportável do impulso U_W dos equipamentos.	93
Tabela B10 – Tipos de danos	94
 Tabela C1 – Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso.	94
Tabela C2 – Fator de redução r_p em função das providencias tomadas para reduzir as consequências de um incêndio	94
Tabela C3 – Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura ..	95
Tabela C4 – Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial	95
Tabela C5 – Tipo de perda L4: Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O	95
 Quadro 1 – A relação entre as componentes de risco com fontes e tipos de danos.	30
Quadro 2 – Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fonte de danos.	31
Quadro 3 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho de malha e ângulo de proteção.	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normal Técnicas
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
ELAT	Grupo de Eletricidade Atmosférica
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LEMP	Pulso eletromagnético gerado a partir da descarga atmosférica
MPS	Medida de proteção contra surto
PDA	Proteção Contra Descarga Atmosférica
SPDA	Sistema de proteção Contra Descargas Atmosféricas
ZPR	Zonas de proteção contra raio

LISTA DE VARIÁVEIS

<i>S1</i>	Fonte de Dano – Descargas Atmosféricas na Estrutura
<i>S2</i>	Fonte de Dano – Descargas Atmosféricas Perto da Estrutura
<i>S3</i>	Fonte de Dano – Descargas Atmosféricas na Linha
<i>S4</i>	Fonte de Dano – Descargas Atmosféricas Perto da Linha
<i>D1</i>	Ferimentos a Seres Vivos por Choque Elétrico
<i>D2</i>	Danos Físicos
<i>D3</i>	Falhas de Sistemas Eletroeletrônicos
<i>L1</i>	Perda de Vida Humana
<i>L2</i>	Perda de Serviço ao Público
<i>L3</i>	Perda de Patrimônio Cultural
<i>L4</i>	Perda de Valor Econômico
<i>R1</i>	Risco de Perda de Vida Humana em uma Estrutura
<i>R2</i>	Risco de Perda de Serviço ao Público em uma Estrutura
<i>R3</i>	Risco de Perda de Patrimônio Cultural em uma Estrutura
<i>R4</i>	Risco de Perda de Valor Econômico em uma Estrutura
<i>RT</i>	Risco Tolerável
<i>R</i>	Risco Total da Estrutura
<i>RX</i>	Componente de Risco para uma Estrutura
<i>NX</i>	Número de Eventos Perigosos por Ano
<i>PX</i>	Probabilidade de Danos Relevantes à Estrutura
<i>LX</i>	Perda Consequente a Danos Relevantes à Estrutura
<i>re</i>	Raio Equivalente
<i>NG</i>	Densidade de descargas atmosféricas para a terra
<i>AD</i>	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura isolada
<i>CD</i>	Fator de localização
<i>PTA</i>	Probabilidade de reduzir PA dependendo das medidas de proteção contra tensões de toque e passo
<i>PB</i>	Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)
<i>KS1</i>	Fator relevante à efetividade da blindagem por malha de uma estrutura
<i>KS2</i>	Fator relevante à efetividade da blindagem por malha dos campos internos de uma estrutura
<i>LT</i>	Perda devido a ferimentos por choque elétrico
<i>LF</i>	Perda em uma estrutura devido a danos físicos
<i>rt</i>	Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo
<i>rp</i>	Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio
<i>rf</i>	Fator redutor de perda dependente do risco de incêndio
<i>hZ</i>	Fator de aumento de perda quando um perigo especial está presente
<i>nZ</i>	Número de possíveis pessoas em perigo (vítimas ou usuários não servidos)
<i>nT</i>	Número total de pessoas (ou usuários atendidos) esperado
<i>tZ</i>	Tempo que pessoas estão presentes em um local perigoso
<i>LL</i>	Comprimento de uma seção da linha
<i>CI</i>	Fator de instalação de uma linha
<i>CT</i>	Fator de tipo de linha para um transformador AT/BT na linha
<i>CE</i>	Fator ambiental
<i>PEB</i>	Probabilidade de reduzir PU e PV dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento quando EB (ligação equipotencial) é instalada
<i>PSPD</i>	Probabilidade de reduzir PC, PM, PW e PZ quando um sistema coordenado de DPS está instalado

<i>CLD</i>	Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas na linha
<i>CLI</i>	Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas perto da linha
<i>KS3</i>	Fator relevante às características do cabeamento interno
<i>KS4</i>	Fator relevante à tensão suportável de impulso de um sistema
<i>PTU</i>	Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
<i>PLD</i>	Probabilidade de reduzir PU, PV e PW dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento (descargas atmosféricas na linha conectada)
<i>PLI</i>	Probabilidade de reduzir PZ dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
<i>ND</i>	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura
<i>PA</i>	Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)
<i>LA</i>	Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)
<i>RA</i>	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)
<i>PB</i>	Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)
<i>LB</i>	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)
<i>RB</i>	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)
<i>NL</i>	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas a uma linha
<i>PU</i>	Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
<i>LU</i>	Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha)
<i>RU</i>	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)
<i>PV</i>	Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
<i>LV</i>	Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha)
<i>RV</i>	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)
<i>LO</i>	Valor relativo médio típico de todos os valores danificados pela falha de sistemas internos
<i>ca</i>	Valor dos animais na zona
<i>cb</i>	Valor da edificação relevante à zona
<i>cc</i>	Valor do conteúdo da zona
<i>Cs</i>	Valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona
<i>ct</i>	Valor total da estrutura (soma de todas as zonas para animais, edificação, conteúdo e sistemas internos incluindo suas atividades)
<i>LM</i>	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)
<i>LC</i>	Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)
<i>LW</i>	Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha)
<i>LZ</i>	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Objetivos gerais	20
1.2 Objetivos específicos	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 Descargas Atmosféricas	21
2.1.1 Origem dos Raios.....	21
2.1.2 Incidências de raio no Brasil	22
2.1.3 Danos dos raios	23
2.2 Proteção Contra Descargas Atmosféricas (PDA).....	24
2.3 Gerenciamento de Risco	25
2.3.1 Danos e perdas	26
2.3.1.1 Fontes dos danos	26
2.3.1.2 Tipos de danos.....	27
2.3.1.3 Tipos de perdas.....	27
2.3.2 Riscos.....	28
2.3.3 Componentes de risco	29
2.3.4 Análise dos componentes de risco	30
2.4 Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas	31
2.4.1 Subsistemas de Captação	32
2.4.1.1 Posicionamento	33
2.4.1.2 Métodos de proteção	33
2.4.1.2.1 Método do ângulo de proteção.....	34
2.4.1.2.2 Método da esfera rolante.....	35
2.4.1.2.3 Método das malhas	36
2.4.2 Subsistemas de descida e anéis de equipotencialização	37
2.4.3 Subsistemas de aterramento.....	39
2.5 Medidas de Proteção Contra Surtos.....	40
2.5.1 Aterramento e equipotencialização.....	42
2.5.2 Blindagem magnética e roteamento de linhas	42
2.5.3 Coordenação de DPS	43
3 METODOLOGIA.....	45
3.1 Estudo de Caso	46
3.2 Características da empresa	47
3.2.1 Localização geográfica	47
3.2.2 Condições climáticas e densidade de descargas atmosféricas	48
3.3 Análise e gerenciamento de risco	49
3.3.1 Zona 1	53
3.3.2 Zona 2	57
3.3.3 Zona 3	59
3.4 Projeto do PDA.....	64
3.4.1 Método do projeto.....	64
3.4.2 Subsistema de captação	64
3.4.3 Subsistema de descida	65
3.4.4 Projeto do aterramento.....	67
3.4.5 Dimensionamento de DPS	72
3.4.6 Análise de material e custos	73
4 RESULTADOS	75
5 CONCLUSÕES.....	78

REFERÊNCIAS	79
APENDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULOS DO GERENCIAMENTO DE RISCO.....	81
APENDICE B – PROJETO SPDA	88
APENDICE C – RELAÇÃO DE MATERIAIS NECESSÁRIOS	89
ANEXO A – PARÂMETROS DO GERENCIAMENTO DE RISCO	90

1 INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas são descargas elétricas de grande extensão e intensidade, que ocorrem devido ao acúmulo de cargas elétricas em regiões localizadas na atmosfera, em geral dentro de tempestades. A descarga inicia quando o campo elétrico gerado por essas cargas excede a rigidez dielétrica do ar, onde tem início um rápido deslocamento de elétrons de uma região de cargas negativas para uma região de cargas positivas (INPE, 2020).

São causadas sérias perturbações nas redes de transmissão e distribuição de energia elétrica devido às descargas atmosféricas, além de provocarem danos materiais nas construções atingidas, e riscos de morte que os seres vivos ficam submetidos (MAMEDE FILHO, 2017).

Segundo o ELAT (2020), o Brasil é campeão mundial em incidência de raios, com aproximadamente 77,8 milhões de raios por ano, tendo uma média de 110 pessoas mortas anualmente, devido a esse fenômeno, e mais de 200 feridas.

Dessa forma, a finalidade do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) é proteger a estrutura e tudo que tem em seu interior, possibilitando caminho de baixa impedância para que o raio escoe para terra (SOUZA et al., 2020).

A ABNT NBR 5419-1:2015 afirma, que não há dispositivos ou métodos capazes de modificar os fenômenos climáticos naturais a ponto de se prevenir a ocorrência de descargas atmosféricas. Portanto, devem ser consideradas as medidas de proteção.

Todas as medidas de proteção contra descargas atmosféricas formam a proteção completa contra as descargas atmosféricas. São considerados em dois grupos: o primeiro grupo se refere às medidas de proteção para reduzir danos físicos e riscos à vida dentro de uma estrutura, e o segundo grupo se refere às medidas de proteção para reduzir falhas de sistemas elétricos e eletrônicos em uma estrutura (ABNT NBR 5419-1:2015).

Deste modo, este trabalho propõe realizar um estudo de caso na edificação de uma empresa prestadora de serviços da região norte do Rio Grande do Sul, referente às Proteções contra Descargas Atmosféricas (PDA), verificar se há necessidade de proteção da mesma, e propor uma solução técnica adequada, visando a diminuição dos riscos de danos aos equipamentos, a edificação e todo conteúdo que há internamente, e também a segurança humana devido às descargas atmosféricas, pois a empresa teve um aumento significativo de funcionários, aquisição de materiais e equipamentos para execução dos serviços diários.

A relevância desse trabalho se dá também, pois, como mencionado através do Grupo de eletricidade atmosférica (ELAT), o Brasil é o país onde existe a maior incidência de raios em

todo o mundo, e registrou um aumento de 29% de queda de raios nos 2 primeiros meses de 2022, em comparação ao mesmo período relacionado ao ano de 2021.

1.1 Objetivos gerais

Este trabalho propõe avaliar PDA da edificação de uma empresa prestadora de serviços do norte do Rio Grande do Sul, e desenvolver uma solução técnica adequada, através da realização de um projeto que diminua os riscos existentes, garantindo a segurança dos funcionários, equipamentos elétricos e eletrônicos, e toda a edificação.

1.2 Objetivos específicos

- Estudar a legislação e as normas técnicas referentes a PDA;
- Realizar pesquisa bibliográfica, acerca dos fundamentos teóricos relacionados com PDA;
- Fazer um roteiro para a vistoria em campo;
- Executar levantamento em campo da edificação;
- Efetuar uma análise e gerenciamento de risco da estrutura de uma empresa prestadora de serviços do norte do Rio Grande do Sul;
- Proceder os cálculos para determinar a necessidade de proteção;
- Verificar os resultados;
- Projetar um PDA completo;
- Analisar os métodos de proteção, e propor um adequado para atender as necessidades;
- Executar sondagem geelétrica do solo;
- Realizar análise de custos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são abordados os principais conceitos para o entendimento sobre as descargas atmosféricas. Em seguida, o que é, como funciona e quais são os dispositivos que constituem um PDA. Após é visto conceitos e os requisitos necessários para realizar o estudo da análise e gerenciamento de risco, o qual define se há ou não, a necessidade de proteção contra descargas atmosféricas.

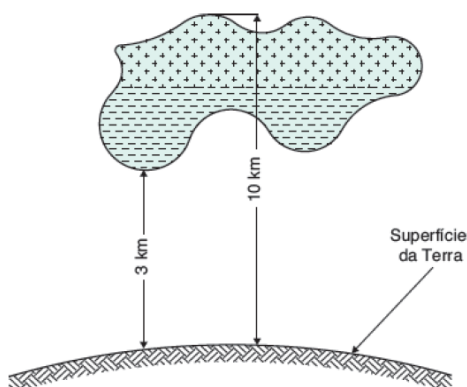
2.1 Descargas Atmosféricas

A descarga atmosférica, ou raio como é conhecido, é um fenômeno da natureza absolutamente imprevisível e aleatório, tanto em relação às suas características elétricas de intensidade, de corrente, ou tempo de duração, como em relação aos efeitos calamitosos decorrentes de sua incidência sobre as edificações (TERMOTÉCNICA, 2015).

2.1.1 Origem dos Raios

Conforme o passar do tempo surgiram teorias que explicassem esse fenômeno, atualmente segundo Mamede Filho (2017), é possível dizer que tem sua origem, inicialmente através da eletrização das nuvens. É visto experimentalmente na maioria dos fenômenos atmosféricos, que as cargas elétricas positivas ocupam a parte superior(topo) da nuvem, enquanto as cargas elétricas negativas se posicionam na sua parte inferior(base), gerando uma intensa migração de cargas positivas na superfície da Terra para a área correspondente à localização da nuvem, conforme possível observar na Figura 1.

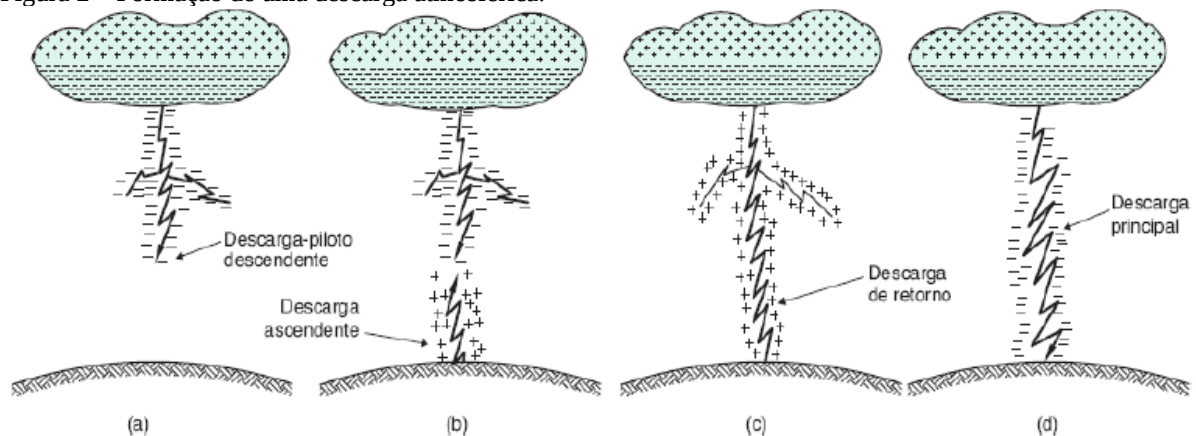
Figura 1 - Distribuição das cargas elétricas das nuvens e do solo.



Fonte: Mamede Filho (2017).

A descarga atmosférica ou raio, como é conhecido, se inicia quando o campo elétrico gerado por estas cargas excede a rigidez dielétrica do ar, que pode ser dentro da nuvem ou próximo ao solo. Uma vez rompida a rigidez, se inicia um rápido movimento de elétrons de uma região de cargas negativas para uma região de cargas positivas (VISACRO, 2005). Na Figura 2, é possível observar a formação de uma descarga atmosférica.

Figura 2 – Formação de uma descarga atmosférica.



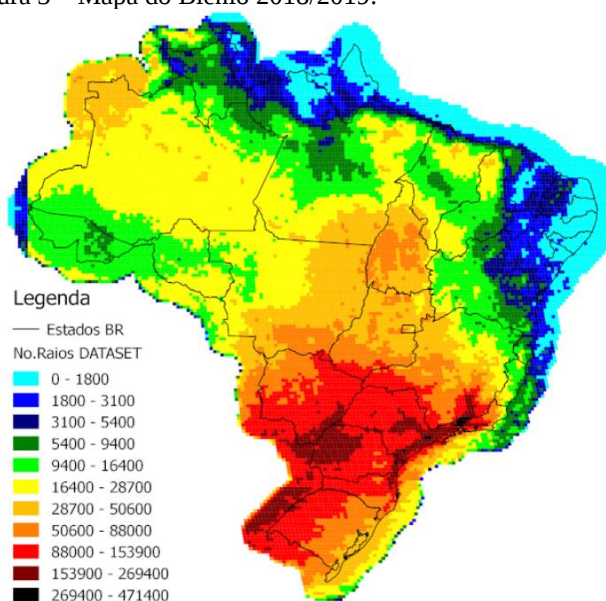
Fonte: Mamede Filho (2017).

Segundo a ABNT NBR 5419-1:2015, existem dois tipos básicos de descargas atmosféricas, sendo que o primeiro consiste em descargas atmosféricas descendentes iniciadas por um líder ascendente da nuvem para a terra. O segundo tipo básico se dá por descargas atmosféricas ascendentes que se iniciam por um líder ascendente, de uma estrutura aterrada para a nuvem.

2.1.2 Incidências de raio no Brasil

Segundo o grupo de eletricidade atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), anualmente caem no Brasil cerca de 77,8 milhões de raios, e a explicação é geográfica, pois trata-se do maior país da zona tropical do planeta, área central onde o clima é mais quente, assim sendo mais favorável a formação de tempestades e de raios. A Figura 3, mostra o número de raios atingidos em cada região do Brasil.

Figura 3 – Mapa do Biênio 2018/2019.



Fonte: INPE/CGPDI.

O ELAT ainda afirma, que o Brasil registrou um aumento de 29% de queda de raios, nos 2 primeiros meses de 2022 em comparação ao mesmo período, relacionado ao ano de 2021.

2.1.3 Danos dos raios

Os raios causam sérias perturbações nas redes elétricas de transmissão e distribuição de energia elétrica, além de provocar danos materiais nas construções atingidas por esse fenômeno, além de ressaltar os riscos de morte a que os seres vivos ficam submetidos (MAMEDE FILHO, 2017).

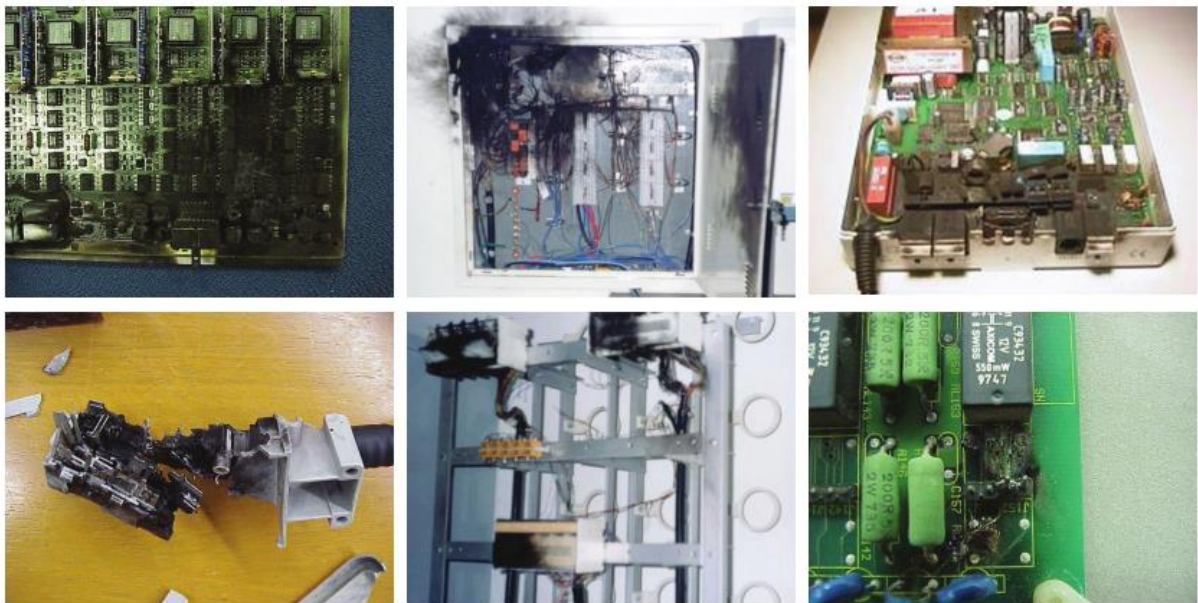
Além dos raios concederem danos físicos, também concedem danos materiais e econômicos. Milhões de dólares são perdidos anualmente devido à queima de equipamentos elétricos e eletrônicos ao redor do mundo. Além dos custos financeiros, a perda de equipamentos traz diversos transtornos para usuários que ficam privados de serviços hoje considerados essenciais (CLAMPER, 2016). Na Figura 4, é possível observar uma casa onde foi danificada por um raio, e logo abaixo na Figura 5, danos em equipamentos devido às descargas atmosféricas.

Figura 4 – Casa danificada por um raio.



Fonte: INPE (2017).

Figura 5 – Danos em equipamentos devido as descargas atmosféricas.



Fonte: Clamper (2016).

