



Universidade Federal  
de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

JOSÉ PATRÍCIO GOMES DA SILVA

AVALIAÇÃO DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS  
DAS CENTRAIS DE AULAS DA UFCG

Campina Grande, Paraíba.

Abril de 2021

JOSÉ PATRÍCIO GOMES DA SILVA

AVALIAÇÃO DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS  
DAS CENTRAIS DE AULAS DA UFCG

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenadoria de Graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande como parte  
dos requisitos necessários para a obtenção do grau de  
Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia  
Elétrica.

Área de Concentração: Eletrotécnica

Ronimack Trajano de Sousa, D.Sc.  
Orientador

Campina Grande, Paraíba.

Abril de 2021

JOSÉ PATRÍCIO GOMES DA SILVA

AVALIAÇÃO DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DAS  
CENTRAIS DE AULAS DA UFCG

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenadoria de Graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande como parte  
dos requisitos necessários para a obtenção do grau de  
Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia  
Elétrica.

Área de Concentração: Eletrotécnica

Aprovado em: 23/04/2021

Ronimack Trajano de Sousa, D.Sc.

Universidade Federal de Campina Grande

Orientador

Célio Anésio da Silva, D.Sc.

Universidade Federal de Campina Grande

Avaliador

Campina Grande, Paraíba.

Abril de 2021

Dedico este trabalho aos meus pais, Everaldo e Graça.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais, Everaldo e Graça, que jamais mediram esforços para me proporcionar todas as condições necessárias para que eu pudesse buscar o conhecimento desde criança. Sem eles, não seria possível chegar onde cheguei.

Agradeço, também, à minha Esposa, Taize, que esteve sempre ao meu lado desde antes da graduação, sendo a minha melhor amiga, ouvinte e conselheira. Agradeço por ser minha companheira em tantas madrugadas trabalhosas, por me ajudar a superar numerosos momentos de dificuldade e por me fazer acreditar em mim mesmo. Contigo, superar qualquer desafio torna-se infinitamente mais fácil.

Agradeço, ainda, ao Professor Ronimack Trajano de Sousa pela oportunidade de desenvolver esse trabalho, por se mostrar atencioso e pela valiosíssima orientação durante toda essa jornada, abrindo meus olhos para novas oportunidades e me mostrando onde posso melhorar.

Agradeço a todos os meus amigos da graduação: José Domingos, Rivanildo, Maurilio, Paulo Vitor, Elias, Ulises, Walter e Darlanny. Obrigado por todos os momentos compartilhados durante a graduação e que me trouxeram até aqui.

Por fim, agradeço aos demais professores da graduação, que me proporcionaram o aprendizado das disciplinas do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, cuja contribuição foi valiosíssima no desenvolvimento deste trabalho.

“Se avexe não, A lagarta rasteja até o dia em que cria asas.”

Accioly Neto

## RESUMO

Este trabalho aplica os conceitos e métodos referentes a Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e Medidas de Proteção contra Surtos (MPS) para a análise da necessidade de instalação do sistema em alguns blocos de salas de aula da Universidade Federal de Campina Grande.

Na abordagem do tema, será descrito desde a origem da descarga atmosférica até o sistema de captação, descida, aterramento e equipotencialização da edificação em estudo. Neste trabalho encontram-se as descrições dos três métodos usuais de proteção contra descargas atmosféricas, método do ângulo de proteção, método das malhas e método da esfera rolante.

Por fim, foi realizado um estudo de caso no bloco CAA, desde a análise do gerenciamento de riscos até o projeto de proteção contra descargas atmosféricas, bem como todos os cálculos necessários para o projeto. O método utilizado foi o método das malhas.

Palavras-chave: SPDA, MPS, descarga atmosférica, gerenciamento de risco.

## ABSTRACT

This work applies the concepts and methods related to Lightning Protection Systems (SPDA) and Surge Protection Measures (MPS) for the analysis of the need to install the system in some classroom blocks at the Federal University of Campina Grande.

In addressing the theme, it will be described from the source of the lightning discharge to the system of capture, descent, grounding and equipotentialization of the building under study. In this work we find the descriptions of the three usual methods of protection against lightning strikes, the angle of protection method, the mesh method and the rolling ball method.

Finally, a case study was carried out in the CAA block, from the risk management analysis to the lightning protection project, as well as all the necessary calculations for the project. The method used was the mesh method.

Keyword: SPDA, MPS, lightning, risk management.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
$A_D$	Área de exposição equivalente
$A_{DJ}$	Área de exposição equivalente d estrutura adjacente( $m^2$ )
$A_I$	É a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas para a terra perto da linha, expressa em metro quadrado ( $m^2$ )
$A_L$	É a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, expressa em metro quadrado ( $m^2$ ).
$C_D$	Fator de Localização da estrutura
$C_{DJ}$	É o fator de localização da estrutura adjacente
$C_E$	É o fator ambiental
$C_I$	É o fator de instalação da linha
$C_{LD}$	É um fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições da isolação da linha.
$C_T$	É o fator tipo de linha
ELAT	Grupo de Eletricidade Atmosférica
$h_z$	É um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
$L_L$	É o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m)
$L_T$	É número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico com ferimentos devido a um evento perigoso
MPS	Medidas de proteção contra surtos
$N_D$	Número de eventos perigosos para a estrutura
$N_{DJ}$	Número de eventos perigosos para uma estrutura adjacente
$N_G$	Densidade de descargas atmosféricas para a terra ( $1/km^2 \times ano$ )
$N_I$	É o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha
NL	Número de sobretensões de amplitude não inferior a 1kV (1/ano) na seção da linha
$n_t$	É o número total de pessoas na estrutura
NTU	Norma de Transmissão Unificada

$n_z$	É o número de pessoas na zona
$P_A$	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico
$P_B$	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos
$P_{EB}$	Depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas
$P_{LD}$	É a probabilidade de falha de sistemas internos devido a umas descargas atmosféricas na linha conectada dependendo das características da linha
$P_{TA}$	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choques elétricos a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas
$P_{TU}$	Depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta
$P_U$	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico..
$P_V$	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos
$r_f$	É um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura
$r_p$	É um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio
$r_t$	É um fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso
SPDA	Sistema de Proteção contra descargas atmosféricas
$t_z$	É o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:PROCEDIMENTO PARA DECISÃO DA NECESSIDADE DA PROTEÇÃO .....	21
FIGURA 2: CAPTOR FIXADO NA ESTRUTURA.....	28
FIGURA 3: FIXAÇÃO DOS CONDUTORES DE DESCIDA NA PAREDE DE ALVENARIA .....	30
FIGURA 4: DETALHE DO ANEL DE ATERRAMENTO.....	31
FIGURA 5: VOLUME DE PROTEÇÃO PROVIDO POR UM MASTRO PARA DUAS ALTURAS DIFERENTES .....	32
FIGURA 6: ÂNGULO DE PROTEÇÃO CORRESPONDENTE À CLASSE DE SPDA .....	32
FIGURA 7: ÂNGULO DE PROTEÇÃO CORRESPONDENTE À CLASSE DE SPDA .....	33
FIGURA 8: POSICIONAMENTO DOS CONDUTORES EM FUNÇÃO DA CLASSE DO SPDA.....	34
FIGURA 9: VISTAS DO BLOCO CAA. ....	35
FIGURA 10: PASSOS PARA A ANÁLISE DO GERENCIAMENTO DE RISCO.....	36
FIGURA 11: ÁREA DE EXPOSIÇÃO EQUIVALENTE AD DE UMA ESTRUTURA ISOLADA.....	38
FIGURA 12: DIMENSÕES DA ESTRUTURA.....	38
FIGURA 13: VISTA DA MALHA.....	59
FIGURA 14: LOCAIS DOS CONDUTORES DE DESCIDA.....	61
FIGURA 15:ANEL DE ATERRAMENTO .....	62
FIGURA 16: CAIXA DE EQUALIZAÇÃO DE POTENCIAL.....	63
FIGURA 17: CENTRAL DE AULAS PROF. ANTÔNIO DA SILVA MORAES .....	71
FIGURA 18: CENTRAL DE LABORATÓRIOS DO DEE.....	77

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: – COMPONENTES DE RISCO PARA DIFERENTES TIPOS DE DANOS E FONTES DE DANOS	25
TABELA 2: RELAÇÃO ENTRE NÍVEIS DE PROTEÇÃO PARA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS E CLASSE DO SPDA .....	27
TABELA 3: VALORES TÍPICOS DE DISTÂNCIA DOS CONDUTORES DE DESCIDA, DE ACORDO COM A CLASSE DE SPDA .....	29
TABELA 4: RAIOS DA ESFERA EM FUNÇÃO DA CLASSE DO SPDA.....	33
TABELA 5: MÁXIMAS DIMENSÕES DA MALHA EM RELAÇÃO A CLASSE DE PROTEÇÃO .....	34
TABELA 6: FATOR DE LOCALIZAÇÃO DA ESTRUTURA $C_D$ .....	39
TABELA 7: FATOR DO TIPO DE LINHA CT .....	40
TABELA 8: FATOR DE INSTALAÇÃO DA LINHA $C_I$ .....	41
TABELA 9: FATOR AMBIENTE DA LINHA $C_E$ .....	41
TABELA 10: VALORES DE PROBABILIDADES $P_{TA}$ DE UMA DESCARGA ATMOSFÉRICAS EM UMA ESTRUTURA CAUSAR CHOQUE A SERES VIVOS DEVIDO A TENSÕES DE TOQUE E DE PASSO PERIGOSAS.....	42
TABELA 11: VALORES DE PROBABILIDADES $P_B$ DEPENDENDO DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO PARA REDUZIR DANOS FÍSICOS .....	43
TABELA 12: VALORES DE PROBABILIDADES $P_B$ DEPENDENDO DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO PARA REDUZIR DANOS FÍSICOS .....	44
TABELA 13: VALORES DE PROBABILIDADES $P_{EB}$ EM FUNÇÃO DO $N_P$ PARA QUAL OS DPS FORAM PROJETADOS .....	44
TABELA 14: VALORES DE PROBABILIDADES $P_{LD}$ DEPENDENDO DA RESISTÊNCIA $R_S$ DA BLINDAGEM DO CABO E DA TENSÃO SUPORTÁVEL DE IMPULSO DO EQUIPAMENTO .....	45
TABELA 15: VALORES DOS FATORES $C_{LD}$ E $C_{LI}$ DEPENDENDO DAS CONDIÇÕES DE BLINDAGEM ATERRAMENTO E ISOLAMENTO .....	45
TABELA 16: TIPO DE PERDA $L_1$ : VALORES DE PERDAS PARA CADA ZONA.....	46
TABELA 17: TIPO DE PERDA $L_1$ : VALORES TÍPICOS DE $L_T$ , $L_F$ E $L_O$ .....	47
TABELA 18: FATOR DE REDUÇÃO $R_T$ EM FUNÇÃO DO TIPO DA SUPERFÍCIE DO SOLO OU PISO .....	47
TABELA 19: FATOR DE REDUÇÃO $R_P$ EM FUNÇÃO DAS PROVIDÊNCIAS TOMADAS PARA REDUZIR AS CONSEQUÊNCIAS DE UM INCÊNDIO.....	48
TABELA 20: FATOR DE REDUÇÃO $R_T$ EM FUNÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO OU EXPLOÇÃO NA ESTRUTURA .....	48

TABELA 21: FATOR HZ AUMENTANDO A QUANTIDADE RELATIVA DE PERDA NA PRESENÇA DE UM PERIGO ESPECIAL .....	49
TABELA 22: EDIFICAÇÃO: CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA E DO MEIO AMBIENTE .....	54
TABELA 23: EVENTOS PERIGOSOS E PROBABILIDADES .....	54
TABELA 24: EDIFICAÇÃO: LINHA DE ENERGIA .....	55
TABELA 25: EDIFICAÇÃO: LINHA DE SINAL .....	56
TABELA 26: PARÂMETROS DAS PERDAS.....	57
TABELA 27: RISCOS ASSOCIADOS .....	57
TABELA 28: EDIFICAÇÃO: CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA E DO MEIO AMBIENTE .....	72
TABELA 29: EVENTOS PERIGOSOS E PROBABILIDADES .....	72
TABELA 30: EDIFICAÇÃO: LINHA DE ENERGIA .....	73
TABELA 31: EDIFICAÇÃO: LINHA DE SINAL .....	74
TABELA 32: PARÂMETROS DAS PERDAS.....	74
TABELA 33: RISCOS ASSOCIADOS .....	75
TABELA 34: EDIFICAÇÃO: CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA E DO MEIO AMBIENTE .....	77
TABELA 35: EVENTOS PERIGOSOS E PROBABILIDADES.....	78
TABELA 36: EDIFICAÇÃO: LINHA DE ENERGIA .....	79
TABELA 37: EDIFICAÇÃO: LINHA DE SINAL .....	79
TABELA 38: PARÂMETROS DAS PERDAS.....	80
TABELA 39: RISCOS ASSOCIADOS .....	81

## SÚMARIO

1	INTRODUÇÃO .....	16
1.1	MOTIVAÇÃO .....	17
1.2	OBJETIVOS .....	17
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO .....	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	19
2.1	ORIGEM DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS .....	19
2.2	INCIDÊNCIA DE RAIOS NO BRASIL .....	19
2.3	INCIDÊNCIA DE RAIOS NA PARAÍBA .....	20
2.4	ÍNDICE CERÁUNICO.....	21
2.5	AVALIAÇÃO DA NECESSIDADE DE PROTEÇÃO .....	21
2.6	GERENCIAMENTO DE RISCO E INTERPRETAÇÃO DOS TERMOS USADOS PARA A ANÁLISE.....	22
2.6.1	Fontes dos danos.....	22
2.6.2	Tipos dos danos .....	22
2.6.3	Tipos de perdas.....	23
2.6.4	Definição dos riscos .....	23
2.6.5	Composição dos componentes dos riscos.....	24
2.7	SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA) 27	
2.7.1	Subsistema de captação .....	28
2.7.2	Subsistema de descida e anéis de equipotencialização.....	28
2.7.3	Subsistema de aterramento .....	30
2.7.4	Métodos de proteção.....	31
3	ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO GERENCIAMENTO DE RISCO DO BLOCO CAA DA UFCG.....	35
3.1	GERENCIAMENTO DE RISCO.....	35
4	CÁLCULO DOS PARÂMETROS DO SPDA .....	59
4.1	MÉTODO DE PROTEÇÃO .....	59
4.2	NÚMERO DE CONDUTORES DE DESCIDA - $N_{CD}$ .....	60
4.3	DIMENSIONAMENTO DO SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO DO SPDA	62
4.4	SEÇÃO MINIMA DOS CONDUTORES .....	63
4.5	DIMENSIONAMENTO E INSTALAÇÃO DOS DPS.....	64

5	CONCLUSÕES.....	66
6	REFERÊNCIAS.....	67
7	ANEXOS.....	68
7.1	LISTA DE MATERIAL.....	68
7.2	LAUDO TÉCNICO SPDA DA EDIFICAÇÃO CENTRAL DE AULAS PROFESSOR ANTÔNIO DA SILVA MORAIS.....	71
7.3	LAUDO TÉCNICO SPDA DO EDIFÍCIO ANDELSON MASCARENHAS DE O. PINTO – CENTRAL DE LABORATÓRIOS DO DEE.....	77

## 1 INTRODUÇÃO

A formação de cargas nas nuvens, e conseqüentemente sua descarga na terra, é um fenômeno normal e natural que em muitos casos, causa prejuízos e mortes. Há milhares de anos os raios são observados e estudados, porém poucos progressos foram obtidos a respeito do fenômeno, existindo ainda muitas dúvidas (KINDERMAN, 1997).

Descargas atmosféricas são descargas elétricas de grande extensão (alguns quilômetros) e de grande intensidade (picos de intensidade de corrente acima de um quiloampere), que ocorrem devido ao acúmulo de cargas elétricas em regiões localizadas na atmosfera, em geral, em tempestades. A descarga inicia quando o campo elétrico produzido por estas cargas excede a capacidade isolante, também conhecida como rigidez dielétrica do ar em um dado local na atmosfera, que pode ser na nuvem ou próximo ao solo. Quebrada a rigidez, tem início um rápido movimento de elétrons de uma região de cargas negativas para uma região de cargas positivas. Existem diversos tipos de descargas, classificadas em função do local onde se originam e do local onde terminam (INPE, 2020).

Descargas atmosféricas podem ocorrer da nuvem para o solo, do solo para a nuvem, dentro da nuvem, da nuvem para um ponto qualquer na atmosfera, denominadas descargas no ar, ou ainda entre nuvens (INPE, 2020).

Estudos são realizados diariamente para se descobrir a natureza elétrica das descargas atmosféricas e assim obter parâmetros confiáveis de proteção para estruturas, propriedades, equipamentos, objetos e principalmente para as pessoas. Mas, como existe muita informação desconhecida sobre as descargas atmosféricas, ainda não há um sistema que possibilite uma proteção completa.

