



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – Uniceub**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**FELLIPE DE MELLO FERNANDES**

**ESTUDO DE CASO PARA IMPLEMENTAÇÃO DA NORMA NBR 5419:2015 NOS  
BLOCOS 3, 4, 5 E 8 DO CAMPUS ASA NORTE DO UNICEUB**

Brasília  
2018

FELLIPE DE MELLO FERNANDES

**ESTUDO DE CASO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA NORMA NBR 5419:2015 NOS  
BLOCOS 3, 4, 5 E 8 DO CAMPUS ASA NORTE DO UNICEUB**

Trabalho apresentado ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) como pré-requisito para a obtenção de Certificado de Conclusão de Curso de Engenharia de Elétrica.

Brasília

2018

FELLIPE DE MELLO FERNANDES

**ESTUDO DE CASO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA NORMA NBR 5419:2015 NOS  
BLOCOS 3, 4, 5 E 8 DO CAMPUS ASA NORTE DO UNICEUB**

Trabalho apresentado ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) como pré-requisito para a obtenção de Certificado de Conclusão de Curso de Engenharia de Elétrica.

Brasília, 11 de dezembro de 2018

**Banca Examinadora:**

---

Prof. MSc. Luciano Henrique Duque  
Orientador

---

Prof. MSc. Alcinéia Silva de Aguiar  
Membro da banca

---

Prof. MSc. Nilo Sérgio Soares Ribeiro  
Membro da banca

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus por ter iluminado o meu caminho para a escolha e a produção deste trabalho.

Aos meus familiares, amigos e colegas por me apoiarem e auxiliarem para a escolha e produção deste trabalho em 14 semanas.

Ao meu orientador, Prof. Msc. Luciano Duque, por estar sempre presente para me auxiliar com a produção deste trabalho.

Ao UniCEUB por possuir um acervo de livros em sua biblioteca e laboratórios de boa qualidade, os quais me auxiliaram para a produção deste trabalho.

*“A vaidade da ignorância é um abismo de miséria humana”*

*(Olavo de Carvalho)*

## RESUMO

Mesmo muitas pessoas possuírem o conhecimento a respeito dos impactos provocados por descargas atmosféricas, muitas estruturas antigas não possuem sistemas de proteção contra descargas atmosféricas ou esses sistemas não estão em conformidade com a norma vigente da NBR 5419, sendo que ambos os casos estão presentes no campus Asa Norte do UniCEUB. Neste contexto, a proposta do trabalho foi implementar sistemas de proteção contra descargas atmosféricas em algumas estruturas do UniCEUB com o intuito de aumentar a segurança das pessoas dentro e em torno dessas estruturas e proteger os sistemas internos contra as descargas atmosféricas. Para elaborar esse estudo de caso e posteriormente avaliar seus impactos, foi necessário discorrer a respeito dos parâmetros e impactos das descargas atmosféricas, revisar a bibliográfica a respeito da norma NBR 5419, a qual se expõe sobre as proteções de estruturas contra descargas atmosféricas, demonstrar os diferentes sistemas de proteção contra descargas atmosféricas e por fim comparar as normas vigentes e precedente da NBR 5419.

**Palavras-chave:** ABNT – NBR 5419. Descargas atmosféricas. Gerenciamento de risco. Sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

## **ABSTRACT**

Even many people are aware of the atmospheric discharge impacts, many structures do not have lightning protection systems, or these systems are not complying with the current NBR 5419 norm, whereas both situations are presented on the Asa Norte campus of UniCEUB. In this context, the work proposal was intended to implement lightning protection systems in some UniCEUB structures in order to increase the people safety inside and around these structures and to protect internal systems against atmospheric discharges. To elaborate this case study and later to evaluate its impacts, it was necessary to describe the atmospheric discharge parameters and impacts, to review the bibliography regarding the NBR 5419 norm, which exposes the structure protections against atmospheric discharges, to demonstrate the different protection systems against atmospheric discharges and to compare the current and precedent NBR 5419 norms.

**Keywords:** ABNT – NBR 5419. Atmospheric discharges. Risk management. Protection system against atmospheric discharges.