2.2 Proteção Contra Descargas Atmosféricas (PDA)

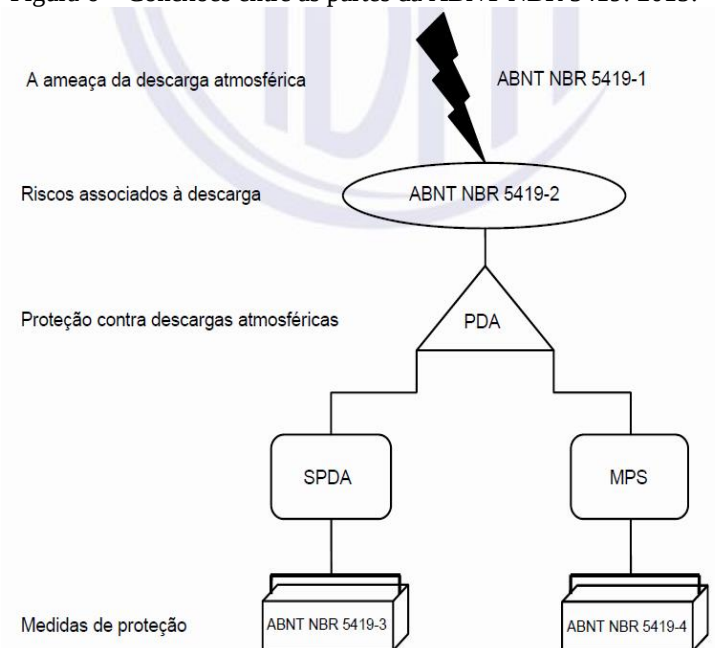
Um PDA, trata-se de um sistema completo que tem por objetivo a proteção estrutura física como também proteção de pessoas próximas a estrutura, incluindo seu sistema elétrico dos efeitos causados pelos raios. Cavalin (2010) representa melhor quando escreve:

Uma edificação é considerada segura contra descargas atmosféricas a partir do momento em que todo o procedimento de instalação de proteção for projetado e construído de tal maneira que os componentes da estrutura, as pessoas, os equipamentos e instalações, que estejam permanentemente ou temporariamente em

seu interior, fiquem efetivamente protegidos contra os raios e seus efeitos pelo maior espaço de tempo possível (CAVALIN, 2010, p. 376).

Segundo a ABNT NBR 5419-1:2015, um SPDA consiste em um sistema de proteção externo e um sistema de proteção interno, onde a função do SPDA externo é interceptar uma descarga atmosférica para a estrutura, em seguida conduzir a corrente da descarga atmosférica seguramente para o solo o dispersando, e a função do SPDA interno é evitar centelhamentos nocivos na estrutura entre os componentes internos a estrutura. A Figura 6, ilustra conexões entre as partes da ABNT NBR 5419:2015.

Figura 6 – Conexões entre as partes da ABNT NBR 5419: 2015.



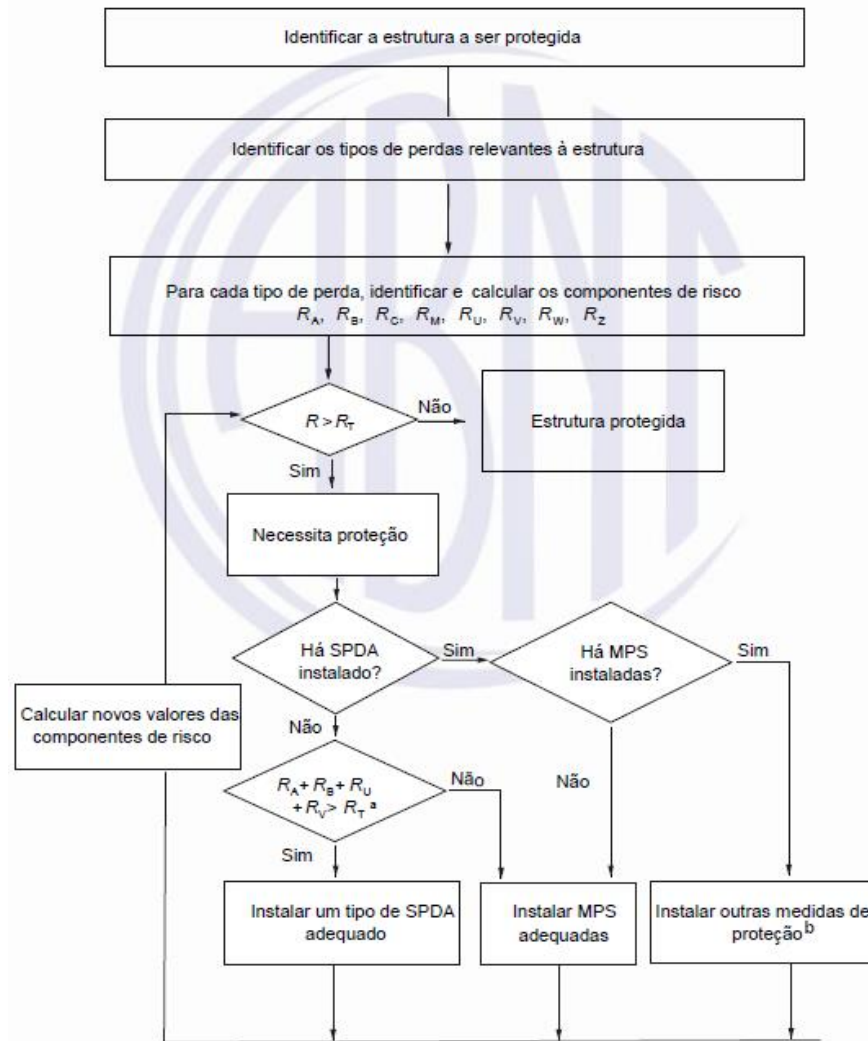
Fonte: ABNT NBR 5419-1:2015.

2.3 Gerenciamento de Risco

O Gerenciamento de Risco estabelece alguns requisitos para verificação da necessidade de projetar um PDA (SPDA + MPS), onde é de suma importância saber quais componentes serão ponderados e quais impactos que irão representar. Será possível a definição da necessidade de proteção, a partir da avaliação do risco para cada perda, sempre que o valor individual de cada risco for superior ao tolerável (SILVA, 2021).

O procedimento para decisão da necessidade de proteção e para selecionar as medidas de proteção, é possível ser observado na Figura 7.

Figura 7 – Procedimento para decisão da necessidade de proteção e para selecionar as medidas de proteção.



Fonte: ABNT NBR 5419:2015.

2.3.1 Danos e perdas

Segundo a ABNT NBR 5419-2:2015, os danos e os efeitos devidos às descargas atmosféricas, as fontes, e os tipos de danos que podem ocorrer, são classificações em função da posição do ponto de impacto acerca da estrutura. Ainda, os danos procedentes das descargas atmosféricas estão ligados com os tipos de perdas consideradas.

2.3.1.1 Fontes dos danos

As seguintes fontes de danos são distintas pelo ponto de impacto:

- a) S1: descargas atmosféricas na estrutura;
- b) S2: descargas atmosféricas perto da estrutura;
- c) S3: descargas atmosféricas na linha;

- d) S4: descargas atmosféricas perto da linha.

2.3.1.2 Tipos de danos

A ABNT NBR 5419-2:2015, afirma, que os danos causados pelas descargas atmosféricas dependem das características da estrutura a ser protegida. Algumas das características mais relevantes são: tipos de construção, conteúdos e aplicações, tipo de serviço e medidas de proteção existentes.

Distinguem entre três tipos básicos de danos que aparecem como consequência das descargas atmosféricas, os seguintes:

- a) D1: ferimentos aos seres vivos por choque elétrico;
- b) D2: danos físicos;
- c) D3: falhas de sistemas eletrônicos.

Os danos a uma estrutura devido a descargas atmosféricas podem ser limitados a uma parte ou se estender a estrutura inteira, podendo envolver também as estruturas ao redor ou o meio ambiente.

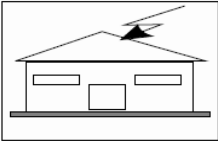
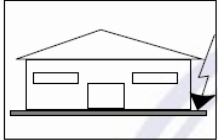
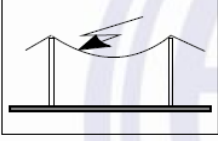
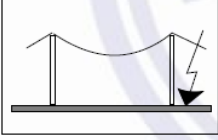
2.3.1.3 Tipos de perdas

As perdas provenientes das descargas atmosféricas estão diretamente relacionadas com os danos sofridos. Segundo ABNT NBR 5419-2:2015, cada tipo de dano, sozinho ou em combinação com os outros pode produzir perdas consequentes em uma estrutura. Devem ser levados em consideração os seguintes tipos de perdas:

- a) L1: perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- b) L2: perda de serviço ao público (energia, gás, sinais de TV);
- c) L3: perda de patrimônio cultural;
- d) L4: perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades).

Conforme ABNT NBR 5419-2:2015, perdas do tipo L1, L2 e L3 podem ser consideradas de valor social, consideradas perdas de valor econômico as perdas tipo L4. Na Figura 8, é possível observar a relação de fonte de danos, tipo de danos e tipo de perdas de acordo com o ponto de impacto.

Figura 8 – Fontes de dados, tipo de danos e tipo 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 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S2	D3	L1 ^b , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S4	D3	L1 ^b , L2, L4
^a Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos. ^b 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: ABNT NBR 5419:2015.

2.3.2 Riscos

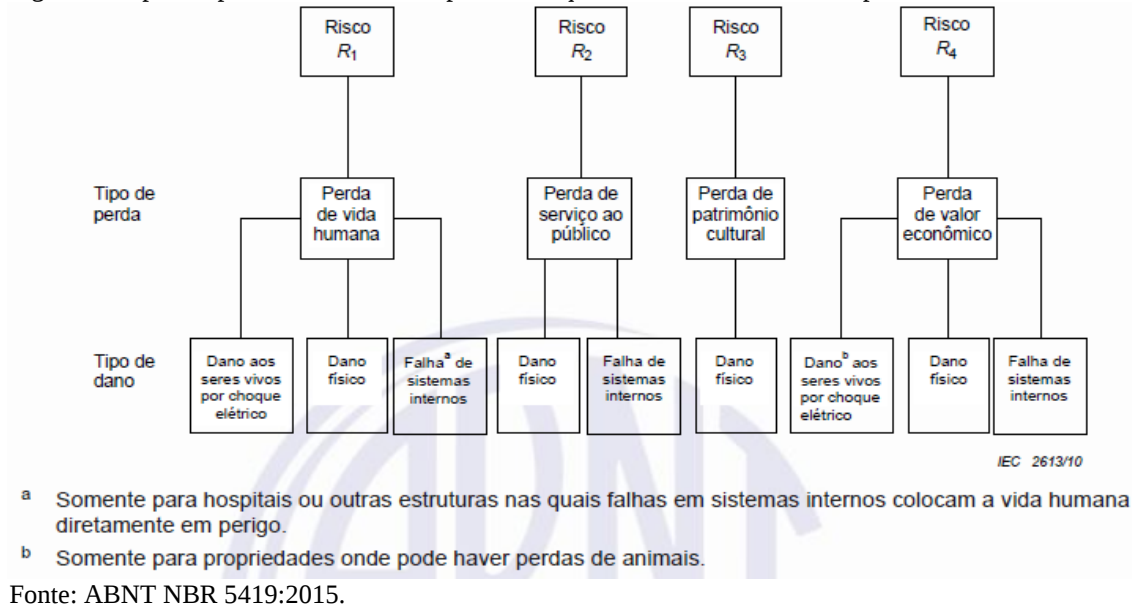
Conforme ABNT NBR 5419-2:2015, o risco R , é o valor de uma provável perda média anual. Para cada risco que pode aparecer na estrutura, o risco resultante deverá ser avaliado.

Os riscos a serem avaliados devem ser como a seguir:

- a) R1: risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- b) R2: risco de perda de serviço ao público;
- c) R3: risco de perda de patrimônio cultural;
- d) R4: risco de perda de valores econômicos.

Na Figura 9, é possível observar os tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos.

Figura 9 –Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos.



2.3.3 Componentes de risco

Segundo a ABNT NBR 5419-2:2015, cada risco, R , é a soma dos seus componentes de risco. Ao calcular um risco, os componentes de risco podem ser agrupados de acordo com as fontes e tipos de danos, conforme demonstrado no quadro 1.

Segundo a ABNT NBR 5419-2:2015, o cálculo das componentes de riscos se dá através das equações:

a) R_1 : Risco de perda de vida humana (equação 1):

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^1 + R_{M1}^1 + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^1 + R_{Z1}^1 \quad (1)$$

“1” Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa pôr em perigo a vida humana.

b) R_2 : Risco de perdas de serviço ao público (equação 2):

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (2)$$

Quadro 1 – A relação entre as componentes de risco com fontes e tipos de danos.

Fonte de dano	Tipo de dano	Componente de risco
S1	D1	R_A : componente referente a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo, podendo ser dentro da estrutura, ou fora, em zonas de até três metros ao redor dos condutores de descida.
	D2	R_B : refere-se a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura, que podem causar incêndios ou explosões.
	D3	R_C : relacionado a falhas de sistemas internos causados por LEMP (lightning electromagnetic impulse).
S2	D3	R_M : componente relativo a falhas de sistemas internos causados LEMP.
S3	D1	R_U : componente referente a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura.
	D2	R_V : componente relativo a danos físicos (incêndio ou explosão iniciados por centelhamento perigosos entre instalações externas e partes metálicas, geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura) devido à corrente da descarga atmosférica transmitida, ou ao longo das linhas.
	D3	R_W : relacionado a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas, que entram na estrutura e são transmitidas a esta.
S4	D3	R_Z : referente a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas, que entram na estrutura e transmitidas a esta.

Fonte: Adaptado ABNT NBR 5419: 2015

c) R_3 : Risco de perdas de patrimônio cultural (equação 3):

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (3)$$

d) R_4 : Risco de perdas de valor econômico (equação 4):

$$R_4 = R_{A4}^2 + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^2 + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (4)$$

“2” Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

2.3.4 Análise dos componentes de risco

Como descrito na ABNT NBR 5419-2:2015, cada componente de risco R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W , e R_Z , pode ser expressa pela seguinte equação geral (5):

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (5)$$

Sendo:

N_X – Número de eventos perigoso por ano;

P_X – Probabilidade de dano a estrutura;

L_X – Perda consequente.

O número N_X de eventos perigosos é afetado pela densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_G) e pelas características físicas da estrutura a ser protegida, sua vizinhança, linhas conectadas e o solo.

A probabilidade de dano P_X é afetada pelas características da estrutura a ser protegida, das linhas conectadas e das medidas de proteção existentes.

A perda consequente L_X é afetada pelo uso para qual a estrutura foi projetada, a frequência das pessoas, o tipo de serviço fornecido ao público, o valor dos bens afetados pelos danos e as medidas providenciadas para limitar a quantidade de perdas.

Os componentes de risco para estruturas estão descritos no Quadro 2, de acordo com os diferentes tipos de danos e diferentes fontes de danos.

Quadro 2 – Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fonte de danos.

Danos	Fonte de danos			
	S1 Descarga atmosférica na estrutura	S2 Descarga atmosférica perto da estrutura	S3 Descarga atmosférica na linha conectada	S4 Descarga atmosférica perto da linha conectada
D1 Ferimentos a seres vivos devido a choque elétrico	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$		$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$	
D2 Danos físicos	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$		$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$	
D3 Falha de sistemas eletroeletrônicos	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

2.4 Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas

A ABNT NBR 5419-3:2015 define, que o SPDA é o conjunto destinado a proteger a edificação contra descargas atmosféricas, ou seja, responsável por interceptar a descarga

atmosférica direto a estrutura, quanto a descarga lateral as estruturas, e em seguida conduzir a corrente da descarga atmosférica seguramente para o solo o dispersando.

As características de um SPDA são determinadas pelas características da estrutura a ser protegida, e pelo nível de proteção considerado pelas descargas atmosféricas. São apresentadas quatro classes de SPDA (I a IV), onde para cada classe encontram-se parâmetros específicos para a realização do dimensionamento do SPDA desde a captação até o aterramento. A Tabela 1 relaciona os níveis de proteção com suas respectivas classes de SPDA.

Tabela 1 – Níveis de proteção e suas respectivas classes de SPDA.

Nível de Proteção	Classe de SPDA
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Fonte: Adaptado ABNT NBR 5419-3:2015.

Os SPDA podem ser projetados e construídos utilizando materiais condutores naturais, ou materiais condutores não naturais, isto é, condutores naturais partes integrantes da estrutura que não podem ser alteradas, como armaduras de pilares e fundação, e condutores não naturais aqueles que não integram a estrutura, tais como cabos de cobre, aço cobreado, que foram ali instalados com finalidade única de proteger a estrutura contra descargas atmosféricas (MAMEDE FILHO, 2017). De forma geral, um SPDA é constituído de três subsistemas bem definidos que estão interligados, são eles:

- Subsistema de captação;
- Subsistema de descidas e anéis de equipotencialização;
- Subsistemas de aterramento.

2.4.1 Subsistemas de Captação

Segundo Mamede Filho (2017), são os elementos condutores localizados na parte mais elevada da edificação, normalmente expostos, e responsáveis pelo contato direto com as descargas atmosféricas.

Mamede Filho (2017) ainda afirma, que os captadores podem ser classificados em captadores naturais, constituídos de elementos condutores expostos, partes integrantes da edificação que se quer proteger, e também classificados em captadores não naturais, que são constituídos de

elementos condutores expostos, normalmente instalados sobre a cobertura e a lateral das edificações.

A ABNT NBR 5419-3:2015 estabelece que o correto posicionamento dos elementos captadores e subsistemas de captação é que determina o volume de proteção.

2.4.1.1 Posicionamento

Conforme ABNT NBR 5419-3:2015, os componentes do subsistema de captação instalados na estrutura devem ser posicionados nos cantos salientes, pontas expostas e nas beiradas (especialmente no nível superior de qualquer fachada) de acordo com um ou mais dos métodos de proteção padronizados, essa norma estabelece que a captação também pode ser realizada por condutores suspensos ou condutores em malha.

Métodos aceitáveis a serem utilizados na determinação da posição do subsistema incluem:

- a) Método do ângulo de proteção (Método de Franklin);
- b) Método da esfera rolante (Método Eletrogeométrico);
- c) Método das malhas (Método de Faraday).

2.4.1.2 Métodos de proteção

Segundo a ABNT NBR 5419-3:2015 cada um dos métodos possui diferentes parâmetros relacionados às diferentes classes do SPDA, que são previamente definidos na etapa de gerenciamento de risco. A localização dos captadores irá variar de acordo com o método de proteção escolhido. Os métodos de esfera rolante e das malhas são adequados em todos os casos, já o método do ângulo de proteção é adequado para edificações de formato simples, porém é necessário verificar os limites de altura dos captadores indicados no Quadro 3.

Quadro 3 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho de malha e ângulo de proteção.

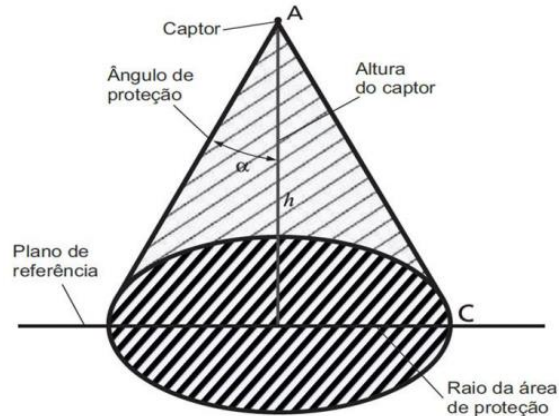
Quadro 5 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho de malha e ângulo de proteção.			
—	Método de proteção		
Classe do SPDA	Raio da esfera rolante - R m	Máximo afastamento dos condutores da malha m	Ângulo de proteção α°
I	20	5 × 5	Ver Figura 1
II	30	10 × 10	
III	45	15 × 15	
IV	60	20 × 20	

Fonte: ABNT NBR 5419-3:2015.

2.4.1.2.1 Método do ângulo de proteção

Também conhecido como método de Franklin, nesse método o volume de proteção é calculado em função da altura do captor e do ângulo de proteção desse captor, conforme Figura 10. A geratriz de um mastro que forma um cone circular, cujo vértice está posicionado no eixo do mastro, é responsável pela definição do volume de proteção. Somente haverá proteção da estrutura se ela estiver totalmente inserida dentro do volume de proteção delimitado pelo cone fictício, representado pela área hachurada (NTU 014).