Um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) tem por objetivo básico evitar a incidência direta de raios na estrutura a ser protegida, através da constituição de pontos preferenciais de incidência para as descargas que eventualmente atingiriam a estrutura na ausência do sistema. Para isso, além de captar a eventual descarga atmosférica, o SPDA deve ser capaz de direcionar o fluxo da corrente associada diretamente para o solo, segundo percursos definidos, constituído pelos condutores do sistema de proteção (VISACRO FILHO, 2005).



## 1.1 MOTIVAÇÃO

O Brasil é o país onde existe a maior incidência de raios em todo o mundo. Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Estima-se que as descargas atmosféricas causem ao Brasil, prejuízos anuais de cerca de um bilhão de reais. Esta é a conclusão do Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que realizou um estudo junto às empresas do setor elétrico, telecomunicações, seguros de equipamentos eletroeletrônicos, construção civil, aviação, agricultura, pecuária, entre outras. O maior prejudicado é o setor elétrico, com queima de aparelhos, perda de faturamento, aumento das despesas de manutenção e penalizações.

Portanto, visando adequar as edificações da UFCG a possíveis descargas atmosféricas, buscando a redução de danos aos equipamentos e também a segurança humana, são os principais motivadores desse trabalho.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso é avaliar o Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) dos prédios de central de aulas da UFCG se têm tal sistema, e elaborar o projeto de um SPDA em um prédio que ainda não tenha o sistema, fazendo o gerenciamento de risco para observar a necessidade e qual tipo de sistema deve ser implantado, bem como a descrição de todos os elementos necessários na construção do mesmo.

Para atingir o objetivo geral, esse trabalho possui os seguintes objetivos específicos:

- Observar se tem ou não SPDA em alguns dos prédios das centrais de aulas da UFCG;
- Se o prédio tiver SPDA, faremos uma avaliação do SPDA e emitiremos um laudo técnico;
- Se o prédio não tiver SPDA, faremos o gerenciamento de risco do mesmo;
- Fazer a escolha de um prédio dentre os analisados e fazer todo o projeto SPDA e MPS de acordo com as normas;

Utilizando a análise de gerenciamento de risco em SPDA será possível verificar a situação do sistema existente, caso exista. Se este atende os requisitos mínimos exigidos e se as condições das instalações estão satisfatórias.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Este trabalho está organizado em sete capítulos, descritos a seguir.

No Capítulo 2 será realizado o embasamento teórico a respeito de descargas elétricas com enfoque em dados no Brasil em especial no estado da Paraíba.

No Capítulo 3 será apresentada a análise de risco para o projeto SPDA do bloco da central de aulas da UFCG (Bloco CAA), para a escolha correta do projeto de SPDA.

No Capítulo 4 serão apresentados o desenvolvimento do projeto em conformidade com a análise de risco do capítulo anterior.

No Capítulo 5 serão apresentados as conclusões dos resultados obtidos dos prédios analisados, em conformidade de acordo com as normas vigentes.

No Capítulo 6 serão apresentadas as referências bibliográficas.

E por fim no capítulo 7, serão apresentados os anexos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo estão apresentados os principais conceitos necessários para o entendimento sobre descargas atmosféricas, além do que é, como funciona e quais dispositivos constituem um SPDA e o porquê da necessidade de se instalar um sistema de SPDA.

### 2.1 ORIGEM DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

KINDERMAN (1997) diz que a nuvem carregada induz no solo cargas positivas, que ocupam uma área correspondente ao tamanho da nuvem. Como a nuvem é arrastada pelo vento, a região de cargas positivas no solo acompanha o deslocamento da mesma, formando praticamente uma sombra de cargas positivas que segue a nuvem. Neste deslocamento, as cargas positivas induzidas no solo vão se distribuindo em árvores, pessoas, pontes, edifícios, para-raios, morros, etc, ou seja, o solo sob a nuvem fica com carga positiva entre a nuvem e a terra formando diferenças de potenciais. Nota-se que para a descarga se efetuar não é necessário que o campo elétrico seja superior à rigidez dielétrica de toda a camada de ar entre a nuvem e o solo, bastando para isso, um campo elétrico bem menor. Isto é explicado pelo fato do ar entre a nuvem e a terra não ser homogêneo, pois contém grande quantidade de impurezas, umidade e ar ionizado, que estão em constante agitação. Com isto, o ar entre a nuvem e a terra fica com baixa resistência, e um campo elétrico menor já é suficiente para que o raio consiga perfurar o ar e descarregar na terra, isso ocorre em frações de micro-segundos.

Segundo KINDERMAN (1997) a maioria dos raios ocorre entre nuvens, formando descargas paralelas à superfície do solo. Isto se dá durante uma tempestade, onde nuvens se aproximam a uma distância tal que a rigidez do ar é quebrada pelo alto gradiente de tensão, com a conseqüente formação do raio, ocorrendo à neutralização das nuvens.

### 2.2 INCIDÊNCIA DE RAIOS NO BRASIL

Segundo o grupo de eletricidade atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no Brasil, caem cerca de 77,8 milhões de raios por ano e a explicação é geográfica: é o maior país da zona tropical do planeta, área central onde o clima é mais quente e, portanto, mais favorável à formação de tempestades e de raios, houve um aumento bastante significativo em comparação com a última década no qual caíram em média 57 milhões de raios

por ano.

Segundo o INPE, por ano no Brasil, cerca de 300 pessoas são atingidas por raios no ano, com uma taxa de mortalidade média de 33%. O mesmo ainda afirma que 80% das mortes podem ser evitadas desde que adote medidas de proteção.

Segundo o INPE o estado com maior densidade de raios (quantidade de raios por quilômetro quadrado por ano) é o Tocantins, com 17,1 raios por quilômetro quadrado. Na sequência aparecem Amazonas (15,8), Acre (15,8), Maranhão (13,3), Pará (12,4), Rondônia (11,4), Mato Grosso (11,1), Roraima (7,9), Piauí (7,7) e São Paulo (5,2).

Já o ranking das cinco primeiras capitais com maior densidade de raios por quilômetro quadrado por ano é: Rio Branco (30,13) Palmas (19,21), Manaus (18,93), São Luís (15,12), Belém (14,47) e São Paulo (13,26).

### 2.3 INCIDÊNCIA DE RAIOS NA PARAÍBA

A Paraíba tem o sexto menor índice de incidência de raios por quilômetro quadrado ( $\text{km}^2$ ) do Brasil. De acordo com levantamento do Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT), ligado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) feitos em 2017, à cidade que mais tem incidência de raios no estado é Bom Jesus, no Sertão, com a média de 6,61 descargas por  $\text{km}^2$  por ano.

As cinco cidades com mais raios por quilômetro quadrado no estado, além de Bom Jesus, são:

- São Domingos de Pombal – 4,72 raios/ $\text{km}^2$ ;
- Santa Helena – 4,64 raios/ $\text{km}^2$ ;
- Carrapateira – 4,31 raios/ $\text{km}^2$ ;
- São José da Lagoa Tapada – 4,15 raios/ $\text{km}^2$ ;
- São Francisco – 3,84 raios/ $\text{km}^2$ .

Todas as cidades que figuram entre as cinco com maior incidência de raios na Paraíba ficam no Sertão do estado.

De acordo com o ELAT, Campina Grande tem densidade de descargas de 0,2621 por  $\text{km}^2$ /ano onde a mesma ocupa a posição 5311º no ranking de densidade nacional e a posição 184º no ranking de densidade estadual, já a capital João Pessoa tem densidade de 0,1749 por  $\text{km}^2$ /ano onde a mesma ocupa a posição 5421º no ranking de densidade nacional e a posição

199º no ranking de densidade estadual.

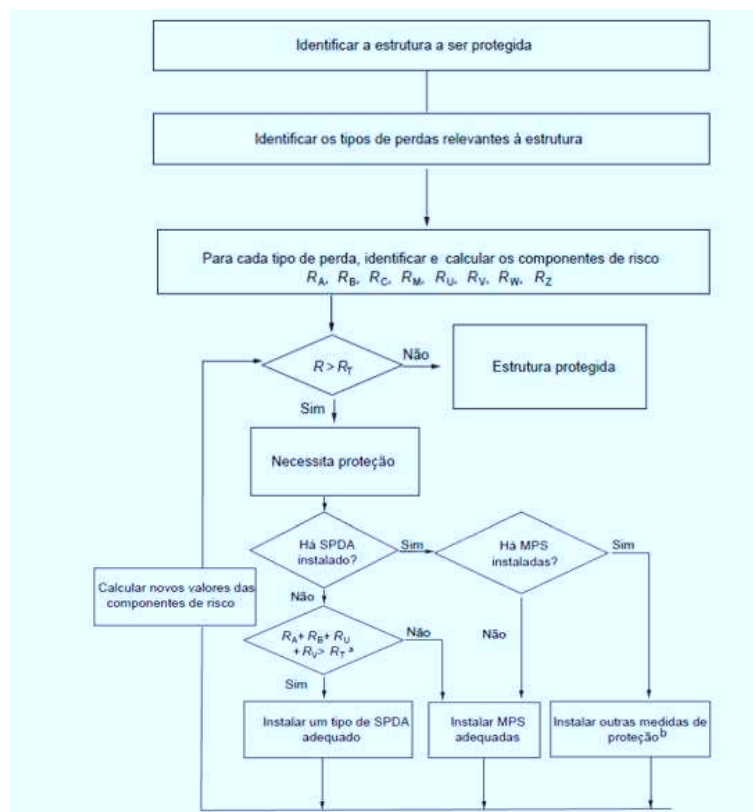
## 2.4 ÍNDICE CERÁUNICO

De acordo com KINDERMAN (1997), índice Ceráunico (IC) é um parâmetro que indica o número de dias de trovoadas por ano em uma determinada localidade, este dado é mais realista quando se tem registro de muitos anos.

## 2.5 AVALIAÇÃO DA NECESSIDADE DE PROTEÇÃO

O procedimento para avaliar a necessidade do projeto PDA (SPDA + MPS) é mostrado na figura 1. Pode ser útil avaliar algumas variações da combinação das medidas de proteção para achar a solução ótima em relação à eficiência do custo.

Figura 1: Procedimento para decisão da necessidade da proteção



Fonte: NBR 5419-2

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

## 2.6 GERENCIAMENTO DE RISCO E INTERPRETAÇÃO DOS TERMOS USADOS PARA A ANÁLISE.

Uma vez identificada a estrutura e seu conteúdo, é necessária uma análise da situação para classificar todos os tipos de danos, perdas e riscos da edificação a ser protegida. O Gerenciamento de Risco, estabelece alguns quesitos para verificar a necessidade ou não do projeto PDA (SPDA + MPS). Nestas relações, é importante saber quais componentes serão ponderados e quais os impactos que eles vão representar. A partir da avaliação do risco para cada perda, é possível definir a necessidade de proteção sempre que o valor individual de cada risco for superior ao tolerável.

Alguns parâmetros importantes na análise do gerenciamento de risco são: Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas. Já que os mesmos estão ligados diretamente aos riscos, dessa forma a seguir serão apresentados os principais conceitos necessários para o entendimento.

### 2.6.1 Fontes dos danos

A corrente da descarga atmosférica é a principal fonte de dano. As seguintes fontes são distintas pelo ponto de impacto como:

- S<sub>1</sub>: Descargas atmosféricas na estrutura;
- S<sub>2</sub>: Descargas atmosféricas perto da estrutura;
- S<sub>3</sub>: Descargas atmosféricas na linha;
- S<sub>4</sub>: Descargas atmosféricas perto da linha.

### 2.6.2 Tipos dos danos

Depende do tipo da construção, conteúdos e aplicação, tipo da instalação de serviço e medidas de proteção adotadas. Eles são os seguintes:

- D<sub>1</sub>: Ferimentos aos seres vivos por choque elétrico;
- D<sub>2</sub>: Danos físicos;
- D<sub>3</sub>: Falhas de sistemas eletroeletrônicos.

Os danos a uma estrutura devido às descargas atmosféricas podem ser limitados a uma parte da estrutura ou pode se estender a estrutura inteira.

### 2.6.3 Tipos de perdas

Cada tipo de dano, sozinho ou em combinação com outros, pode produzir diferentes perdas consequentes em uma estrutura a ser protegida. O tipo de perda pode acontecer dependendo das características da própria estrutura e do seu conteúdo. Os seguintes tipos de perdas devem ser levados em consideração:

- L<sub>1</sub>: Perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- L<sub>2</sub>: Perda de serviço ao público;
- L<sub>3</sub>: Perda de patrimônio cultural;
- L<sub>4</sub>: Perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades).

### 2.6.4 Definição dos riscos

O risco é o valor de uma provável perda média anual (vida e bens) devido às descargas atmosféricas, em relação ao valor total (vida e bens) do objeto a ser protegido, os riscos a serem avaliados em uma estrutura devem ser como a seguir:

- R<sub>1</sub>: Risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- R<sub>2</sub>: Risco de perda de serviço ao público;
- R<sub>3</sub>: Risco de perda de patrimônio cultural;
- R<sub>4</sub>: Risco de perda de valores econômicos;
- R<sub>A</sub>: Componente devido a tensões de passo e de toque em distâncias até 3 m do lado de fora da estrutura: L<sub>1</sub> para seres humanos e L<sub>4</sub> para o caso de estrutura com animais;
- R<sub>B</sub>: Componente relacionado com os danos físicos causados por centelhamentos que iniciam explosões. Podem ocorrer todos os tipos de perdas: L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> e L<sub>4</sub>;
- R<sub>C</sub>: Componente devido à falha de sistemas internos causados por LEMPs (pulsos eletromagnéticos devido aos raios). Podem ocorrer perdas L<sub>2</sub> e L<sub>4</sub> em todos os casos e L<sub>1</sub> quando há risco de explosões, ou em hospitais e estruturas com riscos análogos;
- R<sub>M</sub>: Falha de sistemas internos causada por LEMP (descargas perto da estrutura);
- R<sub>U</sub>: Relacionado a ferimentos por tensão de toque e passo dentro da estrutura;
- R<sub>V</sub>: Danos físicos por incêndio ou explosão devido a centelhamento;
- R<sub>W</sub>: Falhas de sistemas internos por sobretensões induzidas nas linhas que adentram a estrutura (descarga na linha);
- R<sub>Z</sub>: Idêntico a R<sub>W</sub>, porém em estrutura com risco de explosão, hospitais e outras com riscos de vida por falha de sistemas internos (descarga perto da linha).

### 2.6.5 Composição dos componentes dos riscos

Os componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda na estrutura são listados a seguir:

- $R_1$ : Risco de perda de vida humana é dado pela equação 1:

$$R_1 = R_A + R_B + R_C^* + R_M^* + R_U + R_V + R_W^* + R_Z^* \quad (1)$$

\* 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.

- $R_2$ : Risco de perdas de serviço ao público é dado pela equação 2:

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \quad (2)$$

- $R_3$ : Risco de perdas de patrimônio cultural é dado pela equação 3:

$$R_3 = R_B + R_V \quad (3)$$

- $R_4$ : Risco de perdas de valor econômico é dado pela equação 4:

$$R_4 = R_A^* + R_B + R_C + R_M + R_U^* + R_V + R_W + R_Z \quad (4)$$

\* Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

- $R_X$ : Equação geral onde relaciona todos os riscos é dado pela equação 5.

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

- $N_X$ : É o número de eventos perigosos por ano;
- $P_X$ : É a probabilidade de dano à estrutura;
- $L_X$ : É a perda consequente.

O número  $N_X$  de eventos perigosos é afetado pela densidade de descargas atmosféricas para a terra (NG) 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 o 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 na Tabela 1 de acordo com os tipos diferentes de danos e diferentes fontes de danos.

Tabela 1: – Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fontes de danos

Danos	Fontes de danos			
	S <sub>1</sub> Descargas atmosféricas na estrutura	S <sub>2</sub> Descargas atmosféricas perto da estrutura	S <sub>3</sub> descargas atmosféricas na linha conectada	S <sub>4</sub> Descarga atmosférica perto da linha conectada
<b>D<sub>1</sub></b> <b>Ferimento a seres vivos devido a choque elétrico</b>	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$		$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$	
<b>D<sub>2</sub></b> <b>Danos físicos</b>	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$		$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$	
<b>D<sub>3</sub></b> <b>Falha de sistemas eletroeletrônicos</b>	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

Fonte: NBR 5419-2

Onde:

$N_D$ : Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura;

$N_M$ : Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma estrutura;

- $N_I$ : Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma linha;

- $N_L$ : Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas a uma linha;
- $N_{DJ}$ : Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente;
- $P_A$ : Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura);
- $P_B$ : Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura);
- $P_C$ : Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura);
- $P_M$ : Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha conectada);
- $P_U$ : Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas perto da linha conectada);
- $P_V$ : Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas perto da linha conectada);
- $P_W$ : Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha conectada);
- $P_Z$ : Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha conectada);
- $L_A$ : Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura);
- $L_B$ : Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura);
- $L_C$ : Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura);
- $L_M$ : Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura);
- $L_U$ : Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha);
- $L_V$ : Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha);
- $L_W$ : Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha);
- $L_Z$ : Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha).