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1.1 – Fontes de dados conforme o local de impacto .....	18
Figura 1.2 – Diagrama Esquemático do desenvolvimento do projeto. ....	21
Figura 2.1 – Distribuição das cargas elétricas das nuvens e do solo.....	25
Figura 2.2 – Formação de uma descarga atmosférica .....	26
Figura 2.3 – Densidade de raios no Brasil .....	26
Figura 2.4 – Impulso da corrente quando $T_2 < 2 \text{ ms}$ .....	28
Figura 2.5 – Impulso de corrente quando $2 \text{ ms} < T_{\text{longa}} < 1 \text{ s}$ .....	28
Figura 2.6 – Prováveis componentes de descargas atmosféricas descendentes .....	29
Figura 2.7 – Prováveis componentes de descargas atmosféricas ascendentes .....	30
Figura 2.8 – ZPR definida por um SPDA de uma estrutura.....	35
Figura 2.9 – Região de exposição correspondente de uma estrutura .....	42
Figura 2.10 – Exemplo de uma estrutura de arquétipo complexo .....	43
Figura 2.11 – Região de exposição correspondente de uma estrutura complexa.....	43
Figura 2.12 – Valores dos ângulos de proteção conforme a classe do SPDA .....	63
Figura 2.13 – Laço de um condutor do subsistema de descida .....	65
Figura 2.14 – Valor mínimo do comprimento do eletrodo de aterramento conforme a classe do SPDA .....	67
Figura 2.15 – Princípios gerais para a divisão de diferentes ZPR.....	70
Figura 2.16 – Ilustração do escoamento da descarga atmosférica .....	73
Figura 2.17 – Volume de proteção fornecido pelo mastro do para-raios.....	74
Figura 2.18 – Determinação da distância do raio da esfera .....	78
Figura 2.19 – Ilustrações do subsistema de captação em conformidade com o método da esfera rolante .....	79
Figura 2.20 – Diagrama de blocos da necessidade do SPDA conforme a norma NBR 5419:2005 .....	82
Figura 2.21 – Procedimento se há necessidade da proteção de uma estrutura conforme a norma NBR 5419:2015.....	83
Figura 2.22 – Dimensão mínima dos eletrodos de aterramento em decorrência dos níveis e da resistividade do solo.....	86
Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto .....	90



Figura 3.2 – Imagem 3D do bloco 3 do campus Asa Norte do UniCEUB.....	93
Figura 3.3 – Localização do captor e das descidas da lateral esquerda do Bloco 3 .	93
Figura 3.4 – Localização do captor e das descidas da lateral direita do bloco 3.....	94
Figura 3.5 – Imagem 3D dos blocos 4, 5 e 8 do campus Asa Norte do UniCEUB ....	97
Figura 3.6 – Localização da malha removida e das descidas frontais do Bloco Único .....	97
Figura 3.7 – Localização da malha removida e das descidas posteriores do Bloco Único .....	98
Figura 3.8 – Localização da malha removida e do captor do Bloco Único de acordo com a posição posterior do Bloco Único. ....	98
Figura 3.9 – Densidade de descarga atmosférica para a terra na região do UniCEUB .....	100
Figura 3.10 – Características da estrutura e do meio ambiente, da linha de energia, linha de sinal e da zona de exposição e tipo de perda de vida humana do bloco 3	102
Figura 3.11 – Características da estrutura e do meio ambiente, da linha de energia, linha de sinal e da zona de exposição e tipo de perda de vida humana do Bloco Único .....	104
Figura 3.12 – Valores dos componentes de risco e risco total $R_1$ para o bloco 3, conforme a planilha de risco.....	106
Figura 3.13 – Valores dos componentes de risco e risco total $R_1$ para o Bloco Único, conforme a planilha de risco.....	107
Figura 3.14 – Localização do SPDA em uma planta baixa simples do bloco 3.....	109
Figura 3.15 – Legenda dos símbolos utilizados para a planta baixa do SPDA instalado atualmente nos blocos .....	110
Figura 3.16 – Localização do SPDA em uma planta baixa simples do Bloco Único	111
Figura 3.17 – Localização da passagem do cabo do subsistema de aterramento do bloco 3.....	113
Figura 3.18 – Projeto da planta baixa do SPDA do bloco 3 .....	114
Figura 3.19 – Legenda dos símbolos utilizados para o projeto da planta baixa do SPDA .....	115
Figura 3.20 - Localização da passagem do cabo do subsistema de aterramento do Bloco Único .....	118
Figura 3.21 – Projeto da planta baixa do SPDA do Bloco Único .....	119

Figura 3.22 – Valores alterados de $R_A$ , $R_B$ , $R_U$ , $R_V$ e $R_1$ total para o bloco 3, conforme a implementação de medidas protetivas apontadas pelas setas .....	120
Figura 3.23 – Estado atual do quadro intermediário do bloco 3 .....	121
Figura 3.24 – Valores alterados de $R_A$ , $R_B$ , $R_U$ , $R_V$ e $R_1$ total para o Bloco Único, conforme a implementação de medidas protetivas apontadas pelas setas .....	122
Figura 3.25 – Estado atual dos quadros intermediários dos blocos 4, 5 e 8 respectivamente. ....	124
Figura 4.1 – Entrada que deve ser interditada com a instalação dos componentes do subsistema de aterramento do bloco 3 .....	127
Figura 4.2 – Passagens que devem ser interditadas com a instalação dos componentes do subsistema de aterramento do Bloco Único .....	129