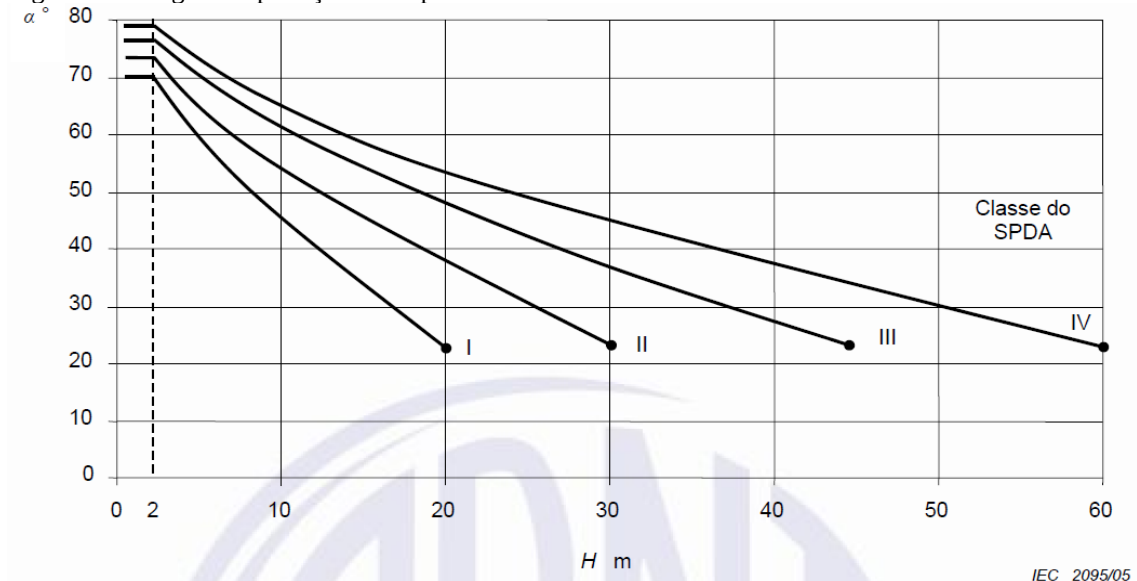
Figura 10 – Volume de proteção promovido por um mastro.



Fonte: NTU 014.

Na figura 11, observa-se os valores para ângulo de proteção, para cada tipo de classe de SPDA.

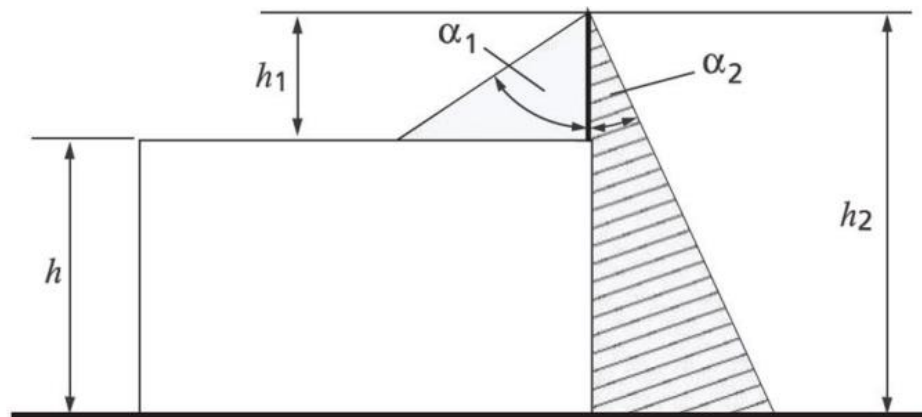
Figura 11 – Ângulo de proteção correspondente a classe do SPDA.



Fonte: ABNT NBR 5419-3:2015.

Dependendo do plano de referência pode haver mais de um ângulo, onde o ângulo α_1 toma como base o topo da edificação, e o ângulo α_2 toma como base o solo, conforme observado na Figura 12 (NTU 014).

Figura 12 – Volume de proteção promovido por um mastro para duas alturas diferentes.



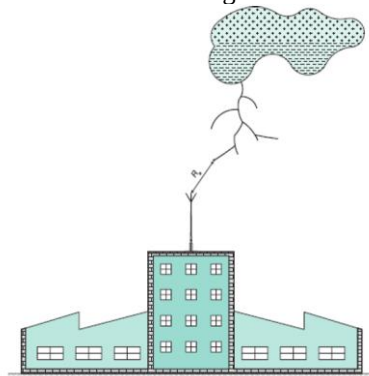
Fonte: NTU 014.

2.4.1.2.2 Método da esfera rolante

Também conhecido como método eletrogeométrico, esse método se baseia na delimitação do volume de proteção dos captores de um SPDA, no qual podem ser utilizados hastes, cabos ou a combinação de ambos. Nas estruturas de formas arquitetônicas complexas são aplicados com muita eficiência (MAMEDE FILHO, 2017).

O método da esfera rolante se firma na premissa de uma esfera de Raio R_e , com o centro localizado na extremidade do líder antes de seu último salto, conforme ilustrado na figura 13. O lugar geométrico que a descarga atmosférica deverá atingir, são os pontos da superfície da referida esfera (MAMEDE FILHO, 2017).

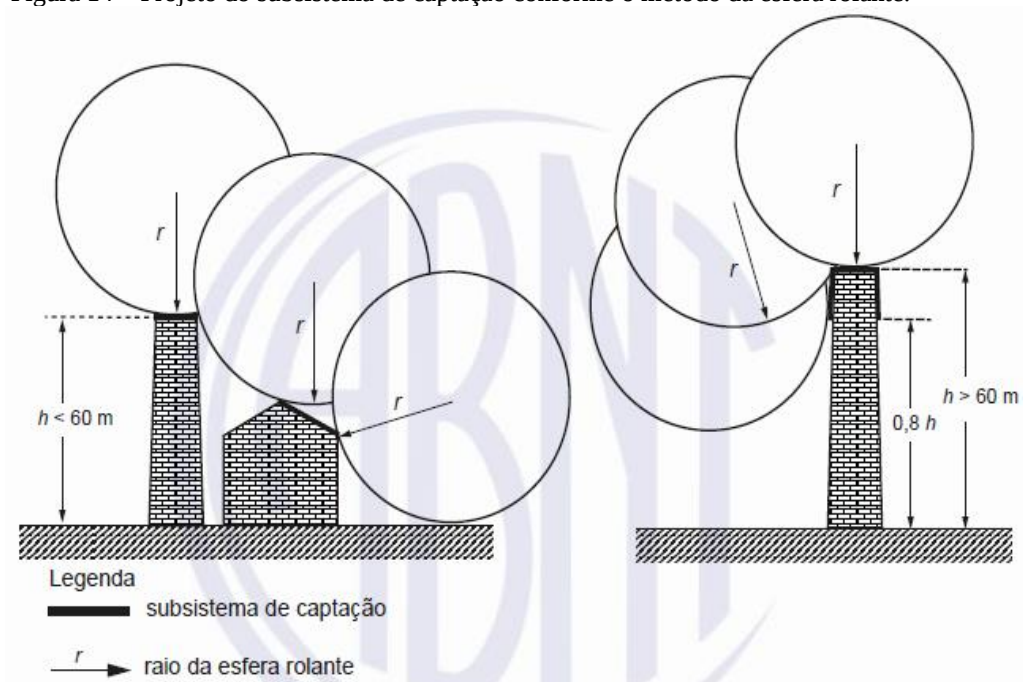
Figura 13 – Determinação da distância do raio da esfera do modelo eletrogeométrico.



Fonte: Mamede Filho (2017).

Segundo Creder (2014), o objetivo do método é que a esfera role por toda área de uma instalação protegida, e nunca toque qualquer parte que não seja elemento captor. As partes da edificação eventualmente tocadas pela esfera, poderão ser classificadas como falhas de blindagem, e serão pontos sujeitos a serem atingidos por uma descarga atmosférica. Na Figura 14 observa-se o projeto do subsistema de captação, conforme o método da esfera rolante.

Figura 14 – Projeto do subsistema de captação conforme o método da esfera rolante.



Fonte: ABNT NBR 5419-3:2015.

O raio da esfera rolante r deve seguir o valor especificado dependendo da classe do SPDA. Conforme Quadro 3, já mencionado neste capítulo.

2.4.1.2.3 Método das malhas

Segundo Mamede Filho (2017), também conhecido como Método de Faraday, consiste em envolver a parte superior da construção com uma malha captora de condutores elétricos nus. A malha de captação tem as dimensões definidas em função da classe de proteção.

Na Tabela 2, os valores apresentados referem-se aos valores máximos permitidos, podendo ser reduzidos em função das dimensões ou características da edificação.

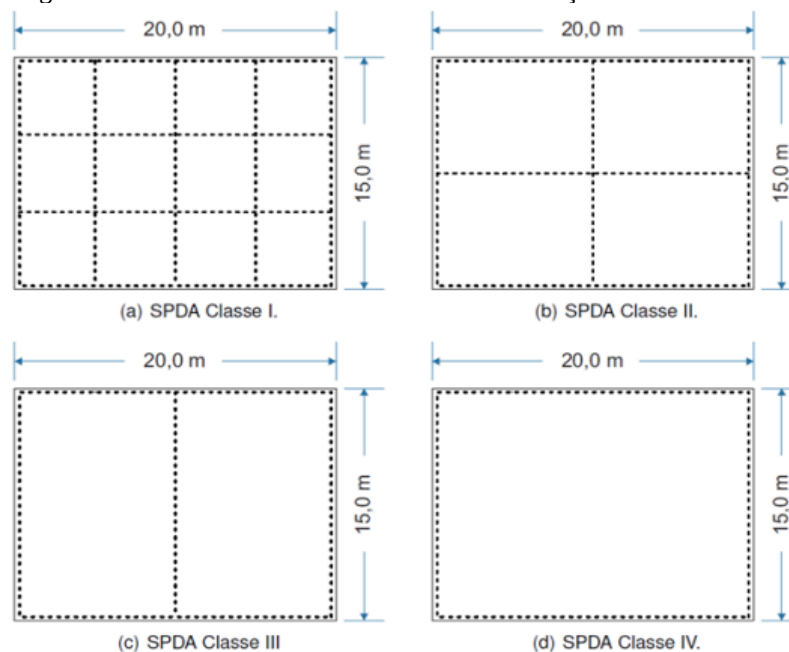
Tabela 2 – Máximas dimensões da malha em relação a classe de proteção.

Classe de Proteção	Máximas dimensões da malha (m)
I	5x5
II	10x10
III	15x15
IV	20x20

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 5419-3:2015.

Método das malhas para diferentes classes de SPDA, para uma edificação cuja cobertura apresenta dimensões de 20 x 15m, é ilustrado na figura 15.

Figura 15 – Posicionamento dos condutores em função da Classe do SPDA.



Fonte: NTU 014.

2.4.2 Subsistemas de descida e anéis de equipotencialização

Segundo a ABNT NBR 5419-3:2015, os condutores de descidas são elementos expostos ou não, que permitem a continuidade elétrica entre os captadores e o sistema de aterramento. Onde deve passar por toda edificação de um modo seguro para que não acarrete efeitos secundários perigosos como centelhamento lateral e indução de corrente em condutores próximos. Desta forma, eles devem estar dispostos de modo que a corrente percorra diversos condutores em paralelos e seu comprimento deve ser o menor possível.

Mamede Filho (2017), afirma, que os subsistemas de descidas podem ser classificados segundo sua natureza construtiva, onde existem subsistemas de descida naturais e subsistemas de descida não naturais.

Subsistemas de descida naturais são elementos condutores, geralmente partes integrantes da edificação, que por sua natureza condutiva, permitem que as correntes elétricas resultantes das descargas atmosféricas, escoam para o subsistema de aterramento (MAMEDE FILHO, 2017).

Já os subsistemas de descida não naturais, são constituídos de elementos condutores expostos ou não, dedicados unicamente à condução ao subsistema de aterramento da edificação das correntes elétricas dos raios que atingem os captosres (MAMEDE FILHO, 2017).

A ABNT NBR 5419-3:2015, prevê a necessidade de serem instalados anéis de equipotencialização ao redor de uma edificação, dependendo de sua altura. Para que sejam divididas as correntes de descargas atmosféricas entre as diversas descidas.

Para SPDA isolado, o posicionamento de descidas deve obedecer ao seguinte:

- a) Se os captosres consistiam em hastes em mastros separados (ou um mastro) não metálicos nem interconectados as armaduras, é necessário para cada mastro pelo menos um condutor de descida. Para mastros metálicos ou interconectados as armaduras, não há necessidade de condutor de descida;
- b) Se os captosres consistem em condutores suspensos em centenária (ou um fio), é necessário pelo menos um condutor de descida em cada suporte da estrutura;
- c) Se os captosres formam uma rede de condutores, é necessário pelo menos um condutor de descida em cada suporte de terminação dos condutores.

Para cada SPDA não isolado, não poderá ser inferior a dois, o número de condutores de descida, mesmo se o cálculo deste resultar em valor inferior. No posicionamento, deve-se utilizar o espaçamento mais uniforme possível entre os condutores de descida ao redor do perímetro. (NTU 014). São dados na Tabela 3, os valores das distâncias entre os condutores de descida.

Tabela 3 – Valores típicos de distância dos condutores de descida, de acordo com a classe de SPDA.

Classe do SPDA	Distância (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

Fonte: Adaptado ABNT NBR 5419-3:2015.

É aceitável que o espaçamento dos condutores de descidas tenha no máximo 20% no caso de haver janelas, esse anel pode ser embutido ou externo a edificação, e devem-se evitar curvas bruscas ao longo das curvas e conexões (ABNT NBR 5419-3:2015).

O número de condutores de descida de um SPDA externo é dado pela Equação (6):

$$N_{CD} = \frac{P_{ED}}{D_{CD}} \quad (6)$$

Onde:

N_{CD} – Número de condutores de descida;

P_{ED} – Perímetro da edificação em metros;

D_{CD} – Distância entre os condutores de descida, que depende da classe do SPDA.

Os condutores devem ser fixados a cada 1,5m, ao longo das descidas. O modo de fixação vai variar de acordo com o tipo de estrutura a qual o cabo de descida vai ser fixado.

2.4.3 Subsistemas de aterramento

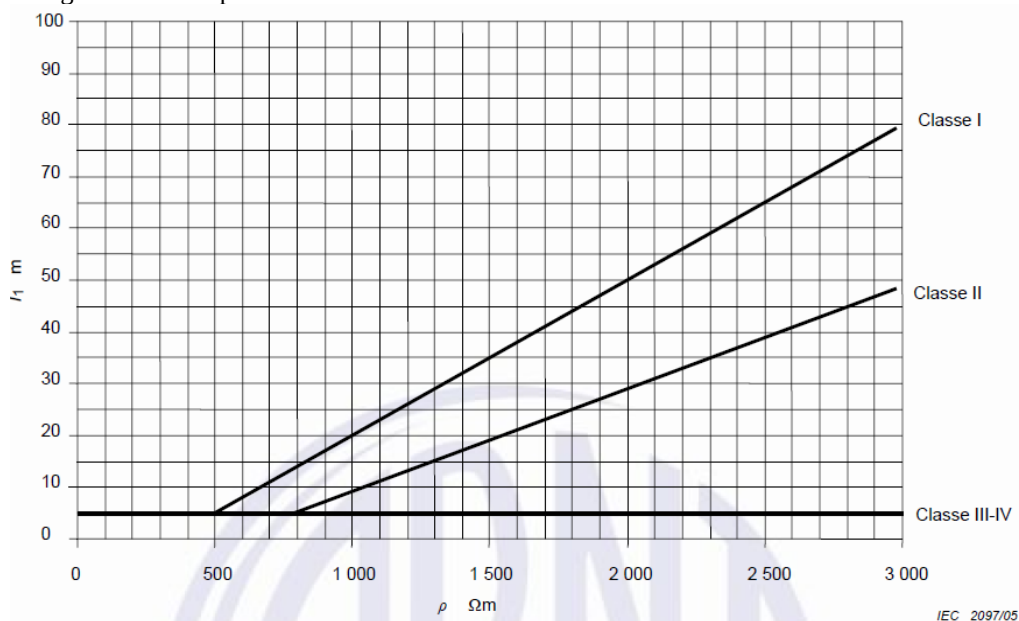
São constituídos de elementos condutores enterrados ou embutidos nas fundações das edificações e responsáveis por dissipar as correntes elétricas da descarga atmosférica no solo. (MAMEDE FILHO, 2017.)

Segundo ABNT NBR 5419-3:2015, para promover uma melhor dispersão da corrente da descarga atmosférica (comportamento em alta frequência) para a terra, deve-se obter a menor resistência de aterramento possível, compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo no local.

Para o subsistema de aterramento, o arranjo a ser utilizado consiste em condutor em anel, externo a estrutura a ser protegida. O comprimento mínimo do eletrodo de aterramento deve estar de acordo com a classe do SPDA, conforme apresentado na Figura 16 (NTU 014).

Vale ressaltar que para o SPDA classes I e II se faz necessária uma medição da resistividade do solo para definição do comprimento mínimo do eletrodo do aterramento.

Figura 16 – Comprimento mínimo do eletrodo de aterramento.



Fonte: ABNT NBR 5419-3:2015.

2.5 Medidas de Proteção Contra Surtos

Devido aos sistemas elétricos e eletrônicos estarem sujeitos a danos devido a impulsos eletromagnéticos causados pelas descargas atmosféricas (LEMP), é necessária a utilização de uma série de medidas chamadas Medidas de Proteção Contra Surtos (MPS), para evitar danos nos sistemas internos (ABNT NBR 5419-4:2015).

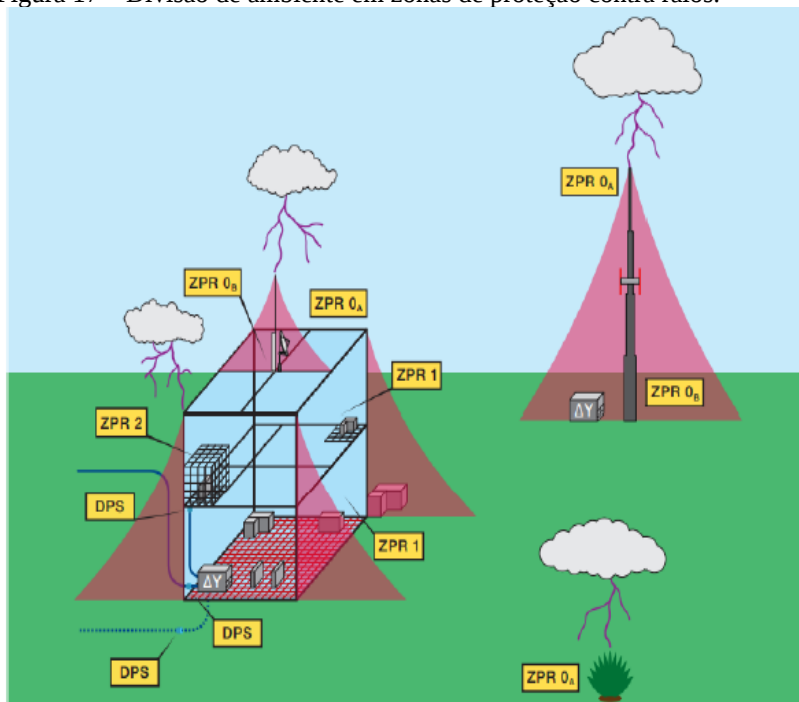
Segundo ABNT NBR 5419-4:2015, a proteção contra LEMP baseia-se no conceito de zonas de proteção contra raios (ZPR). Os volumes contendo cada sistema devem ser divididos em ZPR para que sejam definidos os tipos de proteção mais adequados para cada zona. São definidas as seguintes ZPR.

- a) ZPR 0A: zona onde a ameaça é devido à queda direta e ao campo eletromagnético total da descarga atmosférica. Os sistemas internos podem estar sujeitos à corrente total ou parcial da descarga atmosférica;
- b) ZPR 0B: zona protegida contra queda direta, porém ainda sofre ameaça do campo eletromagnético total da descarga atmosférica. Os sistemas internos podem estar sujeitos à corrente total ou parcial da descarga atmosférica;
- c) ZPR 1: zona onde a corrente de surto é limitada por uma divisão de corrente da descarga atmosférica, e pela aplicação de interfaces isolantes e/ou DPS na fronteira. Blindagens magnéticas podem atenuar o campo eletromagnético gerado pelas descargas atmosféricas;

- d) ZPR 2, ..., n: zona onde a corrente de surto é ainda mais limitada por aplicação de MPS.

Quanto maior for a ZPR, a tensão e correntes de surtos induzidas, assim como campos eletromagnéticos irradiados, tornam-se cada vez menores. A Figura 17 ilustra a divisão de ambiente em zonas de proteção contra raios.

Figura 17 – Divisão de ambiente em zonas de proteção contra raios.



Fonte: Clamper (2016).

Podem ser utilizadas medidas de proteção dos sistemas elétricos e eletrônicos como SPDA, blindagens eletromagnéticas e a coordenação de DPS. Nas subestações devem ser projetadas MPS para a proteção de equipamentos contra surtos e campos eletromagnéticos. Na proteção contra surtos devem ser adotados DPS coordenados. Para redução dos campos eletromagnéticos devem ser adotadas redes de equipotencialização de modo a reduzir o campo magnético e minimizar as diferenças de potencial entre os diversos pontos de aterramento da instalação. (NTU 014).