## 2.7 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA)

Antes de iniciar um projeto de PDA é preciso avaliar os riscos presentes na estrutura, bem como as medidas a serem adotadas que definirão um sistema compatível à necessidade da estrutura, analisando qual o impacto técnico e financeiro na adoção dessas medidas de proteção contra descargas atmosféricas, as quais devem reduzir ou mesmo eliminar as perdas relevantes à estrutura (NTU 014).

O gerenciamento de risco é o método usado para avaliar se uma determinada estrutura tem necessidade da instalação de um PDA, onde nesta avaliação há vários parâmetros importantes, desde danos à estrutura até danos a vida humana.

A ABNT NBR 5419-3 apresenta quatro classes de SPDA (I a IV) no qual correspondem aos níveis de proteção para descargas atmosféricas, onde para cada classe existem parâmetros específicos para a realização do dimensionamento do SPDA desde a captação até o aterramento, a tabela 2 apresenta as classes de SPDA (I a IV) definidas na NBR 5419-3.

Tabela 2: Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe do SPDA.

<b>Nível de proteção</b>	<b>Classe do SPDA</b>
<b>I</b>	<b>I</b>
<b>II</b>	<b>II</b>
<b>III</b>	<b>III</b>
<b>IV</b>	<b>IV</b>

Fonte: NBR 5419-3

Um sistema SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas), é o conjunto destinado a proteger a edificação contra descargas atmosféricas, de forma geral, são constituídos de três subsistemas bem definidos que estão interligados, são eles:

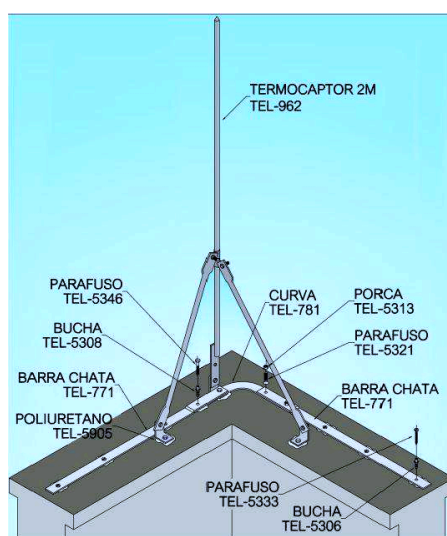
- Subsistema de captação;
- Subsistema de descidas e anéis de equipotencialização;
- Subsistemas de aterramento.

### 2.7.1 Subsistema de captação

É a parte do SPDA externo e que geralmente ocupa o local mais alto da edificação, onde o mesmo utiliza elementos metálicos, que são projetados para receber as descargas atmosféricas.

O correto posicionamento dos elementos captadores e do subsistema de captação é que determina o volume de proteção, um modelo de captor fixado na estrutura, pode ser visto na Figura 2.

Figura 2: Captor fixado na estrutura.



Fonte: Google imagens

A ABNT NBR 5419-3 estabelece que 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.

### 2.7.2 Subsistema de descida e anéis de equipotencialização

Os condutores de descidas são elementos expostos ou não, que permitem a continuidade elétrica entre os captadores e o sistema de aterramento. Ele deve passar por toda a edificação de um modo seguro para que não cause efeitos secundários perigosos como centelhamento lateral

e indução de corrente em condutores próximos. Sendo assim, eles devem estar dispostos de modo que a corrente percorra diversos condutores em paralelos e seu comprimento deve ser o menor possível (NBR 5419-3).

O subsistema de descida é parte de um SPDA projetado para conduzir a corrente da descarga atmosférica desde o subsistema de captação até o subsistema de aterramento. Para que um SPDA funcione adequadamente, reduzir a probabilidade de danos devido à corrente da descarga atmosférica fluindo pelo SPDA (NTU 014).

A NBR 5419 prevê que devem ser instalados anéis de equipotencialização ao redor de uma edificação, dependendo de sua altura. Para dividir as correntes de descargas entre as diversas decidas.

Para cada SPDA não isolado, o número de condutores de descida não pode ser inferior a dois, 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). Valores das distâncias entre os condutores de descida são dados na Tabela 3.

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

<b>Classe de Proteção</b>	<b>Distância (m)</b>
I	10
II	10
III	15
IV	20

Fonte: NBR 5419

A NBR 5419-3 cita que essas distâncias podem variar 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.

O número de condutores de descida de um SPDA externo é dado pela Equação 6.

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

Sendo:

$N_{CD}$  - Número de condutores de descida;

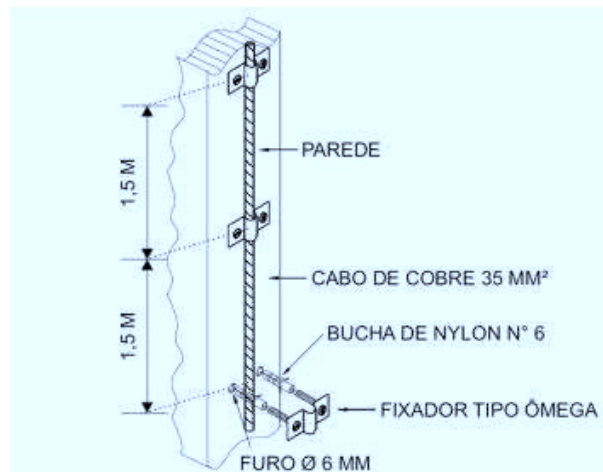
$P_{ED}$  - Perímetro da edificação em metros;

$D_{CD}$  - Distância entre os condutores de descida, que depende da classe do SPDA conforme apresentado na Tabela 3.

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

Abaixo na figura 3 pode-se observar a fixação em parede de alvenaria.

Figura 3: Fixação dos condutores de descida na parede de alvenaria



Fonte: NTU 014

Ao longo do anel, os condutores devem ser fixados a cada 1 metro.

### 2.7.3 Subsistema de aterramento

São condutores enterrados no solo ou embutidos nas fundações das edificações responsáveis por dissipar a corrente da descarga atmosférica no solo.

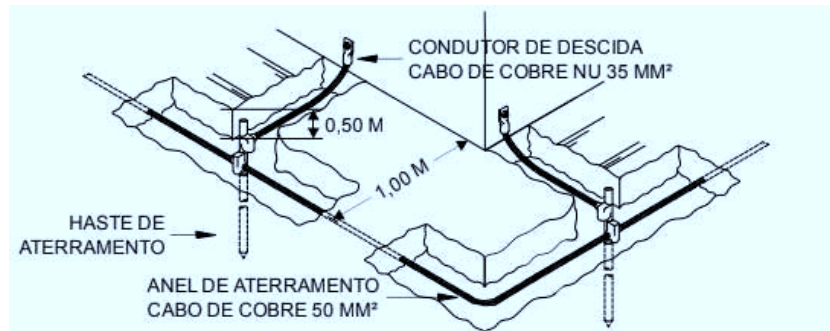
Para proporcionar uma melhor dispersão da corrente da descarga atmosférica (comportamento em alta frequência) para a terra, deve-se obter a menor resistência de aterramento possível, compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo no local (NTU 014).

Essas hastes devem estar a uma distância mínima de 1 metro da fundação da edificação e enterrada a uma profundidade de no mínimo 0,5 m, como mostrado na figura 4, e também deve

respeitar um afastamento mínimo entre elas igual ao comprimento da própria haste para reduzir o efeito de indutância mútua.

Deve ter uma malha de aterramento enterrada no solo para a conexão com os cabos de descida do sistema de SPDA.

Figura 4: Detalhe do anel de aterramento



Fonte: NTU 014

#### 2.7.4 Métodos de proteção

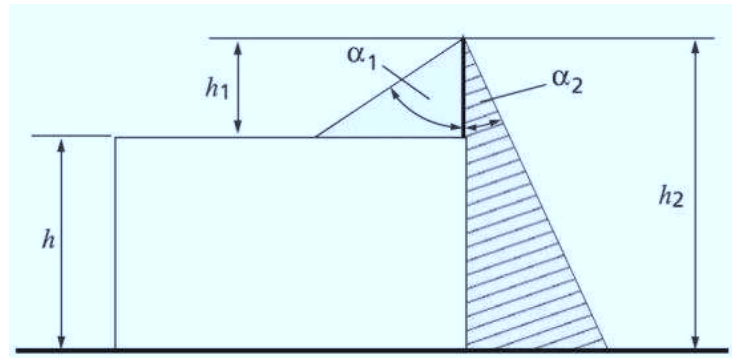
Para a determinação do local exato dos captores a norma ABNT NBR 5419 adota 3 métodos, onde a localização dos captores irá variar de acordo com o método escolhido, os métodos definidos pela norma são:

- Método do ângulo de proteção;
- Método da esfera rolante;
- Método das malhas.

##### 2.7.4.1 Método do ângulo de proteção

Nesse método o volume de proteção é determinado de acordo com a altura do captor e o nível de proteção do SPDA escolhido, o volume de proteção é parecido com um cone cuja parte superior é a ponta do captor, a figura 5 mostra a vista vertical, porém, na verdade, a proteção é mais coerente em uma vista em 3D.

Figura 5: Volume de proteção provido por um mastro para duas alturas diferentes

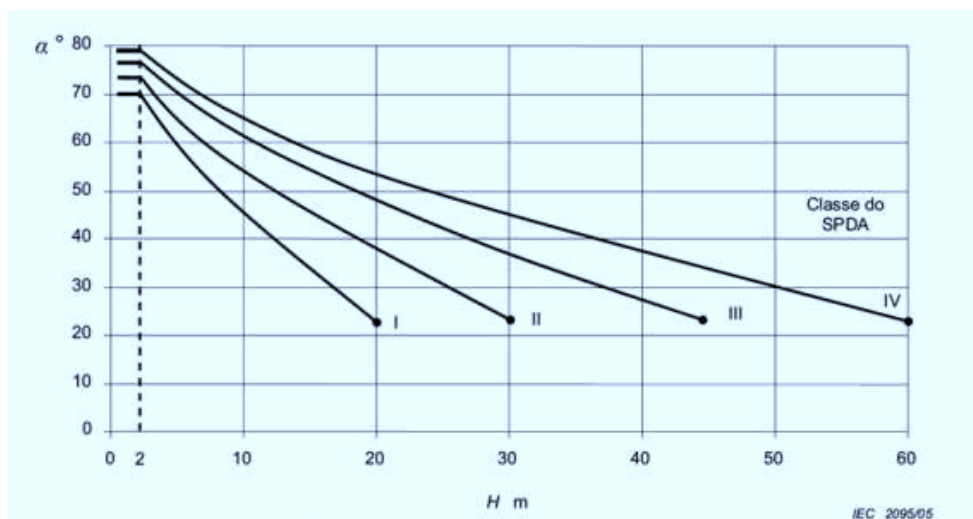


Fonte: NTU 014

Dependendo do plano de referência pode haver mais de um ângulo como pode ser visto na figura acima, onde o ângulo  $\alpha_1$  toma como base o topo da edificação e o ângulo  $\alpha_2$  toma como base o solo.

Na Figura 6 é apresentado o gráfico para determinação do ângulo ( $\alpha$ ), em que H representa a altura da ponta do captor ao plano de referência da área a ser protegida.

Figura 6: Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA



Fonte: NTU 014

#### 2.7.4.2 Método da esfera rolante ou método eletro geométrico.

Nesse método a área de proteção é calculada em função de uma esfera fictícia, cujo raio



da esfera é definido em função da classe de proteção do SPDA. Podemos observar o raio da esfera em função da classe do SPDA na tabela 4.

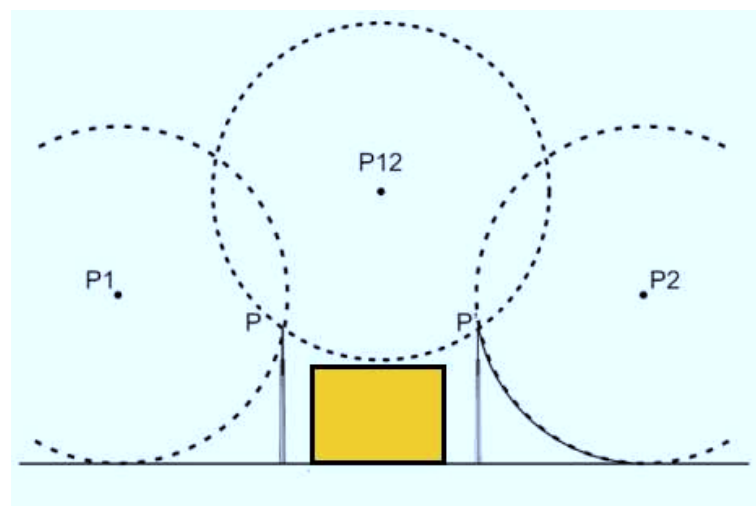
Tabela 4: Raio da esfera em função da classe do SPDA

<b>Classe de Proteção</b>	<b>Raio da esfera (m)</b>
<b>I</b>	20
<b>II</b>	30
<b>III</b>	45
<b>IV</b>	60

Fonte: NTU 014

Nesse método supõe-se que uma esfera rolante foi solta ao redor da edificação e que não pode tocar na estrutura, devendo ser tocado sempre em um captor ao se aproximar da estrutura, podemos observar melhor na Figura 7, a estrutura é o bloco, e P são as pontas dos captores..

Figura 7: Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA



Fonte: NTU 014 (Adaptado)

#### 2.7.4.3 Método das malhas

O método das malhas consiste em instalar um sistema de captores formado por condutores horizontais interligados em forma de malha. A malha de captação tem as dimensões definidas

em função da classe de proteção (NBR 5419). Os valores apresentados na Tabela 5 se referem aos valores máximos permitidos, podendo ser reduzidos em função das dimensões ou características da edificação.

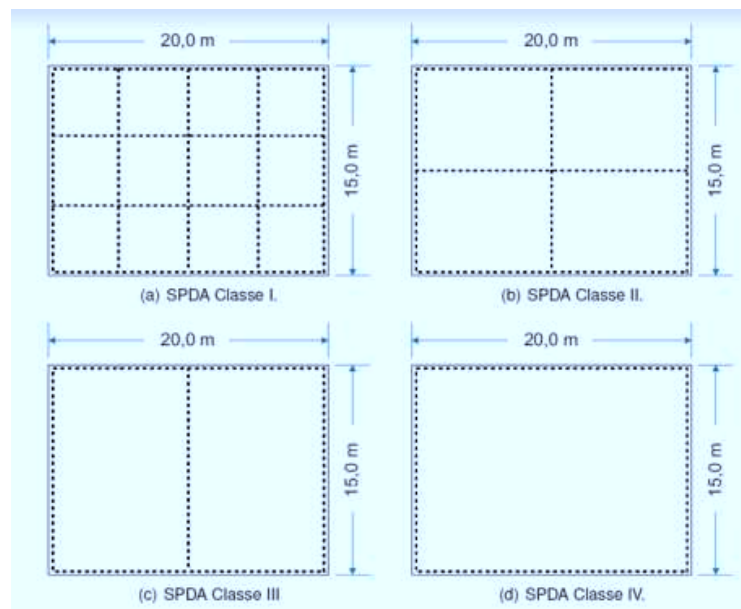
Tabela 5: Máximas dimensões da malha em relação a classe de proteção

Classe de Proteção	Máximas dimensões da malha (m)
I	5 x 5
II	10 x 10
III	15 x 15
IV	20 x 20

Fonte: NBR 5419-3

A figura 8 ilustra o método das malhas para diferentes classes de SPDA, para uma edificação cuja cobertura apresenta as dimensões de 20 x 15 m.

Figura 8: Posicionamento dos condutores em função da Classe do SPDA.