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Valores da probabilidade $P$ de acordo com a corrente da descarga atmosférica.....	27
Quadro 2.2 – Associação entre fonte de danos e tipos de danos e de perdas .....	33
Quadro 2.3 – Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura .....	38
Quadro 2.4 – Condições que instigam os componentes de risco.....	39
Quadro 2.5 – Valores específicos de risco tolerável $R_T$ .....	40
Quadro 2.6 – Grandeza do fator de localização da estrutura $C_D$ .....	44
Quadro 2.7 - Grandeza do fator conforme o tipo de linha $C_T$ .....	44
Quadro 2.8 – Grandeza do fator conforme o tipo de instalação da linha $C_I$ .....	45
Quadro 2.9 – Grande do fator conforme o ambiental da linha $C_E$ .....	46
Quadro 2.10 – Grandeza dos valores da probabilidade $P_{TA}$ .....	48
Quadro 2.11 – Grandeza dos valores da probabilidade $P_B$ .....	48
Quadro 2.12 - Grandeza dos valores da probabilidade de $P_{SPD}$ .....	49
Quadro 2.13 – Grandeza dos valores dos fatores $C_{LD}$ e $C_{LI}$ .....	49
Quadro 2.14 – Grandeza do valor do fator $K_{S3}$ .....	51
Quadro 2.15 – Grandeza dos valores da probabilidade $P_{TU}$ .....	52
Quadro 2.16 – Grandeza dos valores da probabilidade $P_{EB}$ .....	52
Quadro 2.17 – Grandeza dos valores da probabilidade $P_{LD}$ .....	53
Quadro 2.18 – Grandeza dos valores da probabilidade $P_{LI}$ .....	54
Quadro 2.19 – Valores da perda para cada zona do tipo de perda L1 .....	54
Quadro 2.20 – Grandeza dos valores médios específicos de $L_T$ , $L_F$ e $L_O$ para perda tipo L1 .....	56
Quadro 2.21 – Grandeza do fator $r_t$ .....	56
Quadro 2.22 - Grande do fator $r_p$ .....	57
Quadro 2.23 – Grandeza do fator $r_f$ .....	57
Quadro 2.24 - Grandeza do fator $h_z$ .....	57
Quadro 2.25 – Valores da perda para cada zona do tipo de perda L2.....	58
Quadro 2.26 – Grandeza dos valores médios específicos de $L_F$ e $L_O$ para perda tipo L2 .....	58
Quadro 2.27 – Valores da perda para cada zona do tipo de perda L3.....	58

Quadro 2.28 – Valores da perda para cada zona do tipo de perda L4 .....	59
Quadro 2.29 – Grandeza dos valores médios específicos de $L_T$ , $L_F$ e $L_O$ para perda tipo L4 .....	59
Quadro 2.30 – Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fontes de danos .....	60
Quadro 2.31 – Correlações entre os níveis de proteção contra as descargas atmosféricas e as classes de SPDA da estrutura.....	61
Quadro 2.32 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA .....	63
Quadro 2.33 – Espaçamento entre os condutores de descida e entre anéis condutores conforme a classe do SPDA.....	64
Quadro 2.34 – Coeficiente $k_i$ conforme o nível de proteção .....	66
Quadro 2.35 – Coeficiente $k_m$ conforme o material isolante .....	66
Quadro 2.36 - Coeficiente $k_c$ conforme o número de descidas.....	66
Quadro 2.37 – Áreas de seções mínimas dos condutores que conectam barramentos de equipotencialização entre si ou ao sistema de aterramento.....	69
Quadro 2.38 – Áreas de seções mínimas dos condutores que conectam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização .....	69
Quadro 2.39 – Valores mínimos de seção transversal que cada componente de equipotencialização e material deve atender .....	71
Quadro 2.40 – Material conforme sua configuração e áreas mínimo para condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas .....	75
Quadro 2.41 – Material conforme sua configuração e áreas mínimas de eletrodo de aterramento .....	77
Quadro 2.42 – Eficiência do nível de proteção.....	81
Quadro 2.43 – Posicionamento de captores conforme o nível de proteção .....	84
Quadro 2.44 – Valores para a largura do módulo da malha e o afastamento máximo dos condutores da malha .....	85
Quadro 