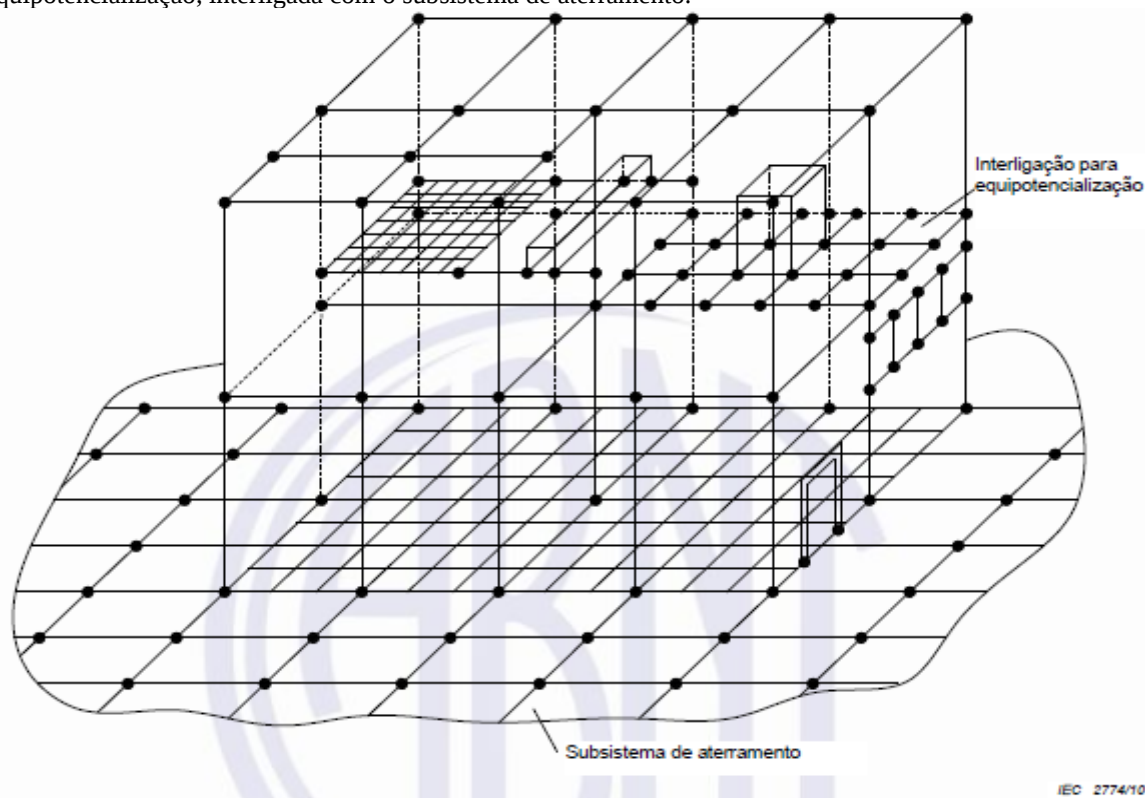
Conforme ABNT NBR 5419-4:2015, é possível ressaltar algumas medidas básicas de proteção contra surtos, sendo:

- aterramento e equipotencialização;
- blindagem magnética e roteamento de linhas;
- coordenação de DPS.

2.5.1 Aterramento e equipotencialização

Segundo ABNT NBR 5419-4:2015, o sistema de aterramento conduz e dispersa as correntes da descarga atmosférica para o solo, e a rede de equipotencialização minimiza as diferenças de potencial e pode reduzir o campo magnético. Na figura 18, é possível observar exemplo de um sistema de aterramento tridimensional consistindo em uma rede de equipotencialização, interligada com o subsistema de aterramento.

Figura 18 – Exemplo de um sistema de aterramento tridimensional consistindo em uma rede de equipotencialização, interligada com o subsistema de aterramento.



Fonte: ABNT NBR 5419:4-2015.

Os Condutores desenhados na Figura 18 são elementos metálicos estruturais equipotencializados ou condutores de equipotencialização. Alguns podem servir para interceptar, conduzir e dispersar a corrente da descarga atmosférica para a terra.

2.5.2 Blindagem magnética e roteamento de linhas

Conforme ABNT NBR 5419-4:2015, às blindagens espaciais diminuem os campos magnéticos dentro da ZPR, resultantes de descargas atmosféricas diretas ou próximas à estrutura, e reduzem internamente os surtos.

As blindagens de linhas internas, utilizando cabos ou dutos blindados minimiza surtos induzidos internamente, e o roteamento de linhas internas pode minimizar laços de indução e reduzir surtos.

A ABNT NBR 5419-4:2015 ainda afirma que a blindagem espacial, blindagem e roteamento de linhas internas podem ser usadas combinadas ou separadamente.

2.5.3 Coordenação de DPS

Um sistema coordenado de DPS minimiza os efeitos de surtos originados interna ou externamente. O DPS tem a função de escoar a sobretensão causada pela descarga atmosférica e limitar a sobretensão.

Conforme a ABNT NBR 5410:2004 o DPS pode ser caracterizado nas classes I, II e III de acordo com sua suportabilidade a variação de corrente.

- a) DPS classe I: normalmente utilizado na entrada das edificações expostas as descargas atmosféricas diretas. Deve suportar uma corrente de impulso (I_{imp}) com forma de onda 10/350 μ s
- b) DPS classe II: normalmente utilizado na entrada de edificações que não estão expostas as descargas atmosféricas diretas ou em quadros internos das edificações em geral. Composto apenas pela corrente nominal (I_n) com forma de onda 8/20 μ s, e não precisa suportar uma corrente de impulso.
- c) DPS classe III: normalmente utilizado no interior da edificação, imediatamente a montante do equipamento a ser protegido.
- d) DPS classe I/II: Existem DPS que podem ser classificados tanto como classe I quanto como classe II, com seus respectivos valores de corrente de impulso e corrente nominal. Eles protegem a edificação tanto de parcelas de correntes provenientes de uma descarga atmosférica direta na estrutura, quanto de correntes de surto proveniente de uma descarga atmosférica na linha que alimenta a estrutura. A figura 19 mostra DPS classe I/II para instalação em quadros de entrada.

Figura 19 – DPS classe I/II para instalação em quadros de entrada.



Fonte: Clamper (2016).

3 METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizado um estudo detalhado acerca das normas referentes ao PDA, destacando os principais critérios e métodos para a concepção de um sistema seguro e eficaz. Junto ao estudo das normas, foi realizada a fundamentação teórica, um estudo sobre a origem dos raios, formação, danos, e sobre componentes e métodos de um projeto PDA, abordando também o processo do gerenciamento de risco.

Foram apresentadas as características da empresa, e verificadas as características referentes a localização geográfica, as condições climáticas e densidades de descargas atmosféricas.

Após a conclusão da etapa de estudo e pesquisas, foi elaborado um roteiro de vistoria da edificação, onde este será utilizado no levantamento que será realizado em campo.

Foi realizado levantamento em campo, a coleta de dados relevantes e definição de parâmetros, e avaliada a edificação para se realizar o gerenciamento de risco, onde foi identificado que a empresa não possui nenhum PDA instalado, foram avaliadas as zonas, identificado que para um preciso gerenciamento de risco a edificação deve ser estudada dividindo-se em 3 zonas: zona 1, zona 2 e zona 3.

Após identificado os dados relevantes ao gerenciamento de riscos, e definição das zonas, foram definidos os tipos de perdas de cada uma, onde cada tipo de perda implica a determinação de certos riscos. Em seguida, foi analisada a área de exposição equivalente, que corresponde a área do plano da estrutura prolongada em todas as direções, onde foi calculada a área da estrutura, e determinada que a mesma possui forma complexa, e logo após foram apresentados os parâmetros da edificação.

Com os parâmetros definidos, foram realizados os cálculos referentes ao número esperado anual de eventos perigosos na edificação, aos valores de probabilidades de danos considerando sem proteção de SPDA, após calculadas as probabilidades de perdas de cada zona, e diante dos resultados encontrados foram calculados os riscos, por fim encontrado o valor de risco total da edificação. Após encontrado o valor de risco total da edificação, foi comparado com o valor de risco tolerável para verificar se atende ou há necessidade de proteção.

Realizada a análise, foi observado que necessita de proteção contra perdas de vida humana, e atende a perdas de valor econômico.

Posteriormente foram refeitos os cálculos referentes a probabilidade de danos, considerando proteção, também refeitos os cálculos dos riscos, e encontrado o valor de risco total da edificação, apontada a solução para atender as necessidades de proteção.

Dessa forma, após averiguado a solução que atenda às necessidades de proteção, foi elaborado um projeto que trata-se de um PDA completo, inicialmente definido o método a ser utilizado no projeto.

Em seguida, com o método do projeto definido, foi projetado o subsistema de captação, seguindo as orientações de norma e as limitações da estrutura, respeitando as distâncias máximas das malhas diante da necessidade de proteção, e adotando boas práticas de projeto, foram projetadas as malhas com barra chata de alumínio e inserção de minicaptadores para otimização.

Posterior ao subsistema de captação, foi projetado o subsistema de descida, onde foi seguida orientação de norma, e as limitações da estrutura, também verificando se existisse alguma possível interferência, foram calculadas as quantidades de descidas necessárias e distribuídas no projeto, visando a otimização e funcionalidade, onde foram adotadas barras chatas de alumínio.

Após foi projetado o sistema de aterramento, onde inicialmente foi realizado em campo o procedimento de sondagem geolétrica do solo, que permitiu serem coletadas as informações relevantes do solo para inicialmente a realização de cálculos, após a geração do gráfico de resistividade, em seguida a utilização do software para a inversão da curva, e assim permitindo e verificação do comportamento geolétrico do solo, e após encontrado o valor da resistividade.

Logo depois, a fim de evitar danos nos sistemas internos, como Medida de Proteção contra Surtos foi adotada utilização de DPS, onde foi realizado seu dimensionamento de acordo com os parâmetros e necessidades encontradas no gerenciamento de risco da edificação. Por fim, foram dimensionados os componentes para a realização do projeto, feita a lista de material necessário e gerada a análise de custos.

3.1 Estudo de Caso

Este trabalho baseia-se no estudo das instalações de uma empresa prestadora de serviços de manutenção elétrica no sistema público, localizada no município de Erechim – RS, onde foi avaliado que não possui PDA.

3.2 Características da empresa

A empresa foco deste trabalho, realiza serviços essenciais voltados a energia elétrica, como foco principal atua na construção e manutenção das redes elétricas de distribuição, desde 1983, onde é composta por cerca de 500 colaboradores, tendo sua matriz em Passo Fundo, e filiais em: Arvorezinha, Erechim, Guaporé, Lagoa Vermelha e Nova Prata, todas no Rio Grande do Sul.

A base operacional onde será realizada o estudo, localizada em Erechim, possui cerca de 130 colaboradores, onde 21 pessoas realizam serviços voltados ao setor administrativo e os demais realizam serviços voltados à operação. Na Figura 20, é possível observar a vista aérea do local da empresa.

Figura 20 – Localização da empresa.

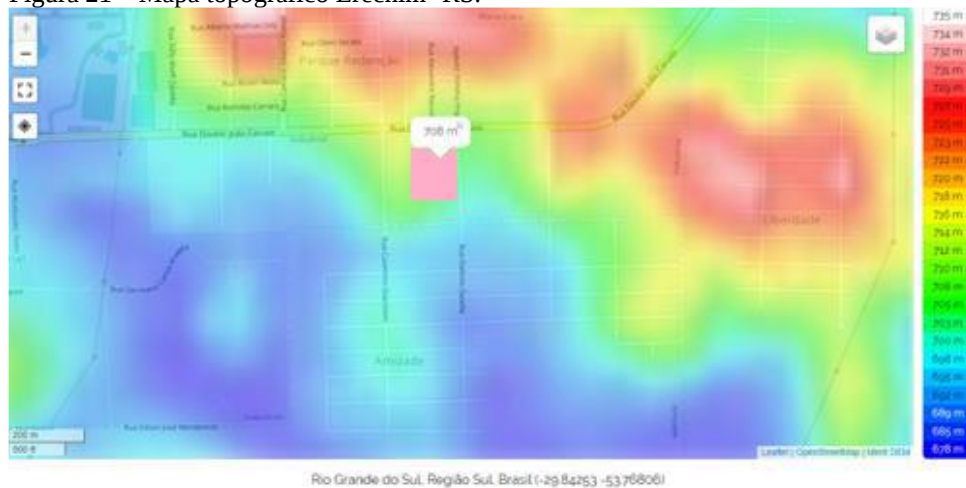


Fonte: Google Maps.

3.2.1 Localização geográfica

A edificação situa-se no distrito Industrial do município de Erechim-RS, onde a altitude média chega a variar 177 metros nas proximidades. O terreno específico da empresa fica no mesmo nível da rua. No centro do mapa topográfico da Figura 21 está localizada a empresa e representada sua altitude.

Figura 21 – Mapa topográfico Erechim- RS.

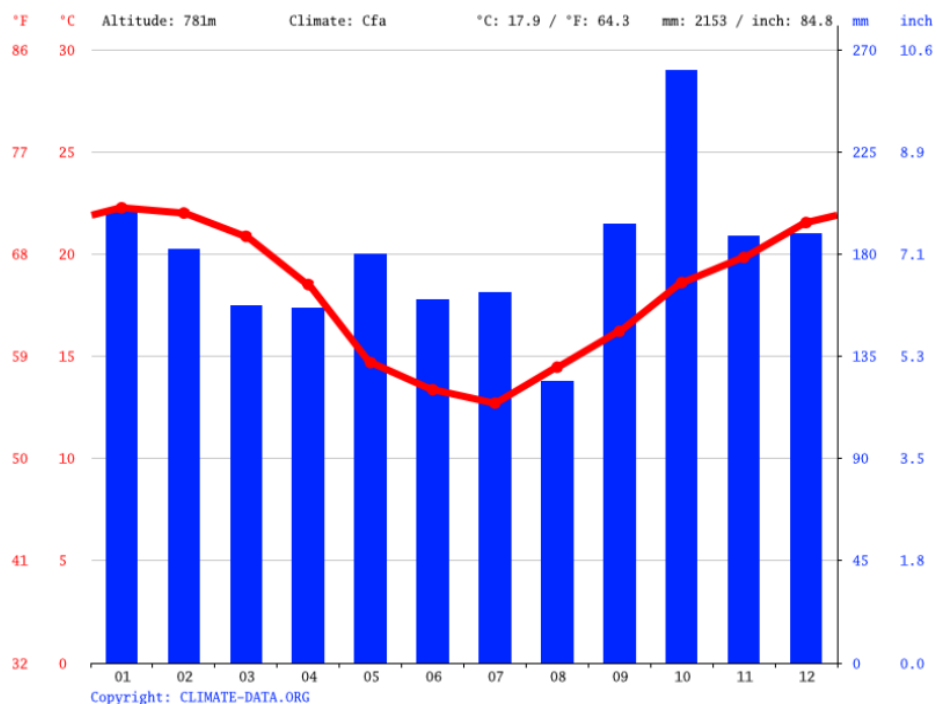


Fonte: Mapas Topográficos, (2022).

3.2.2 Condições climáticas e densidade de descargas atmosféricas

A região de Erechim-RS, possui um clima quente e temperado. Existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano. Mesmo o mês mais seco, ainda assim tem excessiva pluviosidade. Clima classificado como Clima subtropical úmido (Cfa), segundo a Köppen e Geiger (sistema de classificação global dos tipos climáticos) 17,9°C é a temperatura média, e 2.153mm é o valor da pluviosidade média anual. É possível observar temperaturas e precipitações médias do clima em Erechim, na Figura 22.

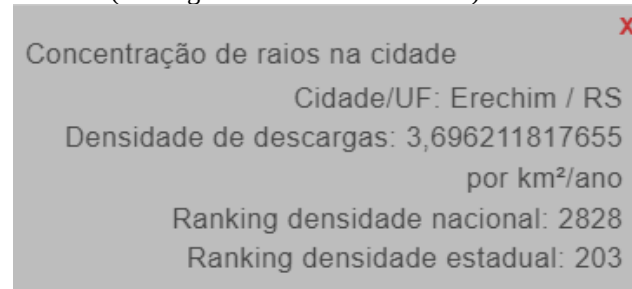
Figura 22 – Temperaturas e precipitações médias do clima em Erechim.



Fonte: Clima Erechim (2022).

A densidade de descargas atmosféricas, conhecido também como índice ceráunico, é o parâmetro que indica a quantidade de descargas atmosféricas registradas por quilômetro quadrado ao longo de um ano. Conforme ELAT, Erechim apresenta, uma densidade de 3,6962 descargas/km²/ ano, pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 – Densidade de descargas atmosféricas NG – Erechim (descargas atmosféricas/km²/ ano).



Fonte: ELAT (2022).

3.3 Análise e gerenciamento de risco

O primeiro passo da análise de risco consiste em identificar os tipos de perdas associadas às zonas da edificação em questão. Para o caso desta edificação foi avaliada como sendo três zonas, sendo: zona 1, zona 2 e zona 3. Podendo ser observado na figura 24.

Figura 24 – Separação das zonas da edificação.



Fonte: Adaptado Google Maps.

De acordo com as zonas, as perdas consideráveis são:

Zona 1: Foram consideradas que somente as Perdas de vida humana(L1), e Perdas de valor econômico(L4) são relevantes, sendo que somente a Perda(L1) é requisito para avaliação da necessidade de proteção, a perda (L4) conforme a norma é facultativa;

Zona 2: Foi considerada que somente a Perda de vida humana(L1), é relevante, e requisito para avaliação da necessidade de proteção;

Zona 3: Foi considerado que somente a Perda de vida humana(L1), é relevante, e requisito para avaliação da necessidade de proteção.

Em função dos tipos de perdas considerados, implica a determinação de somente os riscos R1 e R4, risco R1 para perda de vida humana (L1) com os componentes de risco

$R_A, R_B, R_U, e R_V$, e risco R4 para perda de valor econômico (L4) com os componentes de risco $R_B, R_C, R_M, R_V, R_W, e R_Z$.

De acordo com a ABNT NBR 5419-2:2015, os riscos a serem observados para verificação da necessidade de proteção de uma estrutura são os riscos R1, R2 e R3. Dessa forma para avaliar a necessidade de proteção, risco R1 e seus componentes, para compará-los com o risco tolerável $R_T = 10^{-5}$, de acordo com a Tabela 4. Caso os valores calculados superem os valores toleráveis, medidas de proteção devem ser adotadas a fim de reduzir as componentes de risco de maior impacto.

Tabela 4 –Valores típicos de risco tolerável R_T .

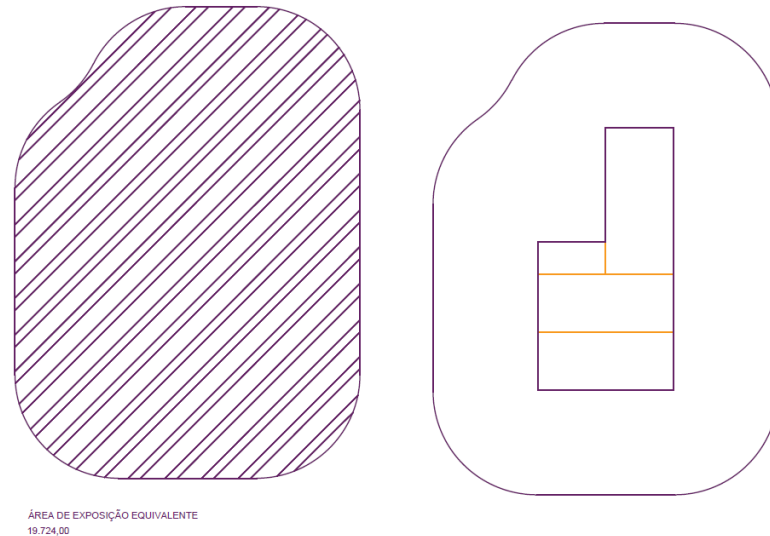
Tipo de perda		$R_T (y^{-1})$
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L2	Perda de serviço ao público	10^{-3}
L3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Conforme ABNT NBR 5419-2:2015 a área de exposição equivalente (AD) corresponde a área do plano da estrutura prolongada em todas as direções, de modo a levar em conta a sua altura. Os limites da área de exposição equivalente estão afastados do perímetro da estrutura por uma distância correspondente à altura da estrutura no ponto considerado.

A área da estrutura (AD), que se trata de estrutura com formas complexas, foi obtida através do software de desenho 2D Autodesk AUTOCAD®, versão 2021, obedecida a metodologia de cálculo apresentada no item A.2.1.2 da ABNT NBR 5419-2: 2015. A Figura 25 ilustra o processo de estimação da área.

Figura 25 – Área de exposição equivalente da estrutura.



Fonte: Autocad.

A área de exposição equivalente é dada pela equação 7:

$$AD = \pi \times (3 \times H_p)^2 \quad (7)$$

$$AD = 19.724,00m^2$$

Foi considerado o valor de $C_D = 0,5$, dado que o mesmo se encontra cercado por prédios da mesma altura ou mais baixos. A Figura 26 mostra os parâmetros característicos da edificação.

Figura 26 – Parâmetros característicos da edificação.

Parâmetros de entrada	Comentários e informações	Símbolo	Valor	Ref. Da tabela
Densidade e descargas atmosféricas para a terra (Ng) (1/km ² /ano)		NG	3,6962	
Dimensões da estrutura(m)	Estudo com formas complexas		19.724,00	A.2.1
Fator de localização da estrutura	Cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	CD	0,5	Tab. A.1
SPDA Instalado	Não protegida por SPDA	PB	1	Tab. B.2
Número total de pessoas na estrutura inteira		nt	175	

Fonte: Próprio autor (2022).

Na Figura 27, é visto os parâmetros da linha de energia da edificação, que são indispensáveis para a realização do gerenciamento de risco. E na Figura 28, é visto os parâmetros de entrada referentes a linha de sinal da edificação.

Figura 27 – Parâmetros da linha de energia.