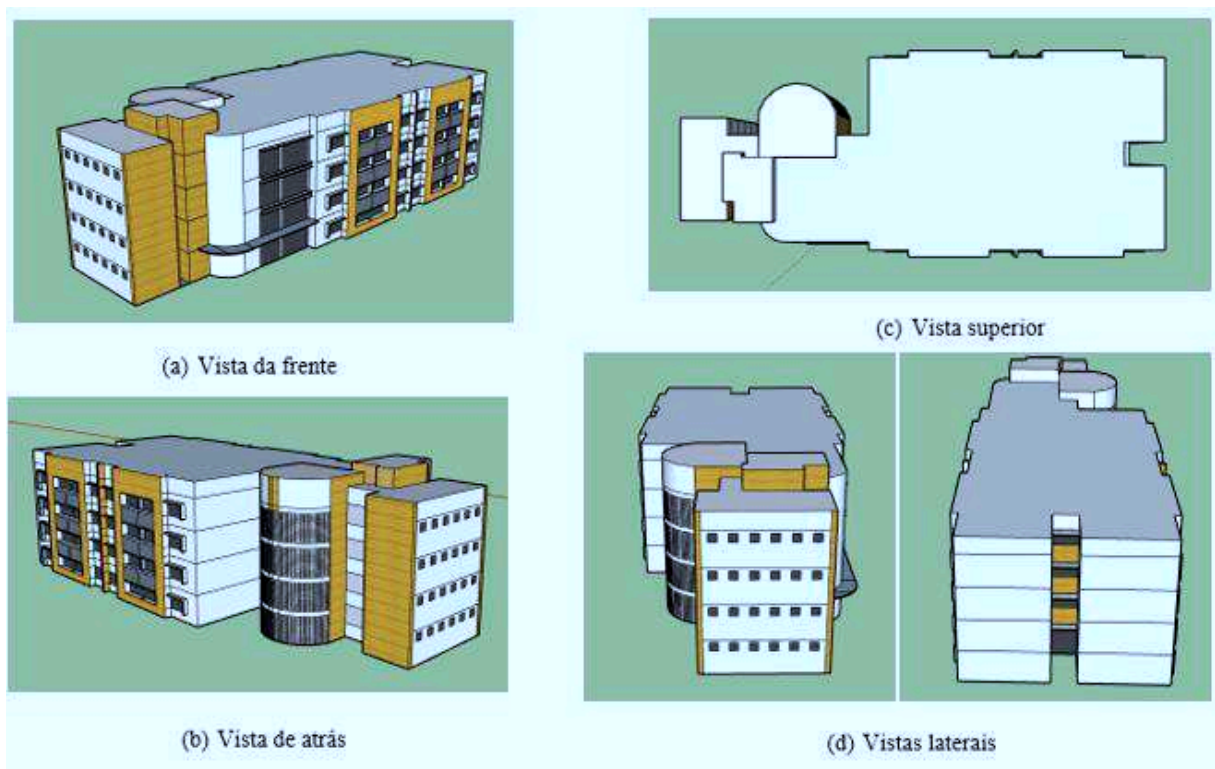


Fonte: NTU 014

### 3 ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO GERENCIAMENTO DE RISCO DO BLOCO CAA DA UFCG

O local escolhido para o estudo de caso foi a central de aulas (Bloco CAA) que fica localizado logo a frente da biblioteca principal da universidade, a ilustração do mesmo pode ser observado pela figura 9.

Figura 9: Vistas do bloco CAA.

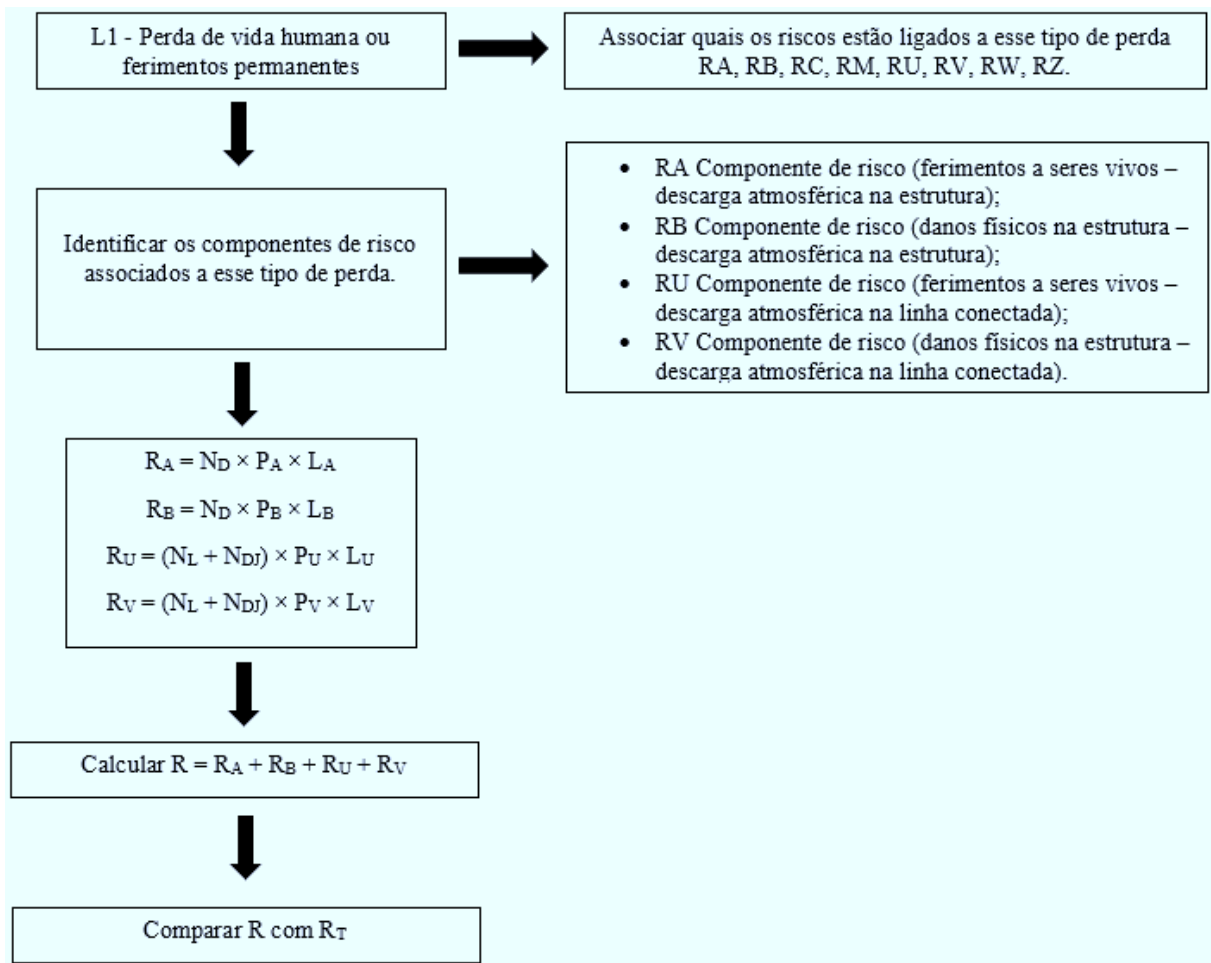


Fonte: Autoria própria

#### 3.1 GERENCIAMENTO DE RISCO

Para a análise do gerenciamento de risco, deve-se seguir os passos do fluxograma da figura 10.

Figura 10: Passos para a análise do gerenciamento de risco.



Fonte: Autoria própria

A edificação foi avaliada como sendo apenas uma zona (área delimitada). Na análise do Gerenciamento de Risco da edificação foi considerado que somente a Perda de vida humana ( $L_1$ ) é relevante para este tipo de estrutura, e são requisitos para avaliação da necessidade de proteção.

Em função dos tipos de perdas considerados, implica a determinação de somente o risco  $R_1$ , sendo:

$R_1$  para perda de vida humana ( $L_1$ ) com os componentes de risco  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_U$  e  $R_V$  (de acordo com a Tabela 2 – NBR 5419-2) e para compará-los com o risco tolerável  $R_T = 10^{-5}$  (de acordo com a Tabela 4 – NBR 5419-2).

Para cada tipo de risco a ser considerado, os seguintes passos devem ser tomados:

- Identificação dos componentes  $R_X$  que compõe o risco;
- Cálculo dos componentes de risco identificados  $R_X$ ;
- Cálculo do risco total  $R$ ;

d) Identificação dos riscos toleráveis  $R_T$ ;

e) Comparação do risco  $R$  com o valor do risco tolerável  $R_T$ .

Se  $R \leq R_T$ , é recomendável a instalação do sistema de SPDA classe IV. Se  $R > R_T$ , medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir  $R \leq R_T$ , para nível de risco tolerável, avaliando todos os riscos aos quais a estrutura está sujeita.

Sendo:

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (7)$$

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (8)$$

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (9)$$

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (10)$$

Para a análise do gerenciamento de risco foi feito o estudo por meio da norma NBR 5419-2, na qual alguns termos precisam ser destacados.

O valor da densidade de descargas atmosféricas para a terra pode ser encontrado pelo site do ELAT, onde para a região de Campina Grande é de 0,2621.

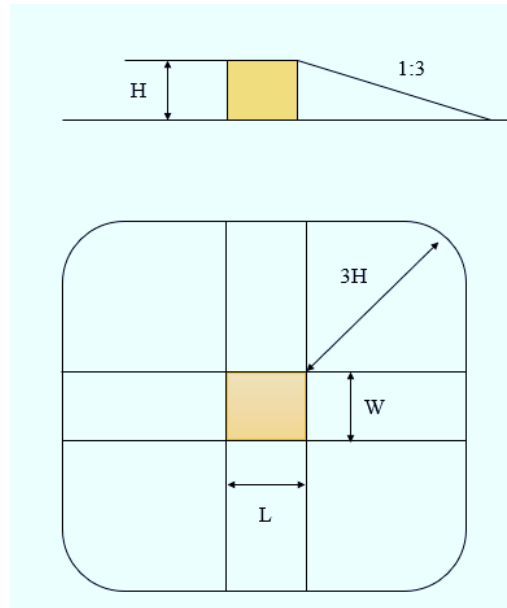
A área de exposição equivalente ( $A_D$ ) é a área em  $m^2$  do plano da estrutura prolongada em todas as direções, de modo a considerar sua altura como mostrado na figura 11. Os limites da área de exposição equivalente estão afastados do perímetro da estrutura por uma distância correspondente à 3 vezes a altura da estrutura no ponto considerado e é expresso para estruturas retangulares e em solo plano pela equação 11:

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

Para áreas com geometria irregular, usa-se a equação 12, onde é considerado a altura máxima HP do bloco:

$$A_D' = \pi \times (3 \times HP)^2 \quad (12)$$

Figura 11: Área de exposição equivalente AD de uma estrutura isolada

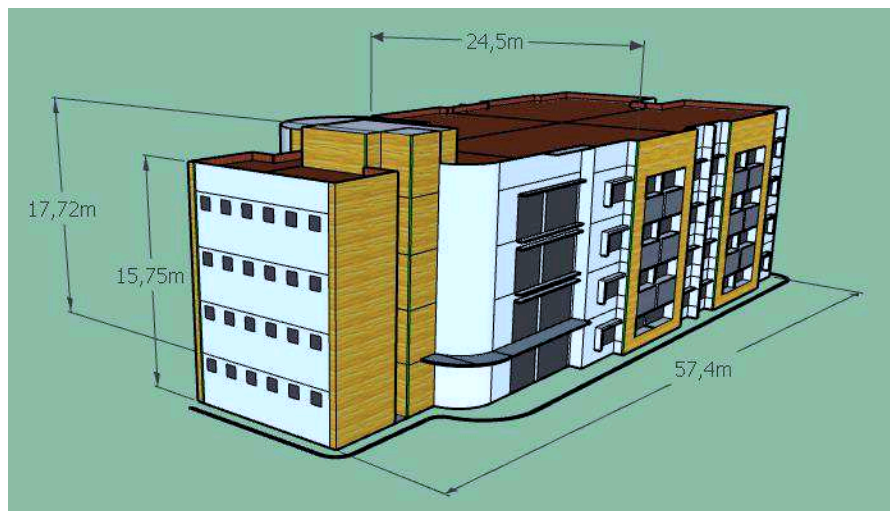


Fonte: NBR 5419-2 (editada)

Onde  $L$ ,  $W$  e  $H$  são dados em metros.

Os valores obtidos do prédio em análise pode ser observado na figura 12:

Figura 12: Dimensões da estrutura



Fonte: Autoria própria

Onde o comprimento, largura e altura são respectivamente:

$$L = 57,4 \text{ m}$$

$$W = 24,5 \text{ m}$$

$$H = 15,75 \text{ m}$$

$$HP = 17,72 \text{ m}$$

Então a área de exposição equivalente é:

$$A_D = 16.160 \text{ m}^2$$

$$A_{D'} = 8.878,1 \text{ m}^2$$

O valor usado para os cálculos foi o de  $A_D$ , visto que a parte da estrutura com forma irregular na altura é de valor pequeno em relação a altura  $H$ , cerca de 2 metros.

O fator de localização relativa da estrutura ( $C_D$ ) é dado pela tabela 6.

Tabela 6: Fator de localização da estrutura  $C_D$

<b>Localização relativa</b>	<b><math>C_D</math></b>
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: NBR 5419-2

Foi considerado o valor de  $C_D = 0,5$ , dado que o mesmo se encontra cercado por prédios de mesma altura ou mais baixos.

Um parâmetro necessário para o cálculo do risco associado a edificação é o número de eventos perigosos ( $N_D$ ). Para se determinar  $N_D$  usa-se a equação 13:

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

Onde os valores de  $N_G$ ,  $A_D$  e  $C_D$  já forma definidos acima, portando:

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$$

$$N_D = 0,2621 \times 16.160 \times 0,5 \times 10^{-6}$$

$$N_D = 2,1178 \times 10^{-3}$$

O número de eventos perigosos ( $N_{Dj}$ ) para uma estrutura adjacente, ou seja que esteja

próximo e dado pela equação 14, onde para a linha de sinal considera-se  $N_{DJ/T}$ , e para a linha de energia  $N_{DJ/P}$ , o único dado que vai alterar é o valor de  $C_T$  dado que  $C_{T/P}$  é diferente de  $C_{T/T}$ :

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

Onde  $N_G$  já foi dado acima,  $A_{DJ}$  é aproximadamente  $A_D$ ,  $C_{DJ}$  é aproximadamente  $C_D$  e  $C_T$  é dado pela tabela 7:

Tabela 7: Fator do tipo de linha  $C_T$

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

Fonte: NBR 5419-2

Como o prédio é alimentado por um transformador AT/BT, o valor de  $C_T$  é 0,2, e para a linha de sinal é 1.

$$N_{DJ/P} = N_G \times A_{DJ/P} \times C_{DJ/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$$

$$N_{DJ/P} = 0,2621 \times 16.160 \times 0,5 \times 0,2 \times 10^{-6}$$

$$N_{DJ/P} = 4,2355 \times 10^{-4}$$

$$N_{DJ/T} = N_G \times A_{DJ/T} \times C_{DJ/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$$

$$N_{DJ/T} = 0,2621 \times 16.160 \times 0,5 \times 1 \times 10^{-6}$$

$$N_{DJ/T} = 2,1178 \times 10^{-3}$$

Dessa forma:

$$N_{DJ} = N_{DJ/P} + N_{DJ/T}$$

$$N_{DJ} = 4,2355 \times 10^{-4} + 2,1178 \times 10^{-3}$$

$$N_{DJ} = 2,5414 \times 10^{-3}$$

O número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha ( $N_L$ ) devido a descargas atmosféricas na linha é dado pela equação 15, onde para a linha de



sinal considera-se  $N_{LT}$ , e para a linha de energia  $N_{L/P}$ , o único dado que vai alterar é o valor de  $C_T$  dado que  $C_{T/P}$  é diferente de  $C_{T/T}$ :

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (15)$$

Onde  $A_L$  é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, expressa em metro quadrado ( $m^2$ ) e é dado pela equação 16:

$$A_L = 40 \times L_L \quad (16)$$

O comprimento da linha é a distancia entre as estruturas, foi asumido  $L_L = 100$  m.

$$A_L = 40 \times L_L$$

$$A_L = 40 \times 100$$

$$A_L = \mathbf{4.000 \text{ m}^2}$$

Já os valores de  $C_I$ ,  $C_E$  e  $C_T$  são mostrados nas tabelas 8, 9 e 7 respectivamente.