Parâmetros de entrada	Comentários e informações	Símbolo	Valor	Ref. Da tabela
Possui esta linha?	Sim - Tem esta linha de Potência conectada a estrutura			
Comprimento (m)	Comprimento em (m) - quando não souber = 1.000)	L L/p	333	
Fator de instalação	Enterrado	C I/p	0,5	Tab. A.2
Fator tipo da linha	Linha de energia BT ou sinal	C T/p	0,1	Tab. A.3
Fator ambiental	Suburbano	C E	0,5	Tab. A.4
Blindagem da linha	Não blindada	R S/p	.	Tab. B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Não blindada	C LD/p	1	Tab. B.4
		C LI/p	1	
Estrutura adjacente	Contém	L J/p	41	Tamanho da estrutura
		W J/p	30	
		H J/p	20	
Fator de localização da estrutura	Cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C DJ/p	0,5	Tab. A.1
Tensão suportável do sist. Interno (kV)	Tensão suportável UW - 2,5 Kv	U W/p	2,5	Tab. B.8
Tipo da linha	Parâmetros resultantes	K S4/p	0,4	Eq. (B.7)
	Valor muda em função da Blindagem da Linha e Tensão	P LD/p	1	Tab. B.8
	Linhas de energia	P LI/p	0,3	Tab. B.9

Fonte: Próprio autor (2022).

Figura 28 – Parâmetros de entrada referentes a linha de sinal.

Parâmetros de entrada	Comentários e informações	Símbolo	Valor	Ref. Da tabela
Possui esta linha?	Sim - Tem esta linha de sinal conectada a estrutura			
Comprimento (m)	Comprimento em (m) - quando não souber = 1.000)	L L/t	1.000,00	
Fator de instalação	Enterrado	C I/t	0,5	Tab. A.2
Fator tipo da linha	Linha de energia BT ou sinal	C T/t	0,1	Tab. A.3
Fator ambiental	Suburbano	C E	0,5	Tab. A.4
Blindagem da linha	Não blindada	R S/t	.	Tab. B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Não blindada	C LD/t	1	Tab. B.4
		C LI/t	0,3	
Estrutura adjacente	Contém	L J/t	41	Tamanho da estrutura
		W J/t	30	
		H J/t	20	
Fator de localização da estrutura	Cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C DJ/t	0,5	Tab. A.1
Tensão suportável do sist. Interno (kV)	Tensão suportável UW - 2,5 Kv	U W/t	2,5	Tab. B.8
Tipo da linha	Parâmetros resultantes	K S4/t	0,4	Eq. (B.7)
	Valor muda em função da Blindagem da Linha e Tensão suportável	P LD/t	1	Tab. B.8
	Linhas de sinais	P LI/t	0,2	Tab. B.9

Fonte: Próprio autor (2022).

Com base nos parâmetros já encontrados, outros parâmetros necessários para cálculo do risco associado a edificação é o número de eventos perigosos (ND), número de eventos perigosos (ND_J) para estruturas adjacente, ou seja, que esteja próximo, onde para linha de sinal considera-se $N_{DJ/T}$, e para linha de energia $N_{DJ/P}$, valores que foram calculados e podem ser encontrados na Figura 28. Outro fator a ser determinado para o cálculo das componentes de riscos, são as probabilidades de danos (P_x) fornecidas pelo anexo B da ABNT NBR 5419-2: 2015, remetem a estimativas estatísticas influenciadas, principalmente, pela presença de sistemas de proteção na edificação. Os valores das probabilidades são encontrados na Tabela 5, que para realização dos cálculos foi considerada a estrutura sem proteção de PDA.

Tabela 5 – Valores das probabilidades da edificação sem proteção.

Equação	Total
PA = PTA X PB	1
PB = (Tab. B.2)	1
PC = PSPD X CLD	1
PU = PTU X PEB X PLD X CLD	1
PV = PEB X PLD X CLD	1
PW = PSPD X PLD X CLD	1
PZ = PSPD X PLI X CLI	1

Fonte: Próprio autor (2022).

3.3.1 Zona 1

Na Figura 29, encontram-se as características de exposição da zona 1.

Figura 29 – Características da Zona de Exposição – Zona 1.

Parâmetros de entrada	Comentários e informações	Símbolo	Valor	Ref. Da tabela
Tipo de piso	Mármore, cerâmica	rt	0,001	Tab. C.3
Proteção contra choque (desc. Na estrutura)	Nenhuma medida de proteção	PTA	1	Tab. B.1
Proteção contra choque (desc. Na linha)	Nenhuma medida de proteção	PTU	1	Tab. B.6
Risco de incêndio ou explosão	Normal	rf	0,01	Tab. C.5
Proteção contra incêndio	Extintores, instalações fixas operadas manualmente, rotas de escape	rp	0,5	Tab. C.4
Blindagem espacial interna	Sem blindagem espacial			Ver item "B.5" pag 43 e 44 NBR 5419 -2
		Wm1	0	
		Wm2	0	
		K S1	1	
		K S2	1	Eq. (B.6)
Fiação interna- Energia (Linha 01)	Cabo não blindado- sem preocupação no roteamento	KS3/p	1	Tab. B.5
Fiação interna- Sinal (Linha 02)	Cabo não blindado- sem preocupação no roteamento	KS3/t	1	Tab. B.5
Sistema de DPS- DPS	Sem DPS	PEB	1	Tab. B.7
Sistema de DPS- DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	PSPD	1	Tab. B.3

Fonte: Próprio autor (2022).

Nessa zona foi analisada primeiramente a perda de vida humana, perdas de vida humana são designadas pela letra L, onde para cada tipo de perda, há um tipo de dano associado, e é determinado pela Tabela 6.

Tabela 6 - Tipo de perda L1: Valores da perda para cada zona.

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_t \times L_T \times n_z/n_t \times t_z/8760$	(C. 1)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times n_z/n_t \times t_z/8760$	(C. 2)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z/n_t \times t_z/8760$	(C. 3)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_t \times t_z/8760$	(C. 4)

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Para análise e realização dos cálculos, é necessário a identificação das informações vistas da Figura 30.

Figura 30 – Entrada de dados para análise L1: perda de vida humana zona 1.

L1: perda de vida humana (C.3) - Entrada de Dados	Tipo de perigo especial	Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1.000 pessoas)	h_z	5,00	Tab. C.6
		D1 ferimentos # Todos os tipos	L_T	1,00E-02	Tab. C.2
	Danos Físicos	Industrial, comercial	L_{F1}	2,00E-02	
	Falhas de sistemas internos	Não Aplicavel	L_{O1}	0,00E+00	
	Fator para pessoas na Zona	Número de pessoas na zona de perigo	n_z	130	valores informados
		Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)	n_t	175	
		Horas por dia em que a edificação se mantém ocupada	$Thor$	8	
		Total em dias por ano que a edificação se mantém ocupada	$Tdia$	365	
		Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso	t_z	2920	

Fonte: Próprio autor (2022).

Os memoriais de cálculos referentes a essa etapa do gerenciamento de risco, encontram-se no apêndice A desse documento. O Equacionamento proposto pela ABNT NBR 5419-2:2015 foi utilizado para o cálculo de probabilidades de perdas L_X na Tabela 7.

Tabela 7 – Probabilidades de perda vida humana zona 1.

$$L_A = L_U \quad 2,47619E-06$$

$$L_B = L_V \quad 1,24E-04$$

Fonte: Próprio autor (2022).

Diante dos resultados encontrados, calcula-se os riscos R_X , apresentados na Tabela 8

Tabela 8 – Valores de riscos
perda vida humana zona 1.

RA =	9,03E-08
RB =	4,52E-06
RUP =	3,42E-07
RUT =	5,08E-07
RU =	8,50E-07
RVP =	1,71E-05
RVZ =	2,54E-05
RV =	4,25E-05

Fonte: Próprio autor (2022).

Com os valores dos riscos R_X encontrados, é possível calcular o risco de vida humana da zona.

$$R1 = R_A + R_B + R_U + R_V \quad (8)$$

$$R1 = 4,80 \times 10^{-5}$$

Após analisada a perda de vida humana nesta zona, foi analisada perdas de valor econômico, perdas de valor econômico são designadas pela letra L, onde para cada tipo de perda, há um tipo de dano associado, e é determinado pela Tabela 9.

Tabela 9 – Tipo de perda L4: Valores da perda para cada zona.

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_t \times L_T \times C_a / C_{t^a}$	(C. 10)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times C_a / C_{t^a}$	(C. 11)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times (C_a + C_b + C_c + C_s / C_{t^a})$	(C. 12)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times c_s / C_{t^a}$	(C. 13)

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Para análise e realização dos cálculos, é necessário a identificação das informações vistas da Figura 31.

Figura 31 – Entrada de dados para análise L4: perda de valor econômico zona 1.

Perdas Valor Econômico	COM avaliação econômica	rt	1,00E-03	
Danos Físicos	Outros	L F4	1,00E-01	Tab. C.12
Esta zona contém Animais?	NÃO CONTÉM Animais nesta estrutura			
Valores	ca- Valor dos animais em uma zona, (em milhões)	ca	0,00000	valores informados
	ct - valor total da edificação e conteúdo da estrutura (soma de todas as zonas) (em milhões)	ct	4,10008	
	LT - valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso	LT	1,00E-02	Tab. C.12
	Lo - valor relativo médio típico de todos os valores danificados pela falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso	Lo	1,00E-04	Tab. C.12
	cb - valor da edificação relevante à zona (em milhões)	cb	2,50000	valores informados
	cc - valor do conteúdo da zona (em milhões)	cc	1,60000	
	cs - valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona (em milhões)	cs	0,00008	

Fonte: Próprio autor (2022).

O Equacionamento proposto pela ABNT NBR 5419-2:2015 foi utilizado para o cálculo de probabilidades de perdas L_X , (Tabela 10).

Tabela 10 – Probabilidades de perda valor econômico zona 1.

LA = LU =	0
LB = LV =	5,00E-04
LC = LM = LW = LZ	1,91388E-06

Fonte: Próprio autor (2022).

Diante dos resultados encontrados, calcula-se os riscos R_X (Tabela 11).

Tabela 11 – Valores de risco perda valor econômico zona 1

RB =	1,83E-05
RC =	7,08E-08
RM =	7,08E-08
RVP =	6,92E-05
RVT =	1,03E-04
RV =	1,72E-04
RWP =	2,66E-07
RWT =	3,94E-07
RT =	6,59E-07
RZP =	2,36E-06
RZT =	7,1E-07
RZ =	3,06E-06

Fonte: Próprio autor (2022).

Com os valores dos riscos R_X encontrados, é possível calcular o risco de valor econômico da zona.

$$R4 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \quad (9)$$

$$R4 = 1,93 \times 10^{-4}$$

3.3.2 Zona 2

Na Figura 32, encontram-se as características de exposição da zona 2.

Figura 32 – Características da Zona de Exposição – Zona 2.

Parâmetros de entrada	Comentários e informações	Símbolo	Valor	Ref. Da tabela
Tipo de piso	Mármore, cerâmica	rt	0,001	Tab. C.3
Proteção contra choque (desc. Na estrutura)	Nenhuma medida de proteção	PTA	1	Tab. B.1
Proteção contra choque (desc. Na linha)	Nenhuma medida de proteção	PTU	1	Tab. B.6
Risco de incêndio ou explosão	Normal	rf	0,01	Tab. C.5
Proteção contra incêndio	Extintores, instalações fixas operadas manualmente, rotas de escape	rp	0,5	Tab. C.4
Blindagem espacial interna	Sem blindagem espacial			Ver item "B.5" pag 43 e 44 NBR 5419 -2
		Wm1	0	
		Wm2	0	
		K S1	1	
		K S2	1	Eq. (B.6)
Fiação interna- Energia (Linha 01)	Cabo não blindado- sem preocupação no roteamento	KS3/p	1	Tab. B.5
Fiação interna- Sinal (Linha 02)	Cabo não blindado- sem preocupação no roteamento	KS3/t	1	Tab. B.5
Sistema de DPS- DPS	Sem DPS	PEB	1	Tab. B.7
Sistema de DPS- DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	PSPD	1	Tab. B.3

Fonte: Próprio autor (2022).

Nessa zona foi analisada a perda de vida humana, perdas de vida humana são designadas pela letra L, onde para cada tipo de perda, há um tipo de dano associado, e é determinado pela Tabela 6 já mencionada.

Para análise e realização dos cálculos, é necessário a identificação das informações vistas da Figura 33.

Figura 33 – Entrada de dados para análise L1: perda de vida humana zona 2.

L1: perda de vida humana (C.3) - Entrada de Dados	Tipo de perigo especial	Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)	h_z	2,00	Tab. C.6
		D1 ferimentos # Todos os tipos	L_T	1,00E-02	Tab. C.2
	Danos Físicos	Industrial, comercial	L_{F1}	2,00E-02	
	Falhas de sistemas internos	Não Aplicavel	L_{O1}	0,00E+00	
	Fator para pessoas na Zona	Número de pessoas na zona de perigo	n_z	20	valores informados
		Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)	n_t	175	
		Horas por dia em que a edificação se mantém ocupada	$Thor$	8	
		Total em dias por ano que a edificação se mantém ocupada	$Tdia$	365	
		Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso	tz	2920	

Fonte: Próprio autor (2022).

O Equacionamento proposto pela ABNT NBR 5419-2:2015 foi utilizado para o cálculo de probabilidades de perdas L_X , conforme Tabela 12.

Tabela 12 – Probabilidades de perda vida humana zona 2.

$LA = LU$	3,80952E-07
$LB = LV$	7,61905E-06

Fonte: Próprio autor (2022).

Diante dos resultados encontrados, calcula-se os riscos R_X apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores de riscos perda vida humana zona 2.

$RA =$	1,39E-08
$RB =$	2,78E-08
$RUP =$	5,26E-08
$RUT =$	7,80E-08
$RU =$	1,31E-07
$RVP =$	1,05E-06
$RVZ =$	1,56E-06
$RV =$	2,61E-06

Fonte: Próprio autor (2022).

Com os valores dos riscos R_X encontrados, é possível calcular o risco da zona.

$$R1 = R_A + R_B + R_U + R_V \quad (10)$$

$$R1 = 3,04 \times 10^{-6}$$

3.3.3 Zona 3

Na Figura 34, encontram-se as características de exposição da zona 3.

Figura 34 – Características da Zona de Exposição – Zona 3.

Parâmetros de entrada	Comentários e informações	Símbolo	Valor	Ref. Da tabela
Tipo de piso	Mármore, cerâmica	rt	0,001	Tab. C.3
Proteção contra choque (desc. Na estrutura)	Nenhuma medida de proteção	PTA	1	Tab. B.1
Proteção contra choque (desc. Na linha)	Nenhuma medida de proteção	PTU	1	Tab. B.6
Risco de incêndio ou explosão	Normal	rf	0,01	Tab. C.5
Proteção contra incêndio	Extintores, instalações fixas operadas manualmente, rotas de escape	rp	0,5	Tab. C.4
Blindagem espacial interna	Sem blindagem espacial			Ver item "B.5" pag 43 e 44 NBR 5419 -2
		Wm1	0	
		Wm2	0	
		K S1	1	
		K S2	1	Eq. (B.6)
Fiação interna- Energia (Linha 01)	Cabo não blindado- sem preocupação no roteamento	KS3/p	1	Tab. B.5
Fiação interna- Sinal (Linha 02)	Cabo não blindado- sem preocupação no roteamento	KS3/t	1	Tab. B.5
Sistema de DPS- DPS	Sem DPS	PEB	1	Tab. B.7
Sistema de DPS- DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	PSPD	1	Tab. B.3

Fonte: Próprio autor (2022).

Nessa zona foi analisada a perda de vida humana, perdas de vida humana são designadas pela letra L, onde para cada tipo de perda, há um tipo de dano associado, e é determinado pela Tabela 6. Para análise e realização dos cálculos, é necessário a identificação das informações vistas da Figura 35.

Figura 35 – Entrada de dados para análise L1: perda de vida humana zona 3.

L1: perda de vida humana (C.3) - Entrada de Dados	Tipo de perigo especial	Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)	hz	2,00	Tab. C.6
		D1 ferimentos # Todos os tipos	LT	1,00E-02	Tab. C.2
	Danos Físicos	Industrial, comercial	LF1	2,00E-02	
	Falhas de sistemas int.	Não Aplicável	LO1	0,00E+00	
	Fator para pessoas na Zona	Número de pessoas na zona de perigo	nz	25	informe os valores
		Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)	nt	175	
		Horas por dia em que a edificação se mantém ocupada	Thor	8	
		Total em dias por ano que a edificação se mantém ocupada	Tdia	365	
		Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso	tz	2920	

Fonte: Próprio autor (2022).

O Equacionamento proposto pela ABNT NBR 5419-2:2015 foi utilizado para o cálculo de probabilidades de perdas L_X (Tabela 14).

Tabela 14 – Valores de riscos perda vida humana zona 3.

LA = LU	4,7619E-07
LB = LV	9,52381E-06

Fonte: Próprio autor (2022).

Diante dos resultados encontrados, calcula-se os riscos R_X , conforme Tabela 15.

Tabela 15 – Valores de riscos perda vida humana zona 3.

RA =	1,74E-08
RB =	3,48E-07
RUP =	6,58E-08
RUT =	9,76E-08
RU =	1,63E-07
RVP =	1,32E-06
RVZ =	1,95E-06
RV =	3,27E-06

Fonte: Próprio autor (2022).

Com os valores dos riscos R_X encontrados podemos calcular o risco da zona.

$$R1 = R_A + R_B + R_U + R_V \quad (11)$$

$$R1 = 3,80 \times 10^{-6}$$

Após encontrar os valores dos riscos R_X em cada zona da edificação, podemos calcular o risco total da edificação.

$$R = R_{zona01} + R_{zona02} + R_{zona03} \quad (12)$$

$$R = 4,80 \times 10^{-5} + 3,04 \times 10^{-6} + 3,80 \times 10^{-6}$$

$$R = 5,48 \times 10^{-5}$$

Tratando-se do risco de perda de vida humana, nota-se que o risco total R ($5,48 \times 10^{-5}$) maior que o valor tolerável R_T ($1,0 \times 10^{-5}$) para perdas de vida humana, ou seja, conseqüentemente a estrutura necessita de PDA. Foi encontrado R ($1,93 \times 10^{-4}$) menor que o valor tolerável R_T ($1,0 \times 10^{-3}$) para perdas de valor econômico, ou seja, o valor atende o tolerável, sendo optativo PDA para perdas de valor econômico.

Após realizada a análise do gerenciamento de risco, serão refeitos os cálculos para observar o novo valor do risco, já considerando níveis e medidas de proteção para o referido cálculo.

A área de exposição equivalente permanece a mesma:

$$AD = \pi \times (3 \times H_p)^2 \quad (13)$$

$$AD = 19.724,00m^2$$

Considerando a proteção SPDA classe IV, foram calculados os novos valores de probabilidades, que podem ser observados na Tabela 16.

Tabela 16 – Novos cálculos de probabilidade.

Equação	Total
PA = PTA X PB	0,2
PB = (Tab. B.2)	0,2
PC =PSPD X CLD	0,01
PU = PTU X PEB X PLD X CLD	0,01
PV = PEB X PLD X CLD	0,01
PW = PSPD X PLD X CLD	0,01
PZ = PSPD X PLI X CLI	0,01

Próprio autor (2022).

Na zona 1, os valores encontrados no equacionamento de probabilidades de perdas L_X , referente a vida humana, permanece o mesmo, conforme Tabela 17.

Tabela 17 – Probabilidades de perdas zona 1.

Probabilidades de perdas	Total
LA=LU=	2,48E-06
LB =LV=	1,24E-04

Fonte: Próprio autor (2022).

Na Tabela 18 é possível encontrar os novos valores de riscos de vida humana R_X calculados para a zona:

Tabela 18 – Novos valores de riscos zona 1.

Riscos	Total
RA =	1,80E-08
RB =	9,03E-07

RU =	8,50E-09
RV =	4,25E-07
R =	1,36E-06
Fonte: Próprio autor (2022).	

Na zona 1, os valores encontrados no equacionamento de probabilidades de perdas L_X , referente a valor econômico, permanecem o mesmo, conforme Tabela 19.

Tabela 19 – Novos Novos cálculos probabilidades de perdas de valor econômico.

Probabilidades de perdas	Total
LA=LU=	0,00E+00
LB =LV=	5,00E-04
LC=LM=LW=LZ =	1,92E-06

Fonte: Próprio autor (2022).

Na Tabela 20 é possível encontrar os novos valores de riscos de valor econômico R_X calculados para a zona.

Tabela 20 – Novos valores de riscos econômicos zona 1.

Riscos	Total
RB =	3,69E-06
RC =	7,08E-10
RM =	7,08E-10
RV =	1,71E-06
RW =	6,77E-09
RZ =	9,46E-08

Fonte: Próprio autor (2022).

Na zona 2, os valores encontrados no equacionamento de probabilidades de perdas L_X , permanecem o mesmo, conforme Tabela 21.

Tabela 21 – Probabilidade de perdas zona 2.

Probabilidades de perdas	Total
LA=LU=	3,80E-07
LB =LV=	7,61E-06

Fonte: Próprio autor (2022).

Na Tabela 22 é possível encontrar os novos valores de riscos R_X calculados para a zona.

Tabela 22 – Novos valores de riscos zona 2.

Riscos	Total
RA =	2,78E-09
RB =	5,56E-08
RU =	1,30E-09
RV =	2,61E-08
R =	8,59E-08

Fonte: Próprio autor (2022).

Na zona 3, os valores encontrados no equacionamento de probabilidades de perdas L_X , permanecem o mesmo, conforme Tabela 23.

Tabela 23 – Probabilidades de perdas zona 3.

Probabilidades de perdas	Total
LA=LU=	4,76E-07
LB =LV=	9,52E-06

Fonte: Próprio autor (2022).

Na Tabela 24 é possível encontrar os novos valores de riscos R_X calculados para a zona:

Tabela 24 – Novos valores de riscos zona 3.

Riscos	Total
RA =	3,47E-09
RB =	6,95E-08
RU =	1,63E-09
RV =	3,26E-08
R =	1,07E-07

Fonte: Próprio autor (2022).

Após encontrar os valores dos riscos R_X em cada zona da edificação, podemos calcular o risco total da edificação.

$$\begin{aligned}
 R &= R_{zona01} + R_{zona02} + R_{zona03} \\
 R &= 1,36 \times 10^{-6} + 8,59 \times 10^{-8} + 1,07 \times 10^{-7} \\
 R &= 1,55 \times 10^{-6}
 \end{aligned} \tag{14}$$

Foi encontrado o risco R ($1,55 \times 10^{-6}$) menor que o valor tolerável R_T ($1,0 \times 10^{-5}$) para perdas de vida humana, ou seja, o sistema escolhido, SPDA classe IV e DPS classe I na entrada de energia, reduz os riscos de vida humana e atende a necessidade de PDA.

3.4 Projeto do PDA

Conforme apresentado anteriormente, na empresa prestadora de serviços do norte do Rio Grande do Sul é necessário implementar um PDA classe IV. Sendo que o sistema externo SPDA irá reduzir a probabilidade de danos a seres vivos e danos físicos, e o sistema interno MPS evitara a falha de sistemas internos.

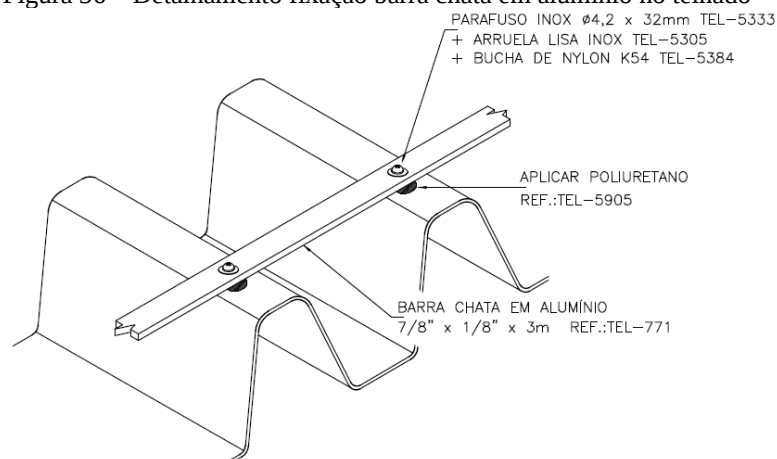
3.4.1 Método do projeto

Para a estrutura em análise, foi utilizado o método das malhas, também conhecido como Gaiola de Faraday, devido ser indicado para estruturas com essa forma geométrica, eficaz para edificações, e também causa pouca interferência estética.

3.4.2 Subsistema de captação

Por se tratar de um PDA classe IV, os condutores da malha não devem ultrapassar a distância máxima de 20 metros, conforme tabela 2. O telhado da estrutura é composto por telha trapezoidal, e está posicionado abaixo da platibanda. Através do método das malhas, projetou-se a distribuição dos condutores do sistema captor, encontra-se no Apêndice B deste documento. Optou-se por distribuir 26 minicaptos de aço galvanizado a fogo, nas quinas e condutores longos, a fim de reduzir a probabilidade de danos causados por descargas atmosféricas no subsistema de captação. Verifica-se (Figura 36) o detalhamento da fixação da barra chata em alumínio.

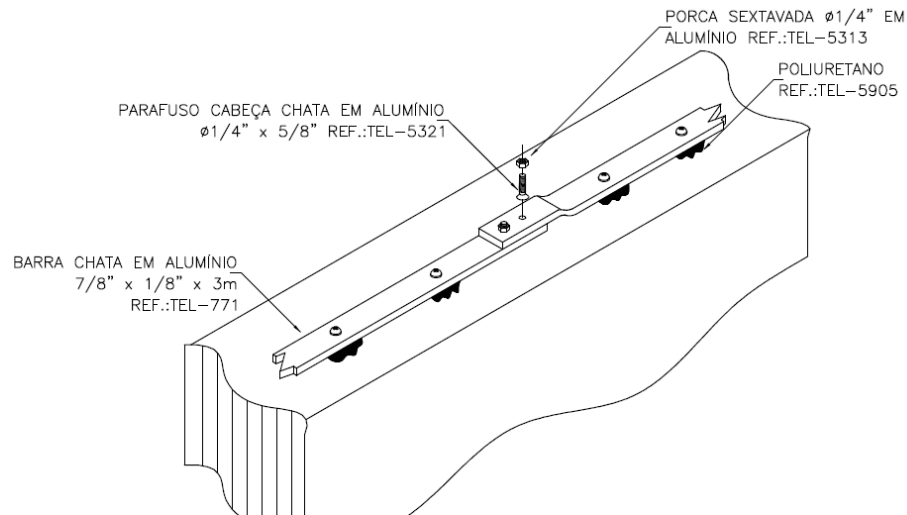
Figura 36 – Detalhamento fixação barra chata em alumínio no telhado



Fonte: Termotécnica (2017).

É também é possível observar o detalhamento da emenda de barra chata em alumínio na Figura 37.

Figura 37 – Detalhamento referente a emendas de barras chatas em alumínio



Fonte: Termotécnica (2017).

Para garantir que o sistema resista as tensões mecânicas induzidas por descargas atmosféricas, é primordial que a fixação dos componentes seja executada propriamente através de porca sextavada e parafuso de alumínio, assim como demonstrado na figura 29, conectores de pressão ou até mesmo solda exotérmica. Do contrário, a falha nas junções, pode danificar SPDA e a estrutura, anulando efeitos de proteção.

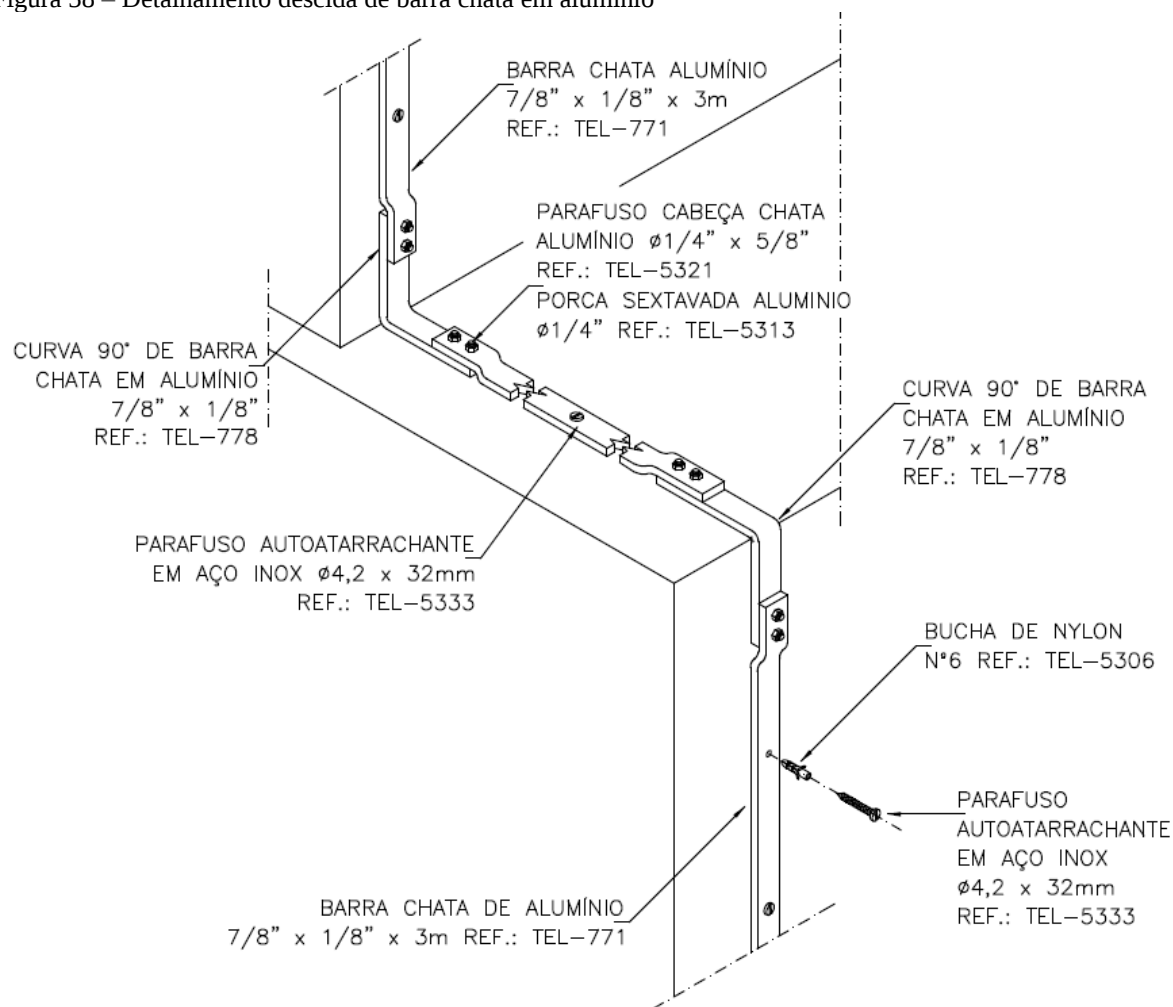
3.4.3 Subsistema de descida

A ABNT NBR 5419:2015, especifica que o espaçamento entre os condutores de descida para um SPDA classe IV, deve ser até 20 metros, tendo tolerância de 20% caso houver alguma interferência. Conhecendo perímetro da edificação pode-se calcular número de condutores de descida, conforme mencionado pela equação 6.

$$N_{CD} = \frac{P_{CO}}{D_{CD}} = \frac{292,45}{20} = 14,62 \approx 15 \quad (15)$$

Foram adotadas 15 descidas, a representação encontra-se no apêndice B deste documento. Onde optou-se por utilizar barras chatas de alumínio idênticas aquelas utilizadas no subsistema de captação, visando alta funcionalidade e baixa interferência estética.

Figura 38 – Detalhamento descida de barra chata em alumínio



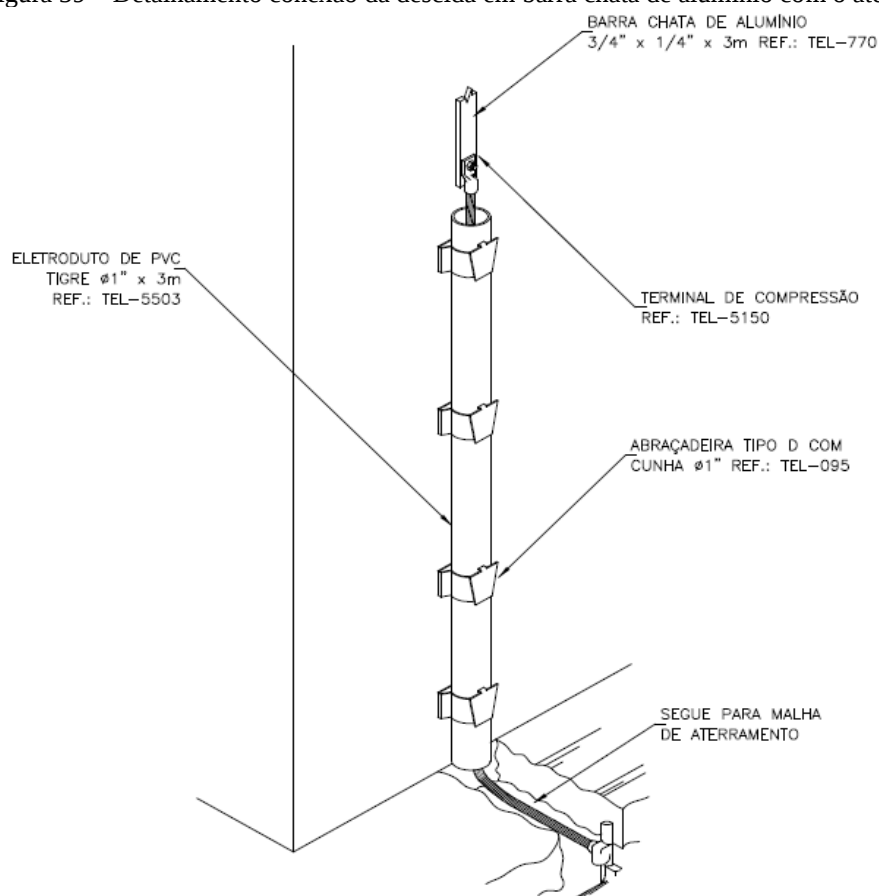
Fonte: Termotécnica (2017).

Os condutores ficam aparafusados ao subsistema de captação e fixados a fachada da edificação por presilhas de aço e parafusos de aço inox.

Foram adotadas 6 caixas de inspeção, uma em cada canto da estrutura, devem ser instaladas as caixas a um metro e meio acima do solo, com um conector estanhado de pressão, através do conector, a barra chata de descida é interligada ao cabo de cobre, que deverá estar conectado ao sistema de aterramento por solda isotérmica.

Na Figura 39, é possível verificar o detalhamento da conexão da descida em barra chata de alumínio com o aterramento, esse detalhamento não possui a caixa de inspeção.

Figura 39 – Detalhamento conexão da descida em barra chata de alumínio com o aterramento



Fonte: Termotécnica (2017).

3.4.4 Projeto do aterramento

Um bom aterramento elétrico é fundamental para que haja bom funcionamento e confiabilidade do SPDA, para implementação de um sistema satisfatório e seguro é necessário avaliar a resistividade do solo.

3.4.4.1 Medição da resistividade e modelagem geolétrica

O procedimento de sondagem geolétrica do solo, foi realizada no dia 17 de setembro de 2022, pelo método de Wenner. Onde foi utilizado o terrômetro MTD 20KWe, da MEGABRAS, conforme Figura 40, com auxílio de 4 estacas de cobre de um metro de comprimento e bitola de meia polegada. Durante a sondagem, foram penetradas hastes a uma profundidade de 40 centímetros.

Figura 40 – Terrômetro MTD 20KWe MEGABRAS, utilizado na medição.



Fonte: Próprio autor (2022).

Através da ABNT NBR 7117:2020, foi possível verificar o procedimento ideal para a sondagem sobre o terreno que recebera o sistema de aterramento. No caso dessa empresa prestadora de serviços a tarefa é impossível, pois a edificação da mesma está concluída. Porém como o aterramento será em forma de anel exterior ao perímetro do prédio, é possível obter boas estimativas com base nas medições próximas ao local. Na Tabela 26 os valores das medições realizadas em campo, inserido os valores das resistências apresentadas no terrômetro.

Tabela 25 – Valores das resistências apresentadas no termômetro

Espaçamento “a” (m)		1	2	4
Resistência medida R (Ω)	A	30,1	15,3	0,9
	B	36,3	18,5	0,7

Fonte: Próprio autor (2022).

A partir da fórmula completa do arranjo Wenner descrita abaixo, foram calculados através do software Excel, os valores da resistividade aparente inicial, podem ser verificados na Tabela 26.

$$\rho = \frac{4\pi \times a \times \left(\frac{V}{I}\right)}{1 + \left(\frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}}\right) - (a/\sqrt{a^2 + b^2})} \quad (16)$$

Tabela 26 – Valores da resistividade aparente inicial

Espaçamento “a” (m)		1	2	4
Resistência inicial ρ (Ω.m)	A	231,6	204,9	23
	B	279,3	247,8	17,9

Fonte: Próprio autor (2022).

Em seguida foi realizado o filtro dos valores extremos, conforme ABNT NBR 7117:2020, os chamados “outliers”, que fogem do padrão da maioria dos valores medidos, devido algum tipo de “ruído”, como exemplo: pedra, cano, etc. Os valores após a eliminação de “outliers”, valor da resistividade aparente final sem erros, é possível observar na Tabela 27:

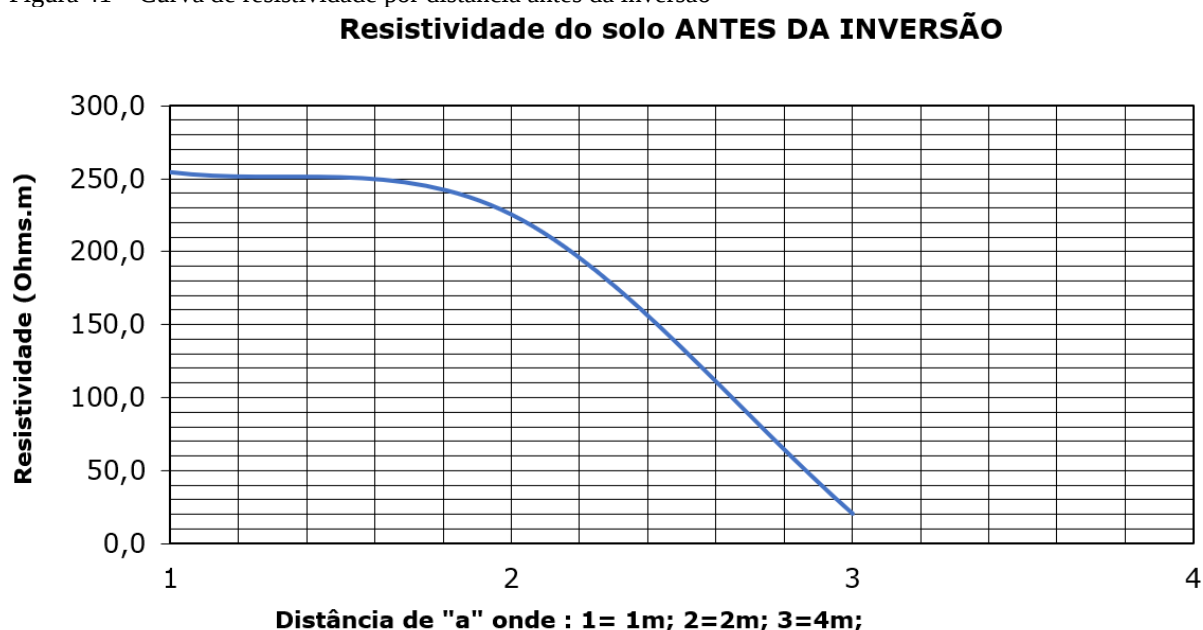
Tabela 27 – Valores da resistividade aparente final sem erros

Resistividade aparente final sem erros			
Resistividade Final ρ ($\Omega.m$)	254,3	225,3	20,3

Fonte: Próprio autor (2022).

Com os valores filtrados na etapa anterior, foi verificada a curva de resistividade por distância, onde foi possível observar o comportamento da curva, e identificado os pontos de inflexão para realizar inversão no software IPI2WIN (Figura 41).

Figura 41 – Curva de resistividade por distância antes da inversão

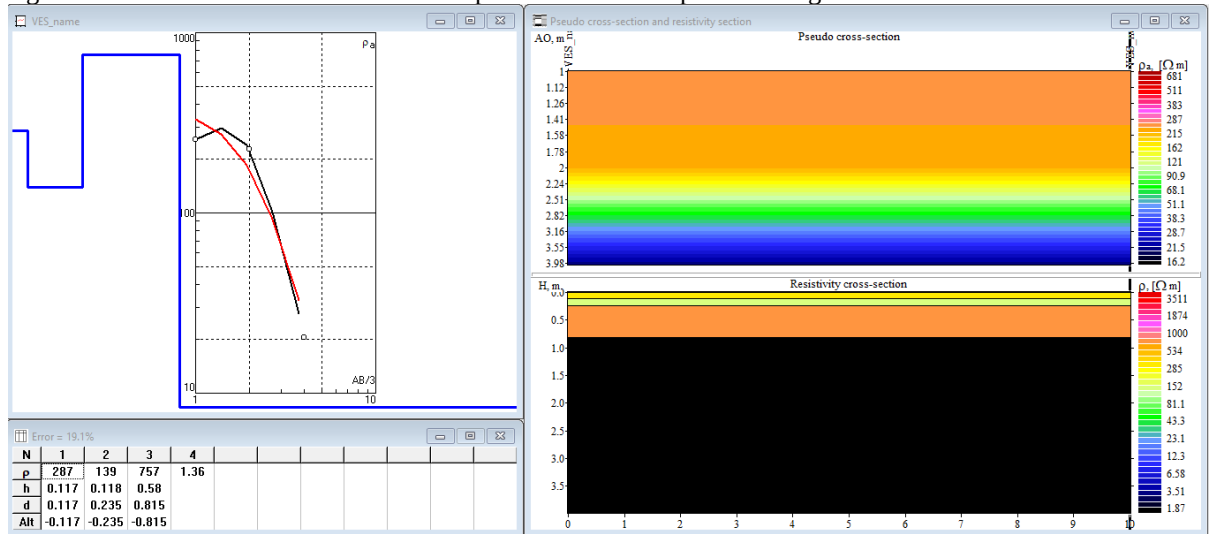


Fonte: Próprio autor (2022).