Tabela 8: Fator de instalação da linha  $C_I$

<b>Roteamento</b>	<b><math>C_I</math></b>
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados isolados completamente dentro de uma malha de aterramento	0,01

Fonte: NBR 5419-2

Tabela 9: Fator ambiente da linha  $C_E$

<b>Ambiente</b>	<b><math>C_E</math></b>
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edificios mais altos que 20 m	0,01

Fonte: NBR 5419-2

Para o valor do fator de instalação  $C_I = 1$ , instalação aérea, e o valor de  $C_E$  foi considerado um ambiente suburbano com valor 0,5.

$$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$$

$$N_{L/P} = 0,2621 \times 4.000 \times 1 \times 0,1 \times 0,2 \times 10^{-6}$$

$$N_{L/P} = \mathbf{2,0968 \times 10^{-5}}$$

$$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$$

$$N_{L/T} = 0,2621 \times 4.000 \times 1 \times 0,1 \times 1 \times 10^{-6}$$

$$N_{L/T} = \mathbf{1,0484 \times 10^{-4}}$$

Dessa forma:

$$N_L = N_{L/T} + N_{L/P}$$

$$N_L = 2,0968 \times 10^{-5} + 1,0484 \times 10^{-4}$$

$$N_L = \mathbf{1,2558 \times 10^{-4}}$$

A probabilidade  $P_A$  de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico é dada por meio da equação 17:

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad (17)$$

Onde  $P_{TA}$  depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo, como é dado na tabela 10 e  $P_B$  depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas ( $N_P$ ) para o qual o SPDA de acordo com o ABNT NBR 5419-3 foi projetado, mostrado na tabela 11:

Tabela 10: Valores de probabilidades  $P_{TA}$  de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas

<b>Medição de proteção adicional</b>	<b><math>P_{TA}</math></b>
Nenhuma medição de proteção	1
Avisos de alerta	$10^{-1}$
Isolação elétrica(por exemplo, de pelo menos 3mm de polietileno reticulado das partes expostas(por exemplo, condutores de descidas)	$10^{-2}$

<b>Medição de proteção adicional</b>	<b>P<sub>TA</sub></b>
Equipotencialização efetiva do solo	10 <sup>-2</sup>
Restrições físicas ou estruturas do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Fonte: NBR 5419-2

Tabela 11: Valores de probabilidades P<sub>B</sub> dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos

<b>Características da estrutura</b>	<b>Classe do SPDA</b>	<b>P<sub>B</sub></b>
Estrutura não protegida por SPDA	-	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02

Fonte: NBR 5419-2

Para P<sub>TA</sub> e P<sub>B</sub> foi considerado de valor de 1, ou seja, nenhuma medida de proteção, já que a estrutura não está protegida por SPDA.

Portanto,

$$P_A = P_{TA} \times P_B$$

$$P_A = 1 \times 1$$

$$P_A = 1$$

A probabilidade P<sub>U</sub> de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico é dada pela equação 18.

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (18)$$

Onde, P<sub>TU</sub> depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta e é mostrado na tabela 12, foi definido que nenhuma medida de proteção havia no sistema, portanto P<sub>TU</sub> = 1.

Tabela 12: Valores de probabilidades PB dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos

<b>Medidas de proteção</b>	<b>P<sub>TU</sub></b>
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	10 <sup>-1</sup>
Isolação elétrica	10 <sup>-2</sup>
Restrições físicas	0

Fonte: NBR 5419-2

$P_{EB}$  depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas e do nível de proteção ( $N_P$ ) contra descargas atmosféricas para o qual o DPS foi projetado, os valores de  $P_{EB}$  são mostrados na tabela 13. Foi definido que o sistema não tem DPS, portanto  $P_{EB} = 1$ .

Tabela 13: Valores de probabilidades  $P_{EB}$  em função do  $N_P$  para qual os DPS foram projetados

<b>N<sub>P</sub></b>	<b>P<sub>EB</sub></b>
Sem DPS	1
III – IV	0,05
II	0,02
I	0,01
Nota 4	0,005 – 0,001

Fonte: NBR 5419-2

$P_{LD}$  é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a umas descargas atmosféricas na linha conectada dependendo das características da linha. Valores de  $P_{LD}$  são dados na Tabela 14. Foi definido  $P_{LD} = 0,6$  para a linha de energia e  $P_{LD} = 0,8$  para a linha de sinal, assumindo  $1 \Omega/\text{km} < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$ .

Tabela 14: Valores de probabilidades  $P_{LD}$  dependendo da resistência  $R_S$  da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso do equipamento

Tipo de Linha	Condições do roteamento	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: NBR 5419-2

$C_{LD}$  é um fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições da isolamento da linha. Valores de  $C_{LD}$  são dados na Tabela 15. Foi definido o valor de  $C_{LD} = 1$ , linha aérea não blindada.

Tabela 15: Valores dos fatores  $C_{LD}$  e  $C_{LI}$  dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

Tipo de linha externa	Conexão de entrada	$C_{LD}$	$C_{LI}$
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	0,2
Linha de energia com neutro multiterrado	Nenhuma	1	0,2

Fonte: NBR 5419-2

Portanto,

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD}$$

$$P_U = 1 \times 1 \times 0,6 \times 1$$

$$P_U = 0,6$$

A probabilidade  $P_V$  é a probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos e é definida pela equação 19.

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (19)$$

Onde os valores dos fatores já foram definidos acima, portanto.

$$P_V = 1 \times 0,6 \times 1$$

$$P_V = 0,6$$

As 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 16.

a) A perda de vida humana é afetada pelas características da zona. Estas são levadas em conta pelos fatores de aumento ( $h_z$ ) e diminuição ( $r_t$ ,  $r_p$ ,  $r_f$ ) (NBR 5419).

b) O valor máximo da perda em uma zona pode ser reduzido pela relação entre o número de pessoas na zona ( $n_z$ ) versus o número total de pessoas ( $n_t$ ) na estrutura inteira (NBR 5419).

c) O tempo em horas por ano, durante o qual as pessoas estão presentes na zona ( $t_z$ ), se este for menor que um total de 8 760 h de um ano, também irá reduzir a perda (NBR 5419).

Tabela 16: Tipo de perda  $L_I$ : Valores de perdas para cada zona

<b>Tipo de dano</b>	<b>Perda típica</b>	<b>Equação</b>
D <sub>1</sub>	$L_A = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8760$	(16)
D <sub>2</sub>	$L_U = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8760$	(17)
D <sub>3</sub>	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8760$	(18)

Fonte: NBR 5419-2

Onde  $L_T$  é número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D<sub>1</sub>) devido a um evento perigoso,  $L_F$  é número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D<sub>2</sub>) devido a um evento perigoso e  $L_O$  é o número relativo médio típico de vítimas por falha de

sistemas internos ( $D_3$ ) devido a um evento perigoso, todos os dados estão na tabela 17.

Tabela 17: Tipo de perda  $L_1$ : Valores típicos de  $L_T$ ,  $L_F$  e  $L_O$

<b>Tipos de danos</b>	<b>Valor de perda típico</b>		<b>Tipo da estrutura</b>
$D_1$ Ferimentos	$L_T$	$10^{-2}$	Todos os tipos
$D_2$ Danos físicos	$L_F$	$10^{-1}$	Risco de explosão
		$10^{-1}$	Hospital, hotel, escola, edifício cívico
		$5 \times 10^{-2}$	Entretenimento público, igreja museu
		$2 \times 10^{-2}$	Indústria, comercio
		$10^{-2}$	Outros
$D_3$ 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 do hospital

Fonte: NBR 5419-2

Foi considerado o valor de  $10^{-2}$  para  $L_T$ ,  $10^{-1}$  para  $L_F$  e  $10^{-1}$  para  $L_O$ .

$r_t$  é um fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso como mostrado na tabela 18, foi considerado piso de concreto.

Tabela 18: Fator de redução  $r_t$  em função do tipo da superfície do solo ou piso

<b>Tipo de superfície</b>	<b>Resistência de contato <math>k \Omega</math></b>	<b><math>r_t</math></b>
Agricultura, concreto	$\leq 1$	$10^{-2}$
Mármore, cerâmica	1 - 10	$10^{-3}$
Cascalho, tapete, carpete	10 - 100	$10^{-4}$
Asfalto, linóleo, madeira	$\geq 100$	$10^{-5}$

Fonte: NBR 5419-2

$r_p$  é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio mostrado na tabela 19.

Tabela 19: Fator de redução  $r_p$  em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio

<b>Providências</b>	<b><math>r_p</math></b>
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarmes manuais, hidrantes, compartimentos a prova de fogo, rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: Instalações fixas operadas automaticamente instaladas de alarme automático	0,2

Fonte: NBR 5419-2

$r_f$  é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura como mostrado na tabela 20, foi considerado risco de incêndio, com quantidade de risco normal.

Tabela 20: Fator de redução  $r_f$  em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura

<b>Risco</b>	<b>Quantidade de risco</b>	<b><math>r_f</math></b>
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: NBR 5419-2

O fator  $h_z$  é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente e é mostrado na tabela 21, foi considerado local com dificuldade de evacuação, com  $h_z = 5$ .



Tabela 21: Fator hz aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial

<b>Tipo de perigo especial</b>	<b>h<sub>z</sub></b>
Sem perigo especial	1
Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e números 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, estruturas 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: NBR 5419-2

Temos ainda  $n_z$  é o número de pessoas na zona foi considerada uma quantidade de 2.000 pessoas dentro da estrutura,  $n_t$  é o número total de pessoas na estrutura, como existe apenas uma zona o número será igual ao de  $n_z$ , e para  $t_z$  que é o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano, foi calculado com base em 12 h/dia de segunda a sexta-feira, dando um total de 3.128 h/ano.

Portanto temos,

$$L_A = L_U = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8.760$$

$$L_A = L_U = 10^{-2} \times 10^{-2} \times 2.000/2.000 \times 3.128/8.760$$

$$L_A = L_U = \mathbf{3,5708 \times 10^{-5}}$$

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8.760$$

$$L_B = L_V = 0,5 \times 10^{-2} \times 5 \times 10^{-1} \times 2.000/2.000 \times 3.128/8.760$$

$$L_B = L_V = \mathbf{8,9269 \times 10^{-4}}$$

Diante dos dados encontrados, calcula-se os riscos  $R_X$ , pelas equações 7, 8, 9 e 10.

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A$$

$$R_A = 2,1178 \times 10^{-3} \times 1 \times 3,5708 \times 10^{-5}$$

$$R_A = \mathbf{7,5622 \times 10^{-8}}$$

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B$$

$$R_B = 2,1178 \times 10^{-3} \times 1 \times 8,9269 \times 10^{-4}$$

$$\mathbf{R_B = 1,8905 \times 10^{-6}}$$

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$$

$$R_U = (1,2558 \times 10^{-4} + 2,5414 \times 10^{-3}) \times 0,6 \times 3,5708 \times 10^{-5}$$

$$\mathbf{R_U = 5,7140 \times 10^{-8}}$$

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$$

$$R_V = (1,2558 \times 10^{-4} + 2,5414 \times 10^{-3}) \times 0,6 \times 8,9269 \times 10^{-4}$$

$$\mathbf{R_V = 1,4285 \times 10^{-6}}$$

Com os valores dos riscos  $R_X$  encontrados podemos calcular o risco da estrutura e comparar com o risco total.

$$R = R_A + R_B + R_U + R_V$$

$$R = 3,4518 \times 10^{-6}$$

$$R < R_T = 1 \times 10^{-5}$$

Foi encontrado o risco  $R$  ( $3,4518 \times 10^{-6}$ ) menor que o valor tolerável  $R_T$  ( $1,0 \times 10^{-5}$ ) para perdas de vida humana, conseqüentemente, medidas adicionais de proteção contra descargas atmosféricas para perdas de vida humana não são obrigatórias, porém, são recomendadas. Em função dos valores obtidos no gerenciamento de riscos, podemos então adotar a classe de SPDA mais viável economicamente para o bloco que é o SPDA classe IV.

Após feita a análise do gerenciamento de risco, será refeito os cálculos para observar o novo valor do risco, já considerando as medidas de proteção para o referido cálculo.

Temos que a área de exposição equivalente continua a mesma:

$$\mathbf{A_D = 16.160 \text{ m}^2}$$

$$\mathbf{A_{D'} = 8.878,1 \text{ m}^2}$$

Outro parâmetro necessário para o cálculo do risco associado a edificação é o número de eventos perigosos ( $N_D$ ), o valor desse numero é:

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$$

$$N_D = 0,2621 \times 16.160 \times 0,5 \times 10^{-6}$$

$$N_D = \mathbf{2,1178 \times 10^{-3}}$$

O número de eventos perigosos ( $N_{DJ}$ ) para uma estrutura adjacente, ou seja, que esteja próximo, onde para a linha de sinal considera-se  $N_{DJ/T}$ , e para a linha de energia  $N_{DJ/P}$ , o único dado que vai alterar é o valor de  $C_T$  dado que  $C_{T/P}$  é diferente de  $C_{T/T}$ :

$$N_{DJ/P} = N_G \times A_{DJ/P} \times C_{DJ/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$$

$$N_{DJ/P} = 0,2621 \times 16.160 \times 0,5 \times 0,2 \times 10^{-6}$$

$$N_{DJ/P} = \mathbf{4,2355 \times 10^{-4}}$$

$$N_{DJ/T} = N_G \times A_{DJ/T} \times C_{DJ/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$$

$$N_{DJ/T} = 0,2621 \times 16.160 \times 0,5 \times 1 \times 10^{-6}$$

$$N_{DJ/T} = \mathbf{2,1178 \times 10^{-3}}$$

Dessa forma:

$$N_{DJ} = N_{DJ/P} + N_{DJ/T}$$

$$N_{DJ} = 4,2355 \times 10^{-4} + 2,1178 \times 10^{-3}$$

$$N_{DJ} = \mathbf{2,5414 \times 10^{-3}}$$

$A_L$  é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, expressa em metro quadrado ( $m^2$ ) esse valor é igual a:

$$A_L = 40 \times L_L$$

$$A_L = 40 \times 100$$

$$A_L = \mathbf{4.000 \text{ m}^2}$$

O número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha ( $N_L$ ) devido a descargas atmosféricas na linha, onde para a linha de sinal considera-se  $N_{LT}$ , e para a linha de energia  $N_{LP}$ , o único dado que vai alterar é o valor de  $C_T$  dado que  $C_{T/P}$  é diferente de  $C_{T/T}$ :

$$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$$

$$N_{L/P} = 0,2621 \times 4.000 \times 1 \times 0,1 \times 0,2 \times 10^{-6}$$

$$N_{L/P} = \mathbf{2,0968 \times 10^{-5}}$$

$$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$$

$$N_{L/T} = 0,2621 \times 4.000 \times 1 \times 0,1 \times 1 \times 10^{-6}$$

$$N_{L/T} = \mathbf{1,0484 \times 10^{-4}}$$

Dessa forma:

$$N_L = N_{L/T} + N_{L/P}$$

$$N_L = 2,0968 \times 10^{-5} + 1,0484 \times 10^{-4}$$

$$N_L = \mathbf{1,2558 \times 10^{-4}}$$

O novo valor da probabilidade  $P_A$  de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico é:

$$P_A = P_{TA} \times P_B$$

$$P_A = 10^{-2} \times 0,2$$

$$P_A = \mathbf{2 \times 10^{-3}}$$

Foi calculado também o novo valor da probabilidade  $P_U$  de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico é dada por:

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD}$$

$$P_U = 10^{-2} \times 0,05 \times 0,6 \times 1$$

$$P_U = \mathbf{3 \times 10^{-4}}$$

Já probabilidade  $P_V$  é a probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos e é calculada abaixo.

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD}$$

$$P_V = 0,05 \times 0,6 \times 1$$

$$P_V = \mathbf{3 \times 10^{-2}}$$

As 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 16, citada acima, onde:

$$L_A = L_U = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8.760$$

$$L_A = L_U = 10^{-2} \times 10^{-2} \times 2.000/2.000 \times 3.128/8.760$$

$$\mathbf{L_A = L_U = 3,5708 \times 10^{-5}}$$

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8.760$$

$$L_B = L_V = 0,5 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^{-1} \times 2.000/2.000 \times 3.128/8.760$$

$$\mathbf{L_B = L_V = 8,9269 \times 10^{-5}}$$

Diante dos dados encontrados, calcula-se os novos valores dos riscos  $R_X$ , pelas equações 7, 8, 9 e 10.

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A$$

$$R_A = 2,1178 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-3} \times 3,5708 \times 10^{-5}$$

$$\mathbf{R_A = 1,5124 \times 10^{-10}}$$

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B$$

$$R_B = 2,1178 \times 10^{-3} \times 0,2 \times 8,9269 \times 10^{-5}$$

$$\mathbf{R_B = 3,7811 \times 10^{-8}}$$

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$$

$$R_U = (1,2558 \times 10^{-4} + 2,5414 \times 10^{-3}) \times 3 \times 10^{-4} \times 3,5708 \times 10^{-5}$$

$$\mathbf{R_U = 2,8670 \times 10^{-11}}$$

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$$

$$R_V = (1,2558 \times 10^{-4} + 2,5414 \times 10^{-3}) \times 3 \times 10^{-2} \times 8,9269 \times 10^{-5}$$

$$\mathbf{R_V = 7,1424 \times 10^{-9}}$$

Com os valores dos riscos  $R_X$  encontrados, podemos recalcular o risco da estrutura e comparar com o risco total.

$$R = R_A + R_B + R_U + R_V$$

$$R = 4,5133 \times 10^{-8}$$

$$R < R_T = 1 \times 10^{-5}$$

O valor encontrado é bem menor comparado com o risco calculado anteriormente, o calculado antes de adicionadas as medidas de proteção.

Um resumo dos cálculos realizados acima pode ser observados nas tabelas 22, 23 e 24, 25, 26 e 27. Nelas pode-se observar os valores com as devidas modificações em relação aos valores anteriores.

Tabela 22: Edificação: características da estrutura e do meio ambiente

Parâmetros de entrada	Comentário Antes / Depois	Símbolo	Valor Antes	Valor Depois	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para a terra	(1/km <sup>2</sup> /ano)	N <sub>G</sub>	0,26	0,26	
Dimensões da estrutura (m)	Comprimento	L	57,40	57,40	
	Largura	W	24,50	24,50	
	Altura	H	15,75	15,75	
Determinação de AD (Área de exposição equivalente)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$	A <sub>D</sub>	16.160,00	16.160,00	
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C <sub>D</sub>	0,50	0,50	Tabela 6
SPDA	Sem SPDA / SPDA IV	P <sub>B</sub>	1,00	0,20	Tabela 11
Ligação equipotencial	Sem DPS / SPDA IV	P <sub>EB</sub>	1,00	0,05	Tabela 13
Choque elétrico		P <sub>A</sub>	1,00	2,00 x 10 <sup>-3</sup>	Equação 17

Fonte: NBR 5919-2 (adaptada)

Tabela 23: Eventos perigosos e probabilidades

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor Antes	Valor Depois	Referência
Comprimento da seção da linha	Valor considerado	L <sub>L</sub>	100,00	100,00	

<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Comentário</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b>Número de eventos perigosos</b>	Para a estrutura	$N_D$	$2,12 \times 10^{-3}$	$2,12 \times 10^{-3}$	Equação 13
<b>Número de eventos perigosos</b>	Linha de energia	$N_{DJ/P}$	$4,24 \times 10^{-4}$	$4,24 \times 10^{-4}$	Equação 14
<b>Número de eventos perigosos</b>	Linha de sinal	$N_{DJ/T}$	$2,12 \times 10^{-3}$	$2,12 \times 10^{-3}$	Equação 14
<b>Número de eventos perigosos</b>	Para a estrutura adjacente	$N_{DJ}$	$2,54 \times 10^{-3}$	$2,54 \times 10^{-3}$	Equação 14
<b>Sobretensões na seção da linha</b>	Linha de energia	$N_{L/P}$	$2,10 \times 10^{-5}$	$2,10 \times 10^{-5}$	Equação 15
<b>Sobretensões na seção da linha</b>	Linha de sinal	$N_{L/T}$	$1,05 \times 10^{-4}$	$1,05 \times 10^{-4}$	Equação 15
<b>Sobretensões na seção da linha</b>	De amplitude não inferior a 1 kV (1/ano)	$N_L$	$1,26 \times 10^{-4}$	$1,26 \times 10^{-4}$	Equação 15
<b>Probabilidade De choque elétrico devido a descargas</b>		$P_U$	0,60	$3,0 \times 10^{-4}$	Equação 18
<b>Probabilidade de danos físicos devido a descargas na linha</b>		$P_V$	0,60	$3,0 \times 10^{-2}$	Equação 19

Fonte: Autoria própria

Tabela 24: Edificação: linha de energia

<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Comentário</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b>Comprimento (m)</b>		$L_L$	100,00	100,00	
<b>Fator de instalação</b>	Aéreo	$C_I$	1,00	1,00	Tabela 8
<b>Fator tipo de linha</b>	Linha de AT	$C_T$	0,20	0,20	Tabela 7
<b>Fator ambiental</b>	Urbano	$C_E$	0,10	0,10	Tabela 9
<b>Blindagem, aterramento, isolamento</b>	Linha aérea não blindada	$C_{LD}$	1,00	1,00	Tabela 15
		$C_{LI}$	1,00	1,00	
<b>Fator de localização da estrutura adjacente</b>	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	$C_{DJ}$	0,50	0,50	Tabela 6

<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Comentário</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b>Tensão suportável do sistema (kV)</b>		$U_W$	2,50	2,50	Tabela 14
<b>Probabilidade dependente da resistência <math>R_s</math></b>	Parâmetros resultantes	$P_{LD}$	0,60	0,60	Tabela 14

Fonte: NBR 5919-2 (adaptada)

Tabela 25: Edificação: linha de sinal

<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Comentário</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b>Comprimento (m)</b>		$L_L$	100,00	100,00	
<b>Fator de instalação</b>	Aéreo	$C_I$	1,00	1,00	Tabela 8
<b>Fator tipo de linha</b>	Linha de AT	$C_T$	1,00	1,00	Tabela 7
<b>Fator ambiental</b>	Urbano	$C_E$	0,10	0,10	Tabela 9
<b>Fator de localização da estrutura adjacente</b>	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	$C_{DJ}$	0,50	0,50	Tabela 6
<b>Blindagem, aterramento, isolamento</b>	Linha aérea não blindada	$C_{LD}$	1,00	1,00	Tabela 15
		$C_{LI}$	1,00	1,00	
<b>Tensão suportável do sistema (kV)</b>		$U_W$	1,50	1,50	Tabela 14
	Parâmetros resultantes	$P_{LD}$	0,80	0,80	Tabela 14

Fonte: NBR 5919-2 (adaptada)



Tabela 26: Parâmetros das perdas

<b>Comentário: Antes / Depois</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b>Concreto</b>	$r_t$	0,01	0,01	Tabela 18
<b>Nenhuma medida de proteção / Equipotencialização efetiva no solo</b>	$P_{TA}$	1,00	0,01	Tabela 10
<b>Nenhuma medida de proteção / Isolação elétrica</b>	$P_{TU}$	1,00	0,01	Tabela 12
<b>Incêndio normal / Incêndio baixo</b>	$r_f$	0,01	$1 \times 10^{-3}$	Tabela 20
<b>Instalações de alarme automático</b>	$r_p$	0,50	0,50	Tabela 19
<b>Perigo especial: médio</b>	$h_z$	5,00	5,00	Tabela 21
<b>D1: devido a tensão de toque e passo</b>	$L_T$	0,01	0,01	Tabela 17
<b>D2: devido a danos físicos</b>	$L_F$	0,10	0,10	
<b>D3: falhas de sistemas internos</b>	$L_O$	0,00	0,00	
<b><math>n_z</math> é o número de pessoas na zona;</b>	2.000	0,3571	0,3571	$\frac{n_z}{n_t} = \frac{t_z}{8760}$
<b><math>n_t</math> é o número total de pessoas na estrutura;</b>	2.000			
<b><math>t_z</math> é o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano.</b>	3.128			
<b>Parâmetros resultantes</b>	$L_A$	$3,57 \times 10^{-5}$	$3,57 \times 10^{-5}$	
	$L_U$	$3,57 \times 10^{-5}$	$3,57 \times 10^{-5}$	
	$L_B$	$8,93 \times 10^{-4}$	$8,93 \times 10^{-5}$	
	$L_V$	$8,93 \times 10^{-4}$	$8,93 \times 10^{-5}$	

Fonte: NBR 5919-2 (adaptada)

Tabela 27: Riscos associados

<b>Riscos</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b><math>R_A</math></b>	$7,56 \times 10^{-8}$	$1,51 \times 10^{-10}$	Equação 7
<b><math>R_B</math></b>	$1,89 \times 10^{-6}$	$3,78 \times 10^{-8}$	Equação 8
<b><math>R_U</math></b>	$5,71 \times 10^{-8}$	$2,86 \times 10^{-11}$	Equação 9
<b><math>R_V</math></b>	$1,43 \times 10^{-6}$	$7,14 \times 10^{-9}$	Equação 10

<b>Riscos</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b>R</b>	$3,45 \times 10^{-6}$	$4,51 \times 10^{-8}$	

Fonte: Autoria Própria

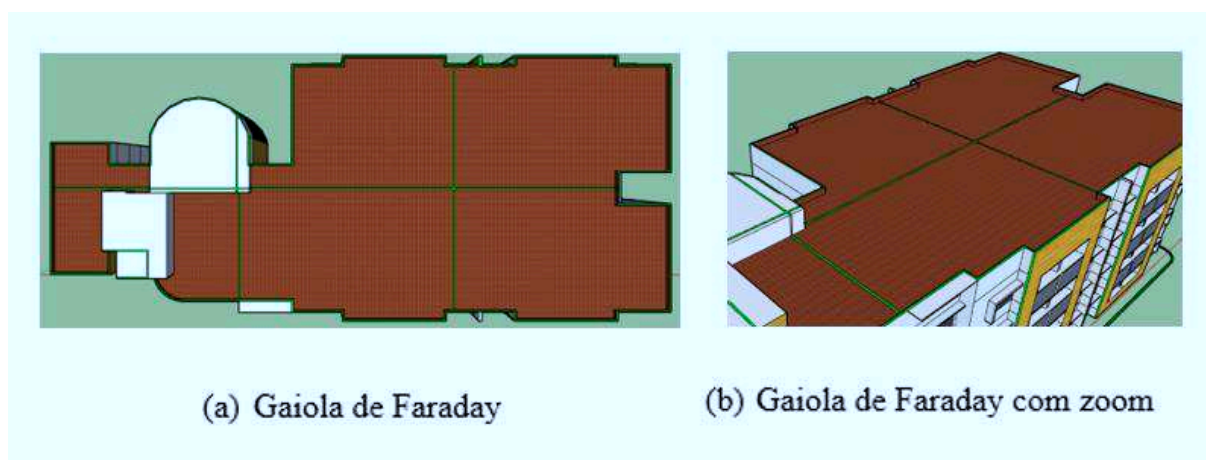
## 4 CÁLCULO DOS PARÂMETROS DO SPDA

Como apresentado, a estrutura a ser protegida (Bloco CAA) adotaremos no bloco SPDA classe IV.

### 4.1 MÉTODO DE PROTEÇÃO

Para a estrutura em análise, será utilizado o método das malhas. O método das malhas consiste em envolver a parte superior da construção com uma malha captora de condutores elétricos nus, cuja distância entre eles é função do nível de proteção adotado no gerenciamento de riscos, sendo opcional o uso de captosres verticais na parte superior da construção. Para este projeto não serão utilizados captosres verticais no telhado das unidades. O objetivo da adoção de captosres verticais é dotar o sistema de captação de pontos preferencias de impacto da descarga atmosférica, que são os próprios captosres verticais, minimizando assim os riscos de impacto de descargas atmosféricas diretamente na estrutura. O telhado não é conhecido, portanto, será necessário a instalação de uma malha como mostrado na figura 13 (a), a da estrutura é dotado de platibanda, estando o telhado posicionado abaixo da platibanda, será instalado na platibanda um anel de captação que percorrerá toda a estrutura, conforme detalhes na figura 13 (b). Foi usado dimensões da malha 20 x 20 como indicado na figura 8 em decorrência da classe IV do SPDA.

Figura 13: Vista da malha



Fonte: Autoria própria

#### 4.2 NÚMERO DE CONDUTORES DE DESCIDA - $N_{CD}$

Conhecido o perímetro da edificação pode-se calcular o número de condutores de descida, e a norma NBR 5419 prevê a instalação de condutores de descida com espaçamento médio de 20 (vinte) metros entre eles para classe de SPDA classe IV, de acordo com a tabela 3.

Os condutores de descidas deverão ser distribuídos ao longo do perímetro do prédio, onde o espaçamento medio seja de 20 (vinte) metros. O número de condutores de descida é dado pela equação 6.

$$N_{CD} = \frac{P_{CO}}{D_{CD}}$$

onde:

$N_{CD}$  – número de condutores de descida;

$P_{CO}$  – perímetro da construção em metros;

$D_{CD}$  – distância entre os condutores de descida (NBR 5419-3).

Caso o valor de  $N_{DC}$  seja fracionário, deve se considerar o valor diretamente superior

O perímetro como tem geometria irregular, foi aproximado de um retângulo com valor do perímetro maior que o original, ficando ainda mais confiável o cálculo. Portanto,

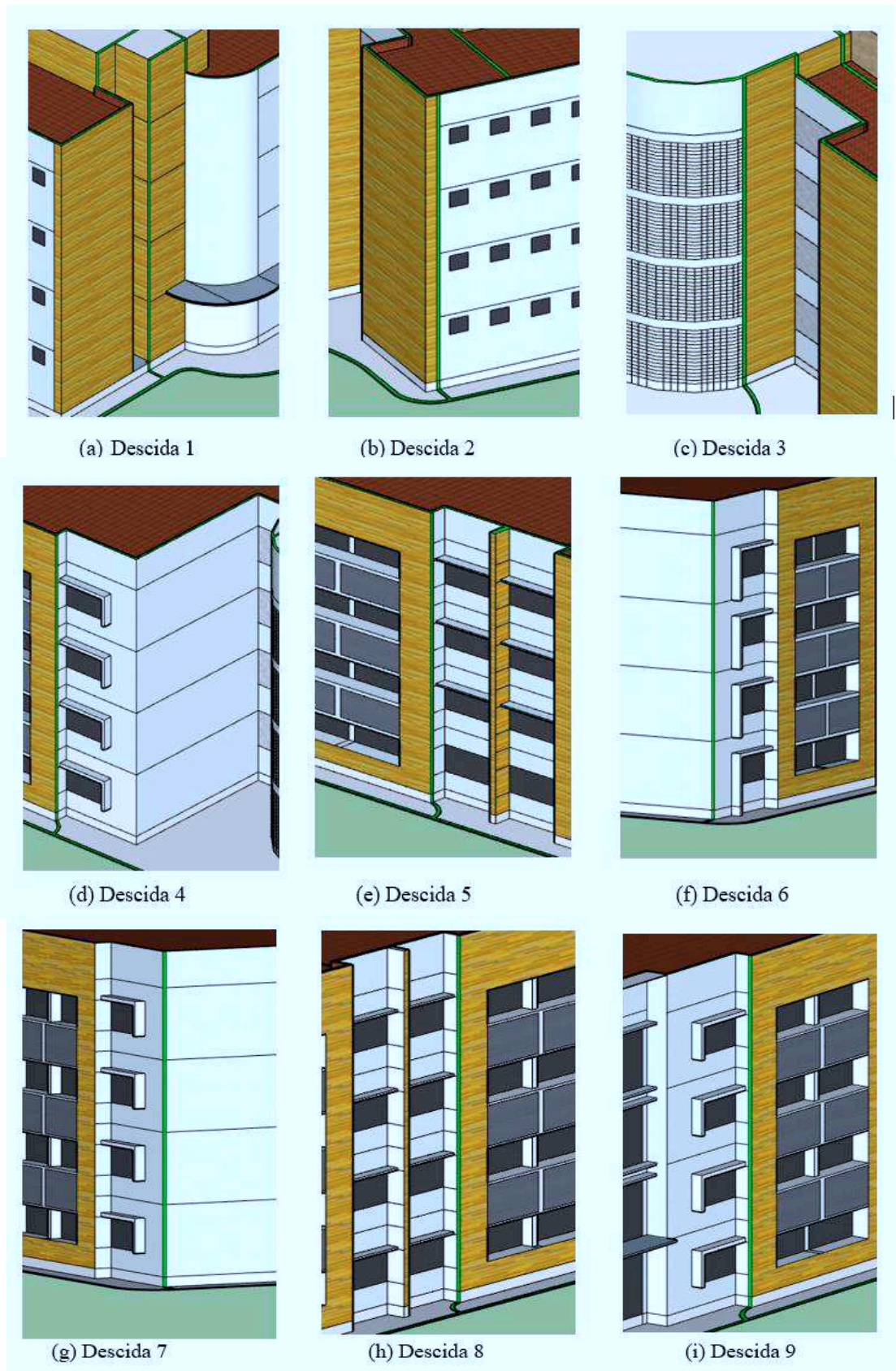
$$N_{CD} = \frac{P_{CO}}{D_{CD}} = \frac{57,4 + 57,4 + 24,5 + 24,5}{20} = 8,19 \approx 9$$

Nos condutores de descida não são admitidas emendas, exceto na caixa de medição do sistema de aterramento.

Os cabos de descida devem ser protegidos contra danos mecânicos, através de eletroduto rígido de 25 mm, que acomodará o condutor de descida até no mínimo 3,0 metros acima do nível do solo. Caso o eletroduto a ser utilizado seja metálico, o cabo de descida deve ser conectado às extremidades superior e inferior do eletroduto.

Os locais dos condutores de descida foram escolhidos de acordo com a figura 14.