Tem somente 1 ponto de inflexão, conforme ABNT NBR 7117:2020, dessa forma são necessárias 2 camadas mínimas para inversão.

Após analisar os dados, foi realizada a inversão da curva de resistividade aparentes, conforme o item 6.3 da NBR 7117-1:2022, para que se diminua interferências e se encontre as resistividades para cada camada, profundidade e espessura de cada camada, que são os parâmetros necessários para dimensionamentos.

Figura 42 – Curva de resistividade do solo após inversão e comportamento geoeletrico das camadas do solo



Fonte: Software IPI2WIN (2022).

Após realizada a inversão, é possível observar na figura 31, que foi encontrado um erro mínimo de inversão de 19,1%, onde o valor de erro recomendado é menor que 3%. Não foi possível diminuir o erro RMS de inversão, mesmo utilizando mais camadas, dessa forma, adotou-se o número de camadas de 4 camadas, onde foram encontrados os valores na Tabela 28.

Tabela 28 – Valores das 4 camadas do solo

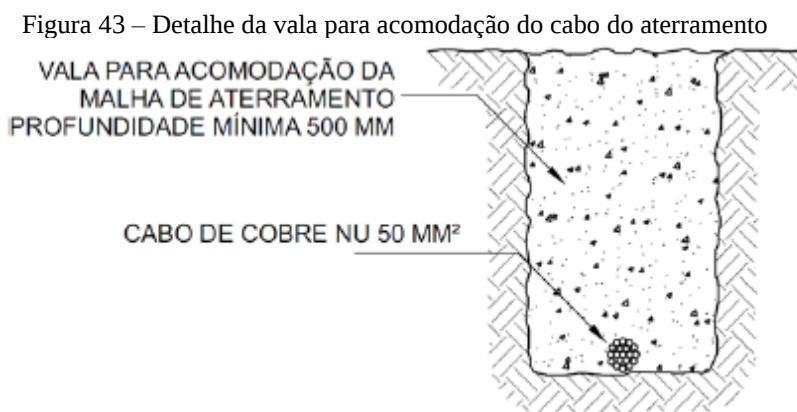
Camadas do Solo	Resistividade da camada [ρ (Ω .m)]	Espessura da camada [m]	Profundidade da camada [m]
Camada 01	287	0,117	0,117
Camada 02	139	0,118	0,235
Camada 03	757	0,58	0,815
Camada 04	1,36	-	-

Fonte: Próprio autor (2022).

Na Figura 43, foi possível entender o comportamento geoeletrico das camadas do solo. Após encontrado os valores, podemos observar que a primeira camada do solo tem profundidade de 0,117m, sendo necessário análise da segunda e terceira camada, foi realizado uma Média geométrica entre a resistividade de ambas.

O resultado da média geométrica entre a primeira, segunda e terceira camada, que será o valor considerado para dimensionamento das malhas de aterramento desse local, será de 311,40 Ω .m, o que atende para a classe IV de SPDA.

O anel de aterramento deve ser enterrado na profundidade de no mínimo 0,5 m e ficar posicionado externamente a distância aproximada de 1 m ao redor das descidas. É apresentado um detalhe da vala para acomodação do cabo de aterramento na figura 32.



Fonte: NTU 014.

Conforme ABNT NBR 5419-3:2015 aterramento do SPDA deve ser formado por um anel fechado externo a estrutura a ser protegida, em contato com o solo por pelo menos 80% do seu comprimento total, conforme detalhes apresentados na Figura 44.

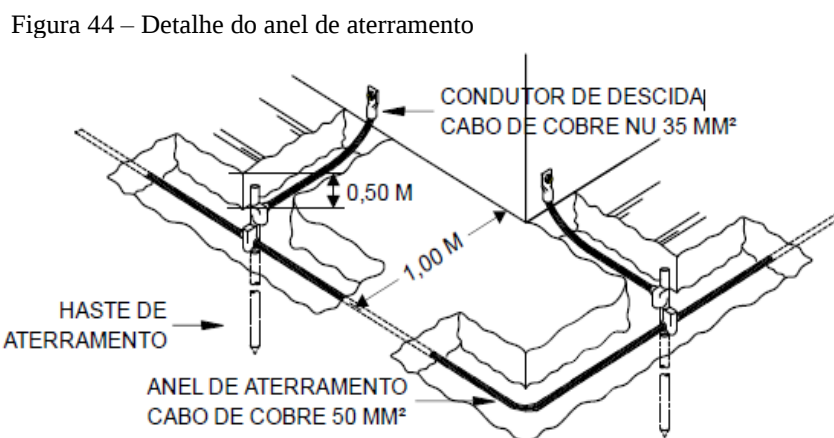


Figura 69 C: Detalhe do anel de aterramento

Fonte: NTU 014.

Eletrodos de aterramento devem ser de 50 mm² em cabo de cobre não isolado para a malha de aterramento e hastes de aço de 16 x 2400 mm revestidas com alta camada de cobre 254 µm, haste de aterramento *copperweld*.

3.4.5 Dimensionamento de DPS

A fim de evitar danos nos sistemas internos, como Medida de Proteção contra Surtos foi adotada utilização de DPS, onde foi levado em consideração a potência instalada na empresa, as características da carga, dimensões da estrutura e o sistema de proteção contra descargas atmosféricas proposto. No gerenciamento de risco da estrutura foi possível verificar que a instalação de um único DPS na entrada de energia é o suficiente para reduzir os riscos de danos aos sistemas internos.

Como já visto, a estrutura atende a classe IV de SPDA, e de acordo com a ABNT NBR 5419-4:2015, uma estrutura que atende a essa classe, pode ser submetida a uma corrente máxima de 100kA, e também segundo a norma, pode retornar para a estrutura por meio dos DPS 50% da corrente máxima proveniente de descarga atmosférica.

Será utilizado DPS classe I, o mesmo dever Deve suportar uma corrente de impulso (I_{imp}) com forma de onda 10/350 μ s. Optou-se por utilização de 4 módulos (um para cada fase e um para o neutro) do DPS CLAMPER Front, ilustrado na Figura 45. O modelo possui capacidade de dreno de corrente de surto até 12,5 kA e opera a uma tensão máxima nominal de 275V, o que se torna adequado como solução.

Figura 45 – DPS-CLAMPER Front



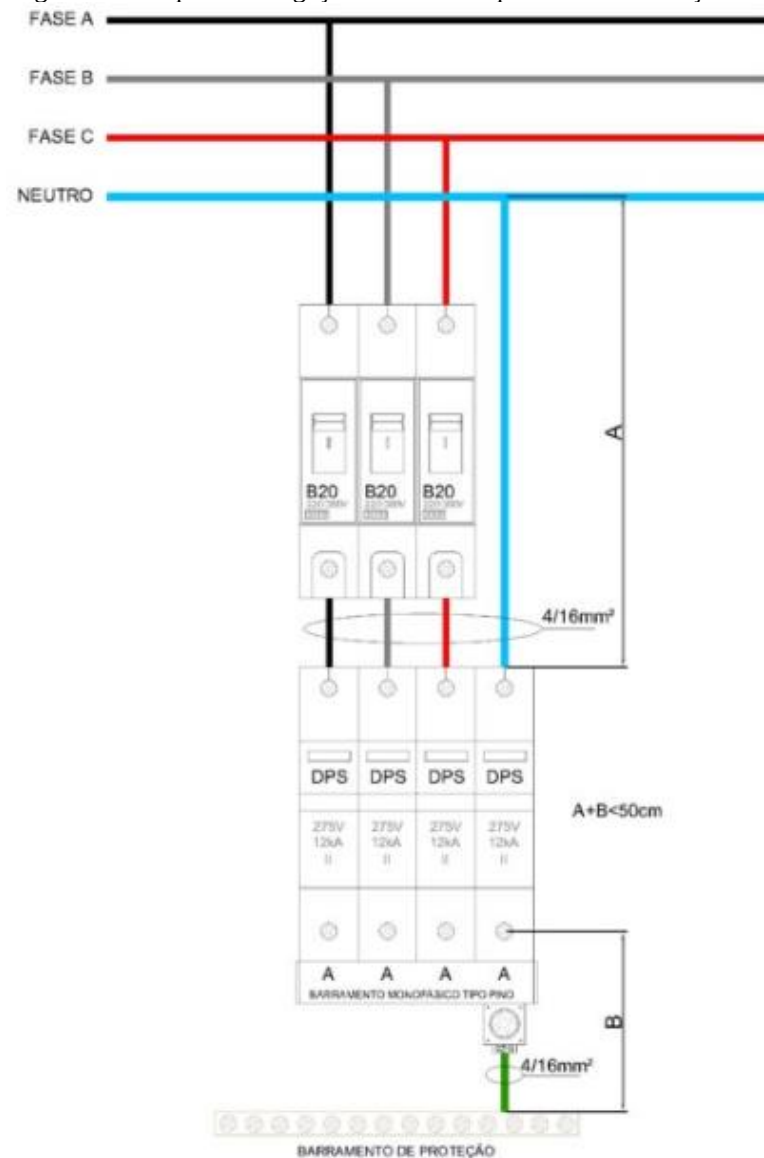
Fonte: CLAMPER.

Optou-se a utilização de 1 módulo para cada fase e neutro, pois a ABNT NBR 5410:2004 salienta que dessa forma irá apresentar maior probabilidade de continuidade de serviço e continuidade de proteção, pois caso ocorrer falha interna em uma das fases, o

seccionamento poderá ser feito em uma fase, garantindo a continuidade de serviço dos DPS e dos disjuntores das fases que não falharam.

Na figura 46 é mostrado esquema de ligação correta para um sistema trifásico, do DPS em quadro de distribuição.

Figura 46 – Esquema de ligação do DPS em quadro de distribuição



Fonte: Santos (2018).

3.4.6 Análise de material e custos

O dimensionamento dos componentes utilizados no subsistema de captação, de descida e aterramento, bem como também o sistema de proteção interno, encontra-se na Figura 47, e também é possível verificar a lista de materiais com a ilustração dos componentes no Anexo C desse documento.

Figura 47 – Relação de materiais necessários para realização do projeto, e análise de custos.

Material	Qtd.	Valor	Total	Referência
Barra chata em Alumínio com furos Ø 7mm - 7/8" x 1/8" x 3m (70mm2)	337	R\$ 11.508,55		SINAPI
Parafusos para emenda de barras chatas alumínio F. Philips Ø 1/4" x 5/8"	340	R\$ 639,20		SINAPI
Porcas sextavadas alumínio Ø 1/4"	340	R\$ 142,80		SINAPI
Poliuretano (PU) bisnaga 380g	16	R\$ 496,00		Mercado livre
Parafuso autotarrachante em aço inox Ø 4,2 x 32mm	674	R\$ 239,48		SINAPI
Terminal de compressão 1 furo Ø 10,5mm 1 compressão - 50mm2	30	R\$ 82,80		SINAPI
Curva barra chata de alumínio 90 7/8" x 1/8" x 300mm (70mm2) - em Alumínio	37	R\$ 475,45		SINAPI
Curva barra chata 90 Horizontal 7/8" x 1/8" x 300mm (70mm2) - com furos	6	R\$ 77,88		SINAPI
Caixa de inspeção em polipropileno Em PP com anti-UV e anti-chama	6	R\$ 269,16		SINAPI
Eletroduto PVC Ø 1" x 3m (DN 32)	15	R\$ 350,85		SINAPI
Abraçadeira tipo colar Cor cinza em PVC Ø 1" (DN 32)	60	R\$ 161,40		SINAPI
Cabo de Cobre nu 50mm2 - 7 fios x Ø 3,00mm (NBR 6524)	410	R\$ 21.877,00		SINAPI
Haste tipo copperweld alta camada Ø 5/8" x 2,40m (Ø 14,3mm - efetivo)	15	R\$ 2.217,75		SINAPI
Minicaptor em latão com conector e fixação horizontal 250mm	26	R\$ 715,00		SINAPI
Bucha de Nylon Ø 6mm	674	R\$ 60,66		SINAPI
Conectores de medição Em latão com 4 parafusos - para cabos de Cobre / aço cobreado 35-70mm2	6	R\$ 153,00		SINAPI
Molde para solda exotérmica MHTH 5/8.50-4A	1	R\$ 307,00		Mercado livre
Cartucho para solda exotérmica	15	R\$ 165,00		Mercado livre
Alicate para manuseio do molde das soldas exotérmicas	1	R\$ 160,60		Mercado livre
Dispositivo de proteção contra surto(DPS) CLAMPER Front Classe I, tensão nominal máxima 275V corrente de descarga (10µs/350µs)	4	R\$ 645,60		CLAMPER

Fonte: Próprio autor (2022).

O custo dos materiais para a realização desse projeto, é de aproximadamente R\$ 40.745,18 ressaltando que podem variar, dependendo o local de aquisição.

Lembrando também que a execução do projeto deve ser feita por profissional habilitado e capacitado, onde o mesmo irá necessitar equipamentos de proteção individual, onde não foi realizado uma análise de materiais e custos.

4 RESULTADOS

Com base na metodologia apresentada, neste capítulo destaca os resultados da análise e gerenciamento de riscos que foram realizados e também do PDA projetado.

No primeiro passo da análise e gerenciamento de risco foi identificado a necessidade de avaliação de três zonas, após foi analisado as perdas consideráveis de cada zona, em seguida, em função dos tipos de perdas considerados, e posteriormente foram determinados os riscos a serem calculados, foram analisando também os danos nas respectivas zonas. Na Figura 48, é possível verificar os tipos de Perdas, Riscos e Danos de cada zona analisada.

Figura 48 – Perdas, Riscos e Danos de cada zona analisada



Zona 1	
Perdas:	(L1) Perda de vida humana e (L4) Perda de valor econômico.
Riscos:	(R1) Risco para perda de vida humana e (R4) Risco para valor econômico.
Danos:	(D1) Ferimentos aos seres vivos por choque elétrico, (D2) Danos físicos e (D3) Falhas de sistemas eletrônicos.

Zona 2	
Perdas:	(L1) Perda de vida humana.
Riscos:	(R1) Risco para perda de vida humana.
Danos:	(D1) Ferimentos aos seres vivos por choque elétrico e (D2) Danos físicos.

Zona 3	
Perdas:	(L1) Perda de vida humana.
Riscos:	(R1) Risco para perda de vida humana.
Danos:	(D1) Ferimentos aos seres vivos por choque elétrico e (D2) Danos físicos.

Fonte: Próprio autor (2022).

Após encontrados os parâmetros, foram calculados e encontrados os valores de número de eventos perigosos na edificação, que pode ser observado na Tabela 30, e em seguida foram realizados os cálculos e encontrados os valores das probabilidades de danos da edificação, considerando que não há proteção na mesma.

Tabela 29 – Número esperado anual de eventos perigosos na Edificação

Nº Eventos perigosos	Equação	Total
ND - na estrutura	$ND = NG \times AD \times CD \times 10^{-6}$	3,65E-02
NM - próx. Estrutura	$NM = NG \times AM \times 10^{-6}$	2,90E+00
NL/P – linha (energia)	$NL/P = NG \times AL/P \times CI/P \times CE/P \times CT/P \times 10^{-6}$	1,23E-02
NI/P - próx. Linha(energia)	$NI/P = NG \times AI/P \times CI/P \times CE/P \times CT/P \times 10^{-6}$	1,23E+00
NDJ/P - Estrutura adjacente(energia)	$NDJ/P = NG \times ADJ/P \times CDJ/P \times CT/P \times 10^{-6}$	3,89E-02
NL/T - linha (sinal)	$NL/T = NG \times AL/T \times CI/T \times CE/T \times CT/T \times 10^{-6}$	3,70E-02

NI/T - próx. Linha (sinal)	$NI/T = NG \times AI/T \times CI/T \times CE/T \times CT/T \times 10^{-6}$	3,70E+00
NDJ/T - Estrutura adjacente(sinal)	$NDJ/T = NG \times ADJ/T \times CDJ/T \times CT/T \times 10^{-6}$	3,89E-02

Fonte: Próprio autor (2022).

Foram calculados os riscos definidos em cada zona, e após calculado o valor do risco total da edificação, onde foi possível verificar que o valor do risco de perda de vida humana é maior que o tolerável, sendo necessário instalação de PDA, foi possível verificar também que o resultado do risco de valor econômico é menor que o valor tolerável, sendo optativa a instalação de PDA, como é possível observar na Tabela 30:

Tabela 30 – Análise dos resultados sem proteção

Tipo de Perdas	Risco total de edificação	Valor tolerável	Verificação
Vida humana	R = 5,48000E-05	R = 1,00000E-05	Não atende, necessita SPDA
Valor econômico	R = 1,93000E-04	R = 1,00000E-05	Atende, SPDA é optativo.

Fonte: Próprio autor (2022).

Conforme os valores dos riscos totais encontrados, foram refeitos os cálculos e encontrados os valores das probabilidades de danos da edificação, considerando os cálculos com a proteção de SPDA, o valor do risco de perda de vida humana é menor que o valor tolerável, sendo assim, o SPDA classe IV e DPS classe I, atendem a necessidade de proteção, como é possível verificar na Tabela 31.

Tabela 31 – Análise dos resultados com proteção

Tipo de Perdas	Risco total da edificação	Valor tolerável	Verificação
Vida humana	R = 1,55000E-05	R = 1,00000E-05	Atende
Valor econômico	R = 1,93000E-04	R = 1,00000E-05	Atende, SPDA é optativo.

Fonte: Próprio autor (2022).

Dimensionamento do projeto PDA:

- **Método do projeto:** analisando as características da estrutura e levando a consideração a orientação das normas, o método utilizado foi o método das malhas, também conhecido como Gaiola de Faraday, onde é o mais eficaz para esse tipo de edificações, e também causa pouca interferência estética;
- **Subsistema de captação:** foram dimensionadas as malhas respeitando a máxima distância de 20 m por se tratar de SPDA tipo IV (conforme a norma), e também verificando as limitações da estrutura, optou-se por utilizar barras chatas

de alumínio para minimizar efeitos estéticos, e também foram distribuídos 26 minicaptadores, a fim de reduzir a probabilidade de danos causado por descargas atmosféricas e como boa prática de projeto;

- **Subsistema de descida:** foram dimensionadas 15 descidas, e por se tratar dessa classe de SPDA a norma orienta a distância máxima de 20 m e tolerância de 20%, para dimensionar o número de condutores de descida, foi ultrapassado 3,1% devido a limitações da estrutura, porém como o sistema está bem dimensionado e foi adotada boas práticas de projeto, o mesmo possui confiabilidade, optou-se por utilizar barras chatas de alumínio como no subsistema de captação;
- **Subsistema de aterramento:** foi realizada sondagem geométrica do solo, onde foi possível observar o comportamento e o valor da resistividade do solo 311,40 $\Omega.m$, que atende para a classe IV de SPDA, os eletrodos de aterramento devem ser de 50 mm² em cabo de cobre não isolado para a malha de aterramento e hastes de aço de 16 x 2400 mm revestidas com alta camada de cobre 254 μm , haste de aterramento *copperweld*.
- **Dimensionamento de DPS:** foi dimensionado DPS classe I, que suporta corrente de impulso com forma de onda 10/350 μs , optou-se por utilizar 4 módulos (um para cada fase e um para o neutro), CLAMPER Front que opera a uma tensão máxima nominal de 275V.

O projeto do PDA completo da empresa foi desenvolvido de acordo com as especificações das normas, e pode ser encontrado no Anexo B desse documento, com as características, detalhamentos construtivos e observações para um melhor entendimento quanto a execução do sistema. Tanto o sistema interno, quanto o sistema externo da edificação estará protegido se o sistema for executado respeitando os parâmetros dimensionados e orientados.

5 CONCLUSÕES

Devido o Brasil registrar um aumento significativo de queda de raios, e ser considerado o país com mais incidências de raios do mundo, ressalta-se a importância de verificar a necessidade de um PDA para as instalações, para redução de riscos tanto de vida humana, como de danos materiais.

Não há dispositivos ou métodos capazes de modificar os fenômenos climáticos naturais a ponto de se prevenir a ocorrência de descargas atmosféricas. Portanto, devem ser consideradas as medidas de proteção, onde através desse trabalho foi possível observar que com a instalação do SPDA + MPS, é possível reduzir de forma significativa os riscos tanto da vida humana, da estrutura, quanto dos equipamentos elétricos.

Os objetivos estabelecidos para este trabalho foram alcançados. Inicialmente realizado um estudo abrangente das normas e literatura acerca do PDA foi realizado, com a finalidade de coletar o máximo de informações necessárias para analisar em campo a edificação da empresa, e realizar o gerenciamento dos riscos. Notou-se que o gerenciamento dos riscos é uma importante ferramenta de previsão de danos aos usuários da unidade. Após foram realizados os cálculos e obtido os resultados para a análise e determinação do tipo de proteção que atende os critérios de segurança.

Posteriormente, após a determinação da necessidade de proteção, foi projetado um PDA completo para a edificação, a garantir que diminua os riscos existentes, garantindo a segurança dos funcionários, equipamentos elétricos e eletrônicos, e proteção de toda a edificação.

Portanto, pode-se considerar que o projeto completo de PDA obteve o êxito, pois apresentou uma solução adequada, alinhada as normas técnicas atuais, e também voltado aos requisitos solicitados da empresa.