Figura 14: Locais dos condutores de descida



Fonte: Autoria própria

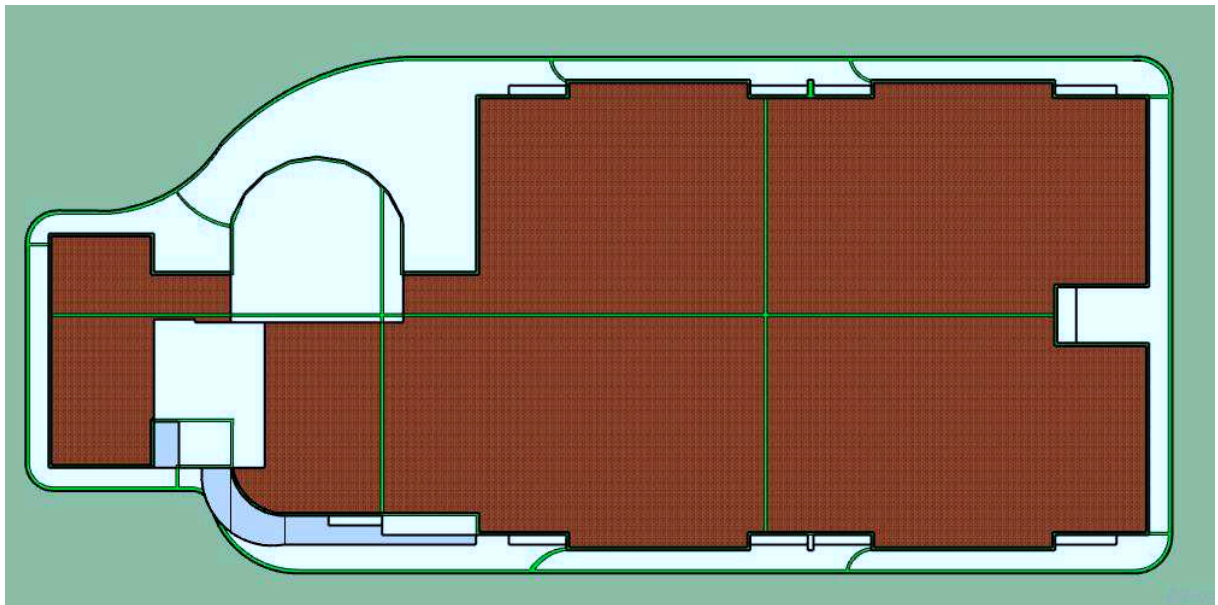
Assim, deverão ser utilizados 9 condutores de descida como descrito na figura 14.

Os condutores de descida serão de 35 mm<sup>2</sup> até o conector de medição localizado na caixa de inspeção. Após o conector de medição poderá ser instalado um cabo de 35 mm<sup>2</sup> ou 50 mm<sup>2</sup> até a malha de aterramento.

#### 4.3 DIMENSIONAMENTO DO SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO DO SPDA

O arranjo a ser utilizado consiste em condutor em anel, externo a estrutura a ser protegida, formando um laço fechado ao redor da estrutura e interconectando os condutores de descida, cujo objetivo é conduzir e dispersar a corrente da descarga atmosférica na terra. 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, como mostrado na figura 15.

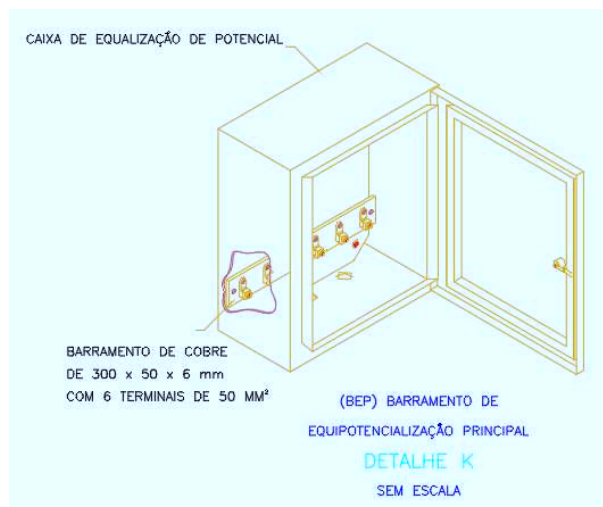
Figura 15: Anel de aterramento



Fonte: Autoria propria

O eletrodo de aterramento deve ser comum e atender a proteção contra descargas atmosféricas, sistemas de energia elétrica e sinal (telecomunicações, dados, etc.). Assim, os pontos de equalização das malhas de aterramento (telecomunicações, dados, elétrica, etc.) e massas metálicas da edificação (tubulação de gás, anel condutor, etc.), devem ser conectados a um barramento comum (BEP), utilizando uma caixa de equalização de potencial, conforme detalhe, mostrado na figura 16.

Figura 16: Caixa de equalização de potencial



Fonte: Projeto SPDA pronto

#### 4.4 SEÇÃO MINIMA DOS CONDUTORES

De acordo com a NBR 5419, Tabela 3, a seção dos condutores para composição do SPDA da estrutura será assim composta:

- Condutores da Captação deve ser de 35 mm<sup>2</sup> em cabo de cobre não isolado;
- Condutores de Descida (entre a malha captora e a malha de aterramento) deve ser de 35 mm<sup>2</sup> em cabo de cobre não isolado.

Eletrodos de aterramento devem ser de 50 mm<sup>2</sup> 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. Se as telhas da cobertura da estrutura forem de metal, devem ser utilizadas como elemento de captação da malha captora. Entretanto, deverão ser instaladas ligações equipotenciais entre todas as telhas e a malha captora através de conexão utilizando cabos de cobre de 35 mm<sup>2</sup>.

A cada condutor de descida deverá ser conectado um eletrodo de aterramento vertical, tipo haste de aterramento, tamanho 16 x 2400 mm, do tipo copperweld de alta camada (254 µm). Os condutores de descidas deverão ainda ser conectados ao anel fechado com cabos de 50 mm<sup>2</sup> através de soldas exotérmicas.

#### 4.5 DIMENSIONAMENTO E INSTALAÇÃO DOS DPS

Para o dimensionamento dos dispositivos de proteção contra surtos (DPS), consideremos a estrutura, com alimentação elétrica 220/380 V, aterramento tipo TN, com SPDA classe IV, e com os seguintes serviços que adentram a estrutura por meio de condutores metálicos: linha de energia elétrica trifásica e linha de telecomunicações.

A ABNT 5419-4 apresenta que uma estrutura com SPDA classe IV pode ser submetida a uma corrente máxima de 100 kA (tabela A.4 - ABNT NBR 5419-4:2015). Ainda segundo a ABNT NBR 5419-4:2015, 50% da corrente máxima proveniente de descarga atmosférica pode retornar para a estrutura por meio dos DPS de equipotencialização, ou seja, 50 kA. Assim, como há dois serviços que adentram a estrutura (elétrica e telecomunicações), essa parcela de 50% (50 kA) será subdividida entre os dois serviços. Sendo assim, cada um dos serviços pode ser submetido a uma corrente de 25 kA.

Sendo a estrutura alimentada por 4 condutores metálicos (3F+N), cada condutor poderá ser submetido a uma corrente de 6,25 kA. Então, temos que no quadro principal deverão ser instalados DPS Classe I para 6,25 kA.

Para as correntes dos DPS classes II e III não há uma previsão segundo a ABNT NBR 5419-4. Para estes casos, a ABB recomenda que as correntes dos DPS sejam adotadas em função da densidade de descargas atmosféricas para a terra ( $N_g$ ), ou que implica em um DPS Classe II e Classe III de  $I_n = 5$  kA e  $I_{max} = 15$  kA.

Os DPS devem ser conectados entre os condutores fase e terra e entre neutro e terra, assim, a tensão dos DPS é assim, definida:

DPS para ligação entre fase e terra:

- $U_c \geq 1,1 \times \text{Tensão fase terra} = 1,1 \times 220 \text{ V} = 242 \text{ V};$

DPS para ligação entre neutro e terra:

- $U_c \geq 1,0 \times \text{Tensão fase terra} = 1,0 \times 220 \text{ V} = 220 \text{ V};$

Assim, temos:

Quadro principal: DPS Classe I ( $I_n \geq 6,25$  kA);

- DPS fase-terra:  $U_c \geq 242 \text{ V};$
- DPS neutro-terra:  $U_c \geq 220 \text{ V}.$

Quadro secundário - DPS Classe II ( $I_n = 5$  kA e  $I_{max} = 15$  kA);

- DPS fase-terra:  $U_c \geq 242 \text{ V};$
- DPS neutro-terra:  $U_c \geq 220 \text{ V}.$



Os dispositivos de proteção contra surtos (DPS) serão utilizados para proteger a instalação e os equipamentos contra os efeitos das sobretensões, originadas em função das descargas atmosféricas.

Um DPS deve suportar as ondas de choques do raio normalizadas segundo ensaios correspondentes à sua Classe I, II ou III, conforme a norma ABNT NBR IEC 61643- 1. Os DPS devem ser instalados e coordenados, conforme segue:

DPS classe I deve ser instalado no Quadro Geral, com cabo de 16 mm<sup>2</sup>;

DPS classe II deve ser instalado nos Quadros secundários, com cabo de 6 mm<sup>2</sup>;

A eficácia da proteção contra descargas atmosféricas utilizando DPS depende principalmente da qualidade da instalação dentro dos painéis. No caso de descarga atmosférica, a impedância dos cabos aumenta de modo que a sobretensão transitória deve ser bastante considerável, sendo maior o risco de danos aos equipamentos. As conexões entre o DPS e a barra de terra devem ser o mais curtas possível. É necessário não ultrapassar 50 cm, para proteger de maneira eficaz os equipamentos elétricos.

Cada DPS deve obrigatoriamente ser associado a um disjuntor de desconexão a montante e em série. A capacidade de interrupção do disjuntor deve ser compatível com a capacidade de interrupção no ponto da instalação e também totalmente coordenado com o DPS.

## 5 CONCLUSÕES

Com o estudo de caso pode-se concluir que a estrutura não necessitaria da instalação de um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas, isso se dá pelas dimensões, tipo de atividade, e também por conta da região em que se encontra, onde a incidência de raios ao longo do ano é muito baixa em relação ao metro quadrado. Porém recomenda-se nesses casos a instalação do sistema de proteção IV, no qual é suficiente para proteger a estrutura em possíveis descargas que vierem a ocorrer.

Um sistema SPDA não assegura a total proteção de uma estrutura ou pessoas dentro dela. Não é função do SPDA a proteção de equipamentos eletroeletrônicos inseridos dentro do volume a proteger, pois correntes induzidas pela correta condução da corrente proveniente da descarga atmosférica são capazes de danificar esses aparelhos. Para a proteção desses equipamentos deve-se fazer o projeto de MPS, onde o mesmo foi demonstrado para o estudo de caso em questão.

É de fundamental importância que após a instalação, haja uma manutenção periódica anual de modo a garantir a confiabilidade do sistema. São também recomendadas vistorias preventivas após reformas que possam alterar o sistema e toda vez que for detectada a ocorrência de descargas diretas na edificação.

Conforme esse trabalho observa-se que com a instalação do SPDA + MPS, consegue-se reduzir de forma significativa os riscos tanto da vida humana, da estrutura quanto dos equipamentos elétricos.

## 6 REFERÊNCIAS

[1] KINDERMANN, G. Descargas Atmosféricas. 2º ed. Porto Alegre, Sagra Luzzatto, 1997.

[2] ABNT – NBR 5419. Proteção de Edificações contra Descargas Atmosféricas.

[3] Instituto nacional de pesquisas espaciais, INPE. Disponível em: < <http://www.inpe.br/webelat/homepage/> > Acesso em 20 de setembro de 2020.

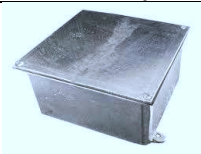







[4] VISACRO FILHO, S. Descargas Atmosféricas: Uma abordagem de engenharia 1ª Edição.

[5] NTU 014 - Projetos de sistema de proteção contra descargas Atmosféricas em subestações de distribuição.

## 7 ANEXOS

### 7.1 LISTA DE MATERIAL

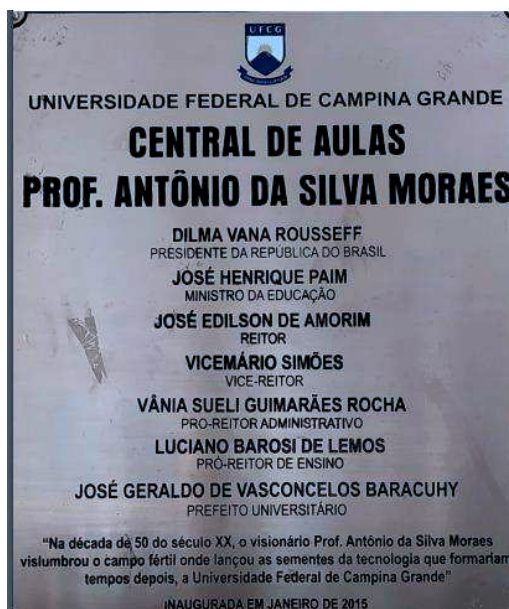
ITEM	ILUSTRAÇÃO	MATERIAL	Unidade	Quantidade
1		Abraçadeira galvanizada para eletroduto 32 mm, tipo 'D' com cunha	Peça	130
2		Alicate para manuseio dos moldes de solda exotérmica, ref. TEL SEZ-201	Peça	1
3		Bisnaga adesivo selante impermeável de poliuretano sikaflex 300 ml	Peça	15
4		Bucha de nylon S6	Peça	320
5		Bucha de nylon S8	Peça	30
6		Cabo de cobre nu 35 mm <sup>2</sup>	Peça	430
7		Cabo de cobre nu 50 mm <sup>2</sup>	Peça	250
8		Caixa de equipotencialização com 6 terminais de pressão de 50 mm <sup>2</sup>	Peça	1

ITEM	ILUSTRAÇÃO	MATERIAL	Unidade	Quantidade
9		Caixa em alumínio, com dimensões 160x160x70 mm com furo de Ø1" (DN 32 mm)	Peça	9
10		Cartucho para solda exotérmica N° 150	Peça	10
11		Conector de medição em bronze com 4 parafusos para cabos de cobre 16-70mm <sup>2</sup> (TEL-560)	Peça	9
12		Conectores tipo split bolt bimetalico com separador para cabos 35- 35 mm <sup>2</sup> , ref. TEL 5415	Peça	45
13		Dispositivos de proteção contra surtos (DPS) - classe 1, com encapsulamento, tensão nominal máxima: 275 V, 50/60 Hz, corrente de descarga (10µs/350µs) de 10 kA	Peça	4
14		Dispositivos de proteção contra surtos (DPS) - classe 2, com encapsulamento, tensão nominal máxima: 275 V, 50/60 Hz, corrente de descarga (8µs/20µs) de In = 8 kA e Inmax = 15 kA	Peça	16
15		Eletroduto de PVC rígido roscável 32 mm em peça de 3 metros	Peça	9
16		Fixador ômega em latão, para cabo de cobre 35 mm <sup>2</sup> , furo 5 mm, ref. TEL-733	Peça	180

ITEM	ILUSTRAÇÃO	MATERIAL	Unidade	Quantidade
17		Haste de aço de 16 x 2400 mm alta camada de cobre 254 $\mu$ m	Peça	9
18		Limpador para moldes de solda exotérmica, ref. TEL SEZ-91	Peça	1
19		Molde para solda exotérmica, cabo 50mm <sup>2</sup> /haste 16mm, passante lateral, ref. TEL HTH 5/8.50-4A	Peça	1
20		Parafuso em aço inox cabeça sextava M6 x 45mm	Peça	45
21		Parafuso em aço inox rosca ligeira cabeça philips 4,2 x 32 mm	Peça	570
22		Porca em aço inox sextava para parafuso M6	Peça	27
23		Presilha em latão, para cabo de cobre 35 mm <sup>2</sup> , furo 5 mm, ref. TEL744	Peça	250
24		Terminal de compressão para cabo 35 mm <sup>2</sup>	Peça	27

## 7.2 LAUDO TÉCNICO SPDA DA EDIFICAÇÃO CENTRAL DE AULAS PROFESSOR ANTÔNIO DA SILVA MORAIS

Figura 17: Central de aulas Prof. Antônio da Silva Moraes



Fonte: Autoria Própria

### OBJETIVO

Foi observado que a estrutura não tem proteção para possíveis descargas atmosféricas que venham a atingir a mesma, dessa forma o presente documento tem por objetivo avaliar o risco em relação a perdas de vida humana e equipamentos elétricos, devido a descargas atmosféricas na estrutura do presente bloco, além de comparar o risco atual com o risco implantando as medidas de proteção sugeridas (PDA).

### PROCEDIMENTO E RESULTADOS

Colheu-se as dimensões do mesmo para o estudo de caso, os valores observados foram:  $L = 86$  m,  $W = 12$  m,  $H = 9$  m,  $HP = 9$  m. Com esses dados foram calculados os parâmetros necessários para a avaliação. Será demonstrado os valores calculados para o gerenciamento de risco de antes e depois já com a adição das medidas de proteção.

Tabela 28: Edificação: características da estrutura e do meio ambiente

Parâmetros de entrada	Comentário Antes / Depois	Símbolo	Valor Antes	Valor Depois	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para a terra	(1/km <sup>2</sup> /ano)	N <sub>G</sub>	0,26	0,26	
Dimensões da estrutura (m)	Comprimento	L	86,00	86,00	
	Largura	W	12,00	12,00	
	Altura	H	9,00	9,00	
Determinação de AD (Área de exposição equivalente)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$	A <sub>D</sub>	8.614,22	8.614,22	
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C <sub>D</sub>	0,50	0,50	Tabela 6
SPDA	Sem SPDA / SPDA IV	P <sub>B</sub>	1,00	0,20	Tabela 11
Ligação equipotencial	Sem DPS / SPDA IV	P <sub>EB</sub>	1,00	0,05	Tabela 13
Choque elétrico		P <sub>A</sub>	1,00	2,00 x 10 <sup>-3</sup>	Equação 17

Fonte: NBR 5919-2 (adaptada)

Tabela 29: Eventos perigosos e probabilidades

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor Antes	Valor Depois	Referência
Comprimento da seção da linha	Valor considerado	L <sub>L</sub>	100,00	100,00	
Número de eventos perigosos	Para a estrutura	N <sub>D</sub>	1,13 x 10 <sup>-3</sup>	1,13 x 10 <sup>-3</sup>	Equação 13
Número de eventos perigosos	Linha de energia	N <sub>DJ/P</sub>	2,26 x 10 <sup>-4</sup>	2,26 x 10 <sup>-4</sup>	Equação 14
Número de eventos perigosos	Linha de sinal	N <sub>DJ/T</sub>	1,13 x 10 <sup>-3</sup>	1,13 x 10 <sup>-3</sup>	Equação 14
Número de eventos perigosos	Para a estrutura adjacente	N <sub>DJ</sub>	1,35 x 10 <sup>-3</sup>	1,35 x 10 <sup>-3</sup>	Equação 14
Sobretensões na seção da linha	Linha de energia	N <sub>L/P</sub>	2,10 x 10 <sup>-5</sup>	2,10 x 10 <sup>-5</sup>	Equação 15
Sobretensões na seção da linha	Linha de sinal	N <sub>L/T</sub>	1,05 x 10 <sup>-4</sup>	1,05 x 10 <sup>-4</sup>	Equação 15
Sobretensões na seção da linha	De amplitude	N <sub>L</sub>	1,26 x 10 <sup>-4</sup>	1,26 x 10 <sup>-4</sup>	Equação 15



<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Comentário</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
	não inferior a 1 kV (1/ano)				
<b>Probabilidade De choque elétrico devido a descargas</b>		P <sub>U</sub>	0,60	3,0 x 10 <sup>-4</sup>	Equação 18
<b>Probabilidade de danos físicos devido a descargas na linha</b>		P <sub>V</sub>	0,60	3,0 x 10 <sup>-2</sup>	Equação 19

Fonte: Autoria própria

Tabela 30: Edificação: linha de energia

<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Comentário</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b>Comprimento (m)</b>		L <sub>L</sub>	100,00	100,00	
<b>Fator de instalação</b>	Aéreo	C <sub>I</sub>	1,00	1,00	Tabela 8
<b>Fator tipo de linha</b>	Linha de AT	C <sub>T</sub>	0,20	0,20	Tabela 7
<b>Fator ambiental</b>	Urbano	C <sub>E</sub>	0,10	0,10	Tabela 9
<b>Blindagem, aterramento, isolamento</b>	Linha aérea não blindada	C <sub>LD</sub>	1,00	1,00	Tabela 15
		C <sub>LI</sub>	1,00	1,00	
<b>Fator de localização da estrutura adjacente</b>	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C <sub>DJ</sub>	0,50	0,50	Tabela 6
<b>Tensão suportável do sistema (kV)</b>		U <sub>W</sub>	2,50	2,50	Tabela 14
<b>Probabilidade dependente da resistência R<sub>s</sub></b>	Parâmetros resultantes	P <sub>LD</sub>	0,60	0,60	Tabela 14

Fonte: NBR 5919-2 (adaptada)

Tabela 31: Edificação: linha de sinal

<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Comentário</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b>Comprimento (m)</b>		$L_L$	100,00	100,00	
<b>Fator de instalação</b>	Aéreo	$C_I$	1,00	1,00	Tabela 8
<b>Fator tipo de linha</b>	Linha de AT	$C_T$	1,00	1,00	Tabela 7
<b>Fator ambiental</b>	Urbano	$C_E$	0,10	0,10	Tabela 9
<b>Fator de localização da estrutura adjacente</b>	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	$C_{DJ}$	0,50	0,50	Tabela 6
<b>Blindagem, aterramento, isolamento</b>	Linha aérea não blindada	$C_{LD}$	1,00	1,00	Tabela 15
		$C_{LI}$	1,00	1,00	
<b>Tensão suportável do sistema (kV)</b>		$U_W$	1,50	1,50	Tabela 14
	Parâmetros resultantes	$P_{LD}$	0,80	0,80	Tabela 14

Fonte: NBR 5919-2 (adaptada)

Tabela 32: Parâmetros das perdas

<b>Comentário: Antes / Depois</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b>Concreto</b>	$r_t$	0,01	0,01	Tabela 18
<b>Nenhuma medida de proteção / Equipotencialização efetiva no solo</b>	$P_{TA}$	1,00	0,01	Tabela 10
<b>Nenhuma medida de proteção / Isolação elétrica</b>	$P_{TU}$	1,00	0,01	Tabela 12
<b>Incêndio normal / Incêndio baixo</b>	$r_f$	0,01	$1 \times 10^{-3}$	Tabela 20
<b>Instalações de alarme automático</b>	$r_p$	0,50	0,50	Tabela 19
<b>Perigo especial: médio</b>	$h_z$	5,00	5,00	Tabela 21
<b>D1: devido a tensão de toque e passo</b>	$L_T$	0,01	0,01	Tabela 17

<b>Comentário: Antes / Depois</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b>D<sub>2</sub>: devido a danos físicos</b>	L <sub>F</sub>	0,10	0,10	
<b>D<sub>3</sub>: falhas de sistemas internos</b>	L <sub>O</sub>	0,00	0,00	
<b>n<sub>z</sub> é o número de pessoas na zona;</b>	1.000	0,3571	0,3571	$\frac{n_z}{n_t} = \frac{t_z}{8760}$
<b>n<sub>t</sub> é o número total de pessoas na estrutura;</b>	1.000			
<b>t<sub>z</sub> é o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano.</b>	3.128			
<b>Parâmetros resultantes</b>	L <sub>A</sub>	3,57x10 <sup>-5</sup>	3,57x10 <sup>-5</sup>	
	L <sub>U</sub>	3,57x10 <sup>-5</sup>	3,57x10 <sup>-5</sup>	
	L <sub>B</sub>	8,93x10 <sup>-4</sup>	8,93x10 <sup>-5</sup>	
	L <sub>V</sub>	8,93x10 <sup>-4</sup>	8,93x10 <sup>-5</sup>	

Fonte: NBR 5919-2 (adaptada)

Tabela 33: Riscos associados

<b>Riscos</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b>R<sub>A</sub></b>	4,03 x 10 <sup>-8</sup>	8,06 x 10 <sup>-11</sup>	Equação 7
<b>R<sub>B</sub></b>	1,01 x 10 <sup>-6</sup>	2,02 x 10 <sup>-8</sup>	Equação 8
<b>R<sub>U</sub></b>	3,17 x 10 <sup>-8</sup>	1,59 x 10 <sup>-11</sup>	Equação 9
<b>R<sub>V</sub></b>	7,93 x 10 <sup>-7</sup>	3,96 x 10 <sup>-9</sup>	Equação 10
<b>R</b>	1,87 x 10 <sup>-6</sup>	2,42 x 10 <sup>-8</sup>	

Fonte: Autoria Própria

Dessa forma podemos comparar o risco R com o risco tolerável R<sub>T</sub>.

$$R_{\text{DEPOIS}} = 2,42 \times 10^{-8} < R_{\text{ANTES}} = 1,87 \times 10^{-6} < R_T = 1 \times 10^{-5}$$

O valor do risco calculado já com a adição das medidas de proteção sugeridas é bem menor em relação ao valor calculado com a situação real da estrutura, dessa forma é viável a

instalação das medidas de proteção sugeridas a fim de minimizar o risco a qual a estrutura está exposta.

### 7.3 LAUDO TÉCNICO SPDA DO EDIFÍCIO ANDELSON MASCARENHAS DE O. PINTO – CENTRAL DE LABORATÓRIOS DO DEE.

Figura 18: Central de laboratórios do DEE



Fonte: Autoria Própria

#### OBJETIVO

Foi observado que a estrutura não tem proteção para possíveis descargas atmosféricas que venham a atingir a mesma, dessa forma o presente documento tem por objetivo avaliar o risco em relação a perdas de vida humana e equipamentos elétricos, devido a descargas atmosféricas na estrutura do presente bloco, além de comparar o risco atual com o risco implantando as medidas de proteção sugeridas (PDA).

#### PROCEDIMENTO E RESULTADOS

Colheu-se as dimensões do mesmo para o estudo de caso, os valores observados foram:  $L = 30$  m,  $W = 12$  m,  $H = 8$  m,  $HP = 8$  m. Com esses dados foram calculados os parâmetros necessários para a avaliação. Será demonstrado os valores calculados para o gerenciamento de risco de antes e depois já com a adição das medidas de proteção.

Tabela 34: Edificação: características da estrutura e do meio ambiente

<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Comentário Antes / Depois</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b>Densidade de descargas atmosféricas para a terra</b>	(1/km <sup>2</sup> /ano)	N <sub>G</sub>	0,26	0,26	

Parâmetros de entrada	Comentário Antes / Depois	Símbolo	Valor Antes	Valor Depois	Referência
Dimensões da estrutura (m)	Comprimento	L	30,00	30,00	
	Largura	W	12,00	12,00	
	Altura	H	8,00	8,00	
Determinação de AD (Área de exposição equivalente)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$	$A_D$	4.185,56	4.185,56	
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	$C_D$	0,50	0,50	Tabela 6
SPDA	Sem SPDA / SPDA IV	$P_B$	1,00	0,20	Tabela 11
Ligação equipotencial	Sem DPS / SPDA IV	$P_{EB}$	1,00	0,05	Tabela 13
Choque elétrico		$P_A$	1,00	$2,00 \times 10^{-3}$	Equação 17

Fonte: NBR 5919-2 (adaptada)

Tabela 35: Eventos perigosos e probabilidades

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor Antes	Valor Depois	Referência
Comprimento da seção da linha	Valor considerado	$L_L$	100,00	100,00	
Número de eventos perigosos	Para a estrutura	$N_D$	$5,49 \times 10^{-4}$	$5,49 \times 10^{-4}$	Equação 13
Número de eventos perigosos	Linha de energia	$N_{DJ/P}$	$1,10 \times 10^{-4}$	$1,10 \times 10^{-4}$	Equação 14
Número de eventos perigosos	Linha de sinal	$N_{DJ/T}$	$5,49 \times 10^{-4}$	$5,49 \times 10^{-4}$	Equação 14
Número de eventos perigosos	Para a estrutura adjacente	$N_{DJ}$	$6,58 \times 10^{-4}$	$6,58 \times 10^{-4}$	Equação 14
Sobretensões na seção da linha	Linha de energia	$N_{L/P}$	$2,10 \times 10^{-5}$	$2,10 \times 10^{-5}$	Equação 15
Sobretensões na seção da linha	Linha de sinal	$N_{L/T}$	$1,05 \times 10^{-4}$	$1,05 \times 10^{-4}$	Equação 15
Sobretensões na seção da linha	De amplitude não inferior a 1 kV (1/ano)	$N_L$	$1,26 \times 10^{-4}$	$1,26 \times 10^{-4}$	Equação 15
Probabilidade		$P_U$	0,60	$3,0 \times 10^{-4}$	Equação 18

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor Antes	Valor Depois	Referência
De choque elétrico devido a descargas					
Probabilidade de danos físicos devido a descargas na linha		P <sub>V</sub>	0,60	3,0 x 10 <sup>-2</sup>	Equação 19

Fonte: Autoria própria

Tabela 36: Edificação: linha de energia

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor Antes	Valor Depois	Referência
Comprimento (m)		L <sub>L</sub>	100,00	1.000,00	
Fator de instalação	Aéreo	C <sub>I</sub>	1,00	1,00	Tabela 8
Fator tipo de linha	Linha de AT	C <sub>T</sub>	0,20	0,20	Tabela 7
Fator ambiental	Urbano	C <sub>E</sub>	0,10	0,10	Tabela 9
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha aérea não blindada	C <sub>LD</sub>	1,00	1,00	Tabela 15
		C <sub>LI</sub>	1,00	1,00	
Fator de localização da estrutura adjacente	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C <sub>DJ</sub>	0,50	0,50	Tabela 6
Tensão suportável do sistema (kV)		U <sub>W</sub>	2,50	2,50	Tabela 14
Probabilidade dependente da resistência R <sub>s</sub>	Parâmetros resultantes	P <sub>LD</sub>	0,60	0,60	Tabela 14

Fonte: NBR 5919-2 (adaptada)

Tabela 37: Edificação: linha de sinal

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor Antes	Valor Depois	Referência
Comprimento (m)		L <sub>L</sub>	100,00	100,00	

<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Comentário</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b>Fator de instalação</b>	Aéreo	$C_I$	1,00	1,00	Tabela 8
<b>Fator tipo de linha</b>	Linha de AT	$C_T$	1,00	1,00	Tabela 7
<b>Fator ambiental</b>	Urbano	$C_E$	0,10	0,10	Tabela 9
<b>Fator de localização da estrutura adjacente</b>	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	$C_{DJ}$	0,50	0,50	Tabela 6
<b>Blindagem, aterramento, isolamento</b>	Linha aérea não blindada	$C_{LD}$	1,00	1,00	Tabela 15
		$C_{LI}$	1,00	1,00	
<b>Tensão suportável do sistema (kV)</b>		$U_W$	1,50	1,50	Tabela 14
	Parâmetros resultantes	$P_{LD}$	0,80	0,80	Tabela 14

Fonte: NBR 5919-2 (adaptada)

Tabela 38: Parâmetros das perdas

<b>Comentário: Antes / Depois</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b>Concreto</b>	$r_t$	0,01	0,01	Tabela 18
<b>Nenhuma medida de proteção / Equipotencialização efetiva no solo</b>	$P_{TA}$	1,00	0,01	Tabela 10
<b>Nenhuma medida de proteção / Isolação elétrica</b>	$P_{TU}$	1,00	0,01	Tabela 12
<b>Incêndio normal / Incêndio baixo</b>	$r_f$	0,01	$1 \times 10^{-3}$	Tabela 20
<b>Instalações de alarme automático</b>	$r_p$	0,50	0,50	Tabela 19
<b>Perigo especial: médio</b>	$h_z$	5,00	5,00	Tabela 21
<b>D1: devido a tensão de toque e passo</b>	$L_T$	0,01	0,01	Tabela 17
<b>D2: devido a danos físicos</b>	$L_F$	0,10	0,10	
<b>D3: falhas de sistemas internos</b>	$L_O$	0,00	0,00	



<b>Comentário: Antes / Depois</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b><math>n_z</math> é o número de pessoas na zona;</b>	300	0,3571	0,3571	$\frac{n_z}{n_t} = \frac{t_z}{8760}$
<b><math>n_t</math> é o número total de pessoas na estrutura;</b>	300			
<b><math>t_z</math> é o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano.</b>	3.128			
<b>Parâmetros resultantes</b>	$L_A$	$3,57 \times 10^{-5}$	$3,57 \times 10^{-5}$	
	$L_U$	$3,57 \times 10^{-5}$	$3,57 \times 10^{-5}$	
	$L_B$	$8,93 \times 10^{-4}$	$8,93 \times 10^{-5}$	
	$L_V$	$8,93 \times 10^{-4}$	$8,93 \times 10^{-5}$	

Fonte: NBR 5919-2 (adaptada)

Tabela 39: Riscos associados

<b>Riscos</b>	<b>Valor Antes</b>	<b>Valor Depois</b>	<b>Referência</b>
<b><math>R_A</math></b>	$1,96 \times 10^{-8}$	$3,92 \times 10^{-11}$	Equação 7
<b><math>R_B</math></b>	$4,90 \times 10^{-7}$	$9,79 \times 10^{-9}$	Equação 8
<b><math>R_U</math></b>	$1,68 \times 10^{-8}$	$8,40 \times 10^{-12}$	Equação 9
<b><math>R_V</math></b>	$4,20 \times 10^{-7}$	$2,10 \times 10^{-9}$	Equação 10
<b><math>R</math></b>	$9,46 \times 10^{-7}$	$1,19 \times 10^{-8}$	

Fonte: Autoria Própria

Dessa forma podemos comparar o risco  $R$  com o risco tolerável  $R_T$ .

$$R_{DEPOIS} = 1,19 \times 10^{-8} < R_{ANTES} = 9,46 \times 10^{-7} < R_T = 1 \times 10^{-5}$$

O valor do risco calculado já com a adição das medidas de proteção sugeridas é bem menor em relação ao valor calculado com a situação real da estrutura, dessa forma é viável a instalação das medidas de proteção sugeridas a fim de minimizar o risco a qual a estrutura está exposta.