Por fim, concluiu-se que a empresa não possui nenhum tipo de PDA, onde dessa forma não oferece proteção necessária as condições de riscos existentes, recomenda-se que a mesma acate as soluções do projeto. Caso a mesma opte pela realização do projeto, é de fundamental importância que deverá ser realizado por profissional habilitado e capacitado, a exercer esta atividade. Após a instalação, é recomendado que haja uma manutenção periódica anual de modo a garantir a confiabilidade do sistema. Da mesma forma também são recomendadas vistorias preventivas, após reformas que possam alterar o sistema e toda vez que for detectada a ocorrência de descargas diretas na edificação.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-1: Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 1: Princípios gerais.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-2: Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 2: Gerenciamento de risco.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-3: Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-4: Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura.

CAVALIN, G.; CERVELIN, S. **Instalações Elétricas Prediais Conforme Norma NBR 5410:2004**. 20. ed. São Paulo: Érica, 2010.

CLAMPER. **Proteção de Equipamentos Elétricos**. 1ª Edição. ed. Lagoa Santa: Editora Clamper, 2016.

CLIMA ERECHIM. **Clima Erechim (Brasil)**. 2022. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-sul/erechim-43631/>. Acesso em: 07 jun. 2022.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 15ª ed. Rio de Janeiro, 2014.

ELAT – Grupo de Eletricidade Atmosférica. **Mapa de raios em tempo real**. 2022. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/>. Acesso em: 12 mai. 2022.

INPE - Instituto nacional de pesquisas espaciais. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/>. Acesso em 25 Abr. 2022.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 9ª ed., 2017.

MAPAS TOPOGRÁFICOS. Mapa do Rio Grande do Sul. 2022. Disponível em: <https://pt-br.topographic-map.com/maps/gnjd/Rio-Grande-do-Sul/>. Acesso em: 02 jun. 2022.

MARCHI, M. M. **Avaliação de sistema de proteção contra descargas atmosféricas com uso de terrômetro de hastes e miliôhmímetro**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Elétrica), Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, Santa Catarina, 2020.

MERCADO LIVRE. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/>. Acesso em: set. 2022.

NTU 014. **Projetos de Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas em Subestações de Distribuição**. 2017. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Documents/Normas%20t%C3%A9cnicas/NTU%20014%20-%20Projetos%20de%20SPDA%20em%20Subesta%C3%A7%C3%B5es%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2022.

PAULINO, J. O. S. **Proteção de equipamentos elétricos e eletrônicos contra surtos elétricos em instalações**. 1ª ed. Minas Gerais: Editora Clamper, 2016.

SILVA, J. P. G. **Avaliação da proteção contra descargas atmosféricas das centrais de aulas da UFCG**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2021.

SINAPI. **Acesso rápido aos principais relatórios e documentos do SINAPI**. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: set. 2022.

TERMOTÉCNICA. **Apostila do Projetista**. 2015. Disponível em https://www.tel.com.br/imagenstel/institucional/apostila_spda.pdf. Acesso em: 24 Abr. 2022.

VISACRO, S. **Descargas atmosféricas uma abordagem de engenharia**. [S. l.]: Artliber, Editora, São Paulo, v.1, 2005.

SANTOS, M. Como escolher seu Dispositivo de Proteção contra Surto – DPS, **FAM Engenharia e Projetos**. 2018. Disponível em: <https://engfam.com.br/como-escolher-seu-dispositivo-de-protecao-contrasurto-dps/>. Acesso em: out. 2022.

APENDICE A – Memorial de cálculos do gerenciamento de risco

Cálculos risco de perda de vida humana zona 1.

O Equacionamento proposto pela ABNT NBR 5419-2:2015 foi utilizado para o cálculo de probabilidades de perdas L_X , onde temos:

$$L_A = L_U = rt \times L_T \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8.760} \quad (1)$$

$$L_A = L_U = 10^{-3} \times 10^{-2} \times 130 / 175 \times 2.920 / 8.760$$

$$L_A = L_U = 2,48 \times 10^{-6}$$

$$L_B = L_V = rp \times rf \times h_z \times L_F \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8.760} \quad (2)$$

$$L_B = L_V = rp \times rf \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8.760$$

$$L_B = L_V = 0,5 \times 0,01 \times 5 \times 2 \times 10^{-2} \times 130 / 175 \times 2.920 / 8.760$$

$$L_B = L_V = 1,24 \times 10^{-4}$$

Diante dos resultados encontrados, calcula-se os riscos R_X :

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (3)$$

$$R_A = 3,69 \times 10^{-2} \times 1 \times 2,48 \times 10^{-6}$$

$$R_A = 9,03 \times 10^{-8}$$

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (4)$$

$$R_B = 3,69 \times 10^{-2} \times 1 \times 1,24 \times 10^{-4}$$

$$R_B = 4,52 \times 10^{-6}$$

$$R_{Up} = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (5)$$

$$R_{Up} = (3,33 \times 10^{-2} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 2,48 \times 10^{-6}$$

$$R_{Up} = 3,42 \times 10^{-7}$$

$$\begin{aligned}
 R_{Ut} &= (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \\
 R_{Ut} &= (1 \times 10^{-1} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 2,48 \times 10^{-6} \\
 R_{Ut} &= 5,08 \times 10^{-7} \\
 R_U &= 8,50 \times 10^{-7}
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 R_{Vp} &= (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \\
 R_{Vp} &= (3,33 \times 10^{-2} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 1,24 \times 10^{-4} \\
 R_{Vp} &= 1,71 \times 10^{-5}
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 R_{Vt} &= (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \\
 R_{Vt} &= (1 \times 10^{-1} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 1,24 \times 10^{-4} \\
 R_{Vt} &= 2,54 \times 10^{-5} \\
 R_V &= 4,25 \times 10^{-5}
 \end{aligned} \tag{8}$$

Cálculos risco de perda de valor econômico zona 1.

O Equacionamento proposto pela ABNT NBR 5419-2:2015 foi utilizado para o cálculo de probabilidades de perdas L_X , onde temos:

$$\begin{aligned}
 L_A = L_U &= rt \times L_T \times \frac{c_a}{c_t^a} \\
 L_A = L_U &= 0
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 L_B = L_V &= rp \times rf \times L_F \times \frac{c_a + c_b + c_g + c_s}{c_t^a} \\
 L_B = L_V &= 5,0 \times 10^{-4}
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O &= \frac{c_s}{c_t^a} \\
 L_C = L_M = L_W = L_Z &= 1,92 \times 10^{-6}
 \end{aligned} \tag{11}$$

Diante dos resultados encontrados, calcula-se os riscos R_X :

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (12)$$

$$R_B = 3,69 \times 10^{-2} \times 1 \times 5,0 \times 10^{-4}$$

$$R_B = 1,83 \times 10^{-5}$$

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad (13)$$

$$R_C = 3,69 \times 10^{-2} \times 1 \times 1,92 \times 10^{-6}$$

$$R_C = 7,08 \times 10^{-8}$$

$$R_M = N_D \times P_M \times L_M \quad (14)$$

$$R_M = 3,69 \times 10^{-2} \times 1 \times 1,92 \times 10^{-6}$$

$$R_M = 7,08 \times 10^{-8}$$

$$R_{Vp} = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (15)$$

$$R_{Vp} = (3,33 \times 10^{-2} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 5,0 \times 10^{-4}$$

$$R_{Vp} = 6,92 \times 10^{-5}$$

$$R_{Vt} = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (16)$$

$$R_{Vt} = (1 \times 10^{-1} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 5,0 \times 10^{-4}$$

$$R_{Vt} = 1,025 \times 10^{-4}$$

$$R_V = 1,717 \times 10^{-4}$$

$$R_{Wp} = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W \quad (17)$$

$$R_{Wp} = (3,33 \times 10^{-2} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 1,92 \times 10^{-6}$$

$$R_{Wp} = 2,66 \times 10^{-7}$$

$$R_{Wt} = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W \quad (18)$$

$$R_{Wt} = (1,10 \times 10^{-1} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 1,92 \times 10^{-6}$$

$$R_{Wt} = 3,94 \times 10^{-7}$$

$$R_{Wt} = 6,59 \times 10^{-7}$$

$$\begin{aligned}
 R_{Zp} &= N_I \times P_Z \times L_Z \\
 R_{Zp} &= 1,23 \times 1 \times 1,92 \times 10^{-6} \\
 R_{Zp} &= 2,36 \times 10^{-6}
 \end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned}
 R_{Zt} &= N_I \times P_Z \times L_Z \\
 R_{Zt} &= 3,70 \times 1 \times 1,92 \times 10^{-6} \\
 R_{Zt} &= 7,104 \times 10^{-7} \\
 R_Z &= 3,07 \times 10^{-6}
 \end{aligned} \tag{20}$$

Cálculos risco de perda de vida humana zona 2.

O Equacionamento proposto pela ABNT NBR 5419-2:2015 foi utilizado para o cálculo de probabilidades de perdas L_X , onde temos:

$$\begin{aligned}
 L_A = L_U &= rt \times L_T \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8.760} \\
 L_A = L_U &= 10^{-3} \times 10^{-2} \times 20 / 175 \times 2.920 / 8.760 \\
 L_A = L_U &= 3,80 \times 10^{-7}
 \end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned}
 L_B = L_V &= rp \times rf \times h_z \times L_F \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8.760} \\
 L_B = L_V &= 0,5 \times 0,01 \times 2 \times 2 \times 10^{-2} \times 20 / 175 \times 2.920 / 8.760 \\
 L_B = L_V &= 7,61 \times 10^{-6}
 \end{aligned} \tag{22}$$

Diante dos resultados encontrados, calcula-se os riscos R_X :

$$\begin{aligned}
 R_A &= N_D \times P_A \times L_A \\
 R_A &= 3,69 \times 10^{-2} \times 1 \times 3,80 \times 10^{-7} \\
 R_A &= 1,39 \times 10^{-8}
 \end{aligned} \tag{23}$$

$$\begin{aligned}
 R_B &= N_D \times P_B \times L_B \\
 R_B &= 3,69 \times 10^{-2} \times 1 \times 7,61 \times 10^{-6}
 \end{aligned} \tag{24}$$

$$R_B = 2,78 \times 10^{-7}$$

$$R_{Up} = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (25)$$

$$R_{Up} = (3,33 \times 10^{-2} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 3,80 \times 10^{-7}$$

$$R_{Up} = 5,26 \times 10^{-8}$$

$$R_{Ut} = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (26)$$

$$R_{Ut} = (1 \times 10^{-1} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 3,80 \times 10^{-7}$$

$$R_{Ut} = 7,80 \times 10^{-8}$$

$$R_U = 1,31 \times 10^{-7}$$

$$R_{Vp} = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (27)$$

$$R_{Vp} = (3,33 \times 10^{-2} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 7,61 \times 10^{-6}$$

$$R_{Vp} = 1,05 \times 10^{-6}$$

$$R_{Vt} = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (28)$$

$$R_{Vt} = (1 \times 10^{-1} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 7,61 \times 10^{-6}$$

$$R_{Vt} = 1,56 \times 10^{-6}$$

$$R_V = 2,62 \times 10^{-6}$$

Cálculos risco de perda de vida humana zona 3.

O Equacionamento proposto pela ABNT NBR 5419-2:2015 foi utilizado para o cálculo de probabilidades de perdas L_X , onde temos:

$$L_A = L_U = rt \times L_T \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8.760} \quad (29)$$

$$L_A = L_U = 10^{-3} \times 10^{-2} \times 25/175 \times 2.920/8.760$$

$$L_A = L_U = 4,76 \times 10^{-7}$$

$$L_B = L_V = rp \times rf \times h_z \times L_F \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8.760} \quad (30)$$

$$L_B = L_V = 0,5 \times 0,01 \times 2 \times 2 \times 10^{-2} \times 25 / 175 \times 2.920 / 8.760$$

$$L_B = L_V = 9,52 \times 10^{-6}$$

Diante dos resultados encontrados, calcula-se os riscos R_X :

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (31)$$

$$R_A = 3,69 \times 10^{-2} \times 1 \times 4,76 \times 10^{-7}$$

$$R_A = 1,74 \times 10^{-8}$$

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (32)$$

$$R_B = 3,69 \times 10^{-2} \times 1 \times 9,52 \times 10^{-6}$$

$$R_B = 3,48 \times 10^{-7}$$

$$R_{Up} = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (33)$$

$$R_{Up} = (3,33 \times 10^{-2} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 4,76 \times 10^{-7}$$

$$R_{Up} = 6,58 \times 10^{-8}$$

$$R_{Ut} = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (34)$$

$$R_{Ut} = (1 \times 10^{-1} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 4,76 \times 10^{-7}$$

$$R_{Ut} = 9,76 \times 10^{-8}$$

$$R_U = 1,63 \times 10^{-7}$$

$$R_{Vp} = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (35)$$

$$R_{Vp} = (3,33 \times 10^{-2} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 9,52 \times 10^{-6}$$

$$R_{Vp} = 1,32 \times 10^{-6}$$

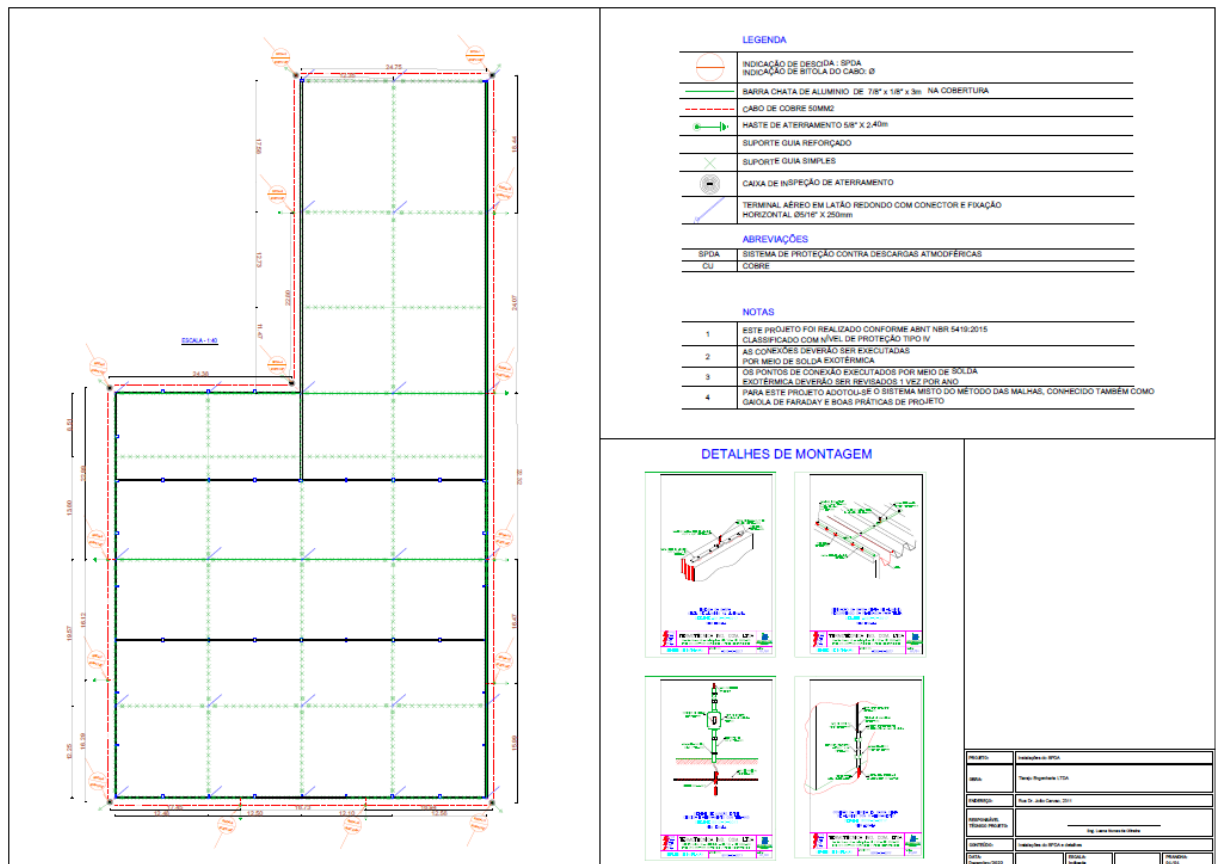
$$R_{Vt} = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (36)$$

$$R_{Vt} = (1 \times 10^{-1} + 1,05 \times 10^{-1}) \times 1 \times 9,52 \times 10^{-6}$$

$$R_{Vt} = 1,95 \times 10^{-6}$$

$$R_V = 3,27 \times 10^{-6}$$

APENDICE B – PROJETO SPDA



Para melhor visualização do projeto do SPDA e detalhes de montagem, acessar o link abaixo:

https://drive.google.com/file/d/1polg5-ND-kmr9JbODDDlsarw1fgYISMa/view?usp=share_link

APENDICE C – RELAÇÃO DE MATERIAIS NECESSÁRIOS

	Tel 771 - Barra chata em Alumínio com furos Ø 7mm - 7/8" x 1/8" x 3m (70mm ²)	337
	Tel 5321 - Parafusos para emenda de barras chatas alumínio F. Philips Ø 1/4" x 5/8"	340
	Tel 5313 - Porcas sextavadas alumínio Ø 1/4"	340
	Tel 5905 - Poliuretano (PU) bisnaga 380g	16
	Tel 5333 - Parafuso autotarrachante em aço inox Ø 4,2 x 32mm	674
	Tel 5150 - Terminal de compressão 1 furo Ø 10,5mm 1 compressão - 50mm ²	30
	Tel 778 - Curva barra chata de alumínio 90 7/8" x 1/8" x 300mm (70mm ²) - em Alumínio	37
	Tel 781 - Curva barra chata 90 Horizontal 7/8" x 1/8" x 300mm (70mm ²) - com furos	6
	Tel 541 - Caixa de inspeção em polipropileno Em PP com anti-UV e anti-chama	6
	Tel 5501 - Tel 5501 Eletroduto PVC Ø 1" x 3m (DN 32)	15
	Tel 5510 - Abraçadeira tipo colar Cor cinza em PVC Ø 1" (DN 32)	60
	Tel 5750 - Cabo de Cobre nu 50mm ² - 7 fios x Ø 3,00mm (NBR 6524)	410
	Tel 5814 - Haste tipo copperweld alta camada Ø 5/8" x 2,40m (Ø 14,3mm - efetivo)	15
	Minicaptor em latão com conector e fixação horizontal 250mm	26
	Tel 5306 - Bucha de Nylon Ø 6mm	674
	Tel 560 - Conectores de medição Em latão com 4 parafusos - para cabos de Cobre / aço cobreado 35-70mm ²	6
	Molde para solda exotérmica MHTH 5/8.50-4A	1
	Cartucho para solda exotérmica	15
	Alicate para manuseio do molde das soldas exotérmicas	1
	Dispositivo de proteção contra surto(DPS) CLAMPER Front Classe I, tensão nominal máxima 275V corrente de descarga (10µs/350µs)	4

ANEXO A – PARÂMETROS DO GERENCIAMENTO DE RISCO

Tabela A1 – Fator de localização da estrutura C_D .

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tabela A2 – Fator de instalação da linha C_I .

Roteamento	C_I
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento (ABNT NBR 5419-4:2015, 5.2).	0,01

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tabela A3 – Fator de instalação da linha C_T .

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tabela A4 – Fator ambiental da linha C_E .

Ambiente	C_E
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios mais altos que 20 m.	0,01

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tabela B1 – Valores de probabilidade P_{TA} de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choques a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas.

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tabela B2 – Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.

Características da estrutura	Classe do SPDA	P_B
Estrutura não protegida por SPDA	—	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural		0,01
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas natural		0,001

NOTA 1 Valores de P_B diferentes daqueles fornecidos na Tabela B.2 são possíveis, se baseados em uma investigação detalhada considerando os requisitos de dimensionamento e critérios de interceptação definidos na ABNT NBR 5419-1.

NOTA 2 As características do SPDA, incluindo aquelas de DPS para ligação equipotencial para descarga atmosférica, são descritas na ABNT NBR 5419-3.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tabela B3 – Valores de probabilidade P_{SPD} em função no NP para o qual os DPS foram projetados.

NP	P_{SPD}
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 2	0,005 – 0,001

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tabela B4 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tabela B5 – valor do fator K_{S3} dependendo da fiação interna.

Tipo de fiação interna	K _{S3}
Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ^a	1
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços ^b	0,2
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ^c	0,01
Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos ^d	0,000 1
^a Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m ²). ^b Condutores em laço roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10 m ²). ^c Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5 m ²). ^d Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.	

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tabela B6 – Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas.

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela B7 – Valor da probabilidade P_{EB} em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	P_{EB}
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 4	0,005 – 0,001

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tabela B8 – Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_W do equipamento.

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tabela B9 – Valores da probabilidade P_{LI} dependendo do tipo da linha e da tensão suportável do impulso U_W dos equipamentos.

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tabela B10 – Tipos de danos

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tabela C1 – Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso.

Tipo de superfície ^b	Resistência de contato $k \Omega$ ^a	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	10^{-2}
Marmore, cerâmica	$1 - 10$	10^{-3}
Cascalho, tapete, carpete	$10 - 100$	10^{-4}
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10^{-5}
^a Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm ² comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito. ^b Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável.		

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tabela C2 – Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.

Tabela C3 – Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela C4 – Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial

Tipo de perigo especial	h_z
Sem perigo especial	1
Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)	2
Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1 000 pessoas)	5
Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	5
Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes maior que 1 000 pessoas)	10

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

Tabela C5 – Tipo de perda L4: Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O .

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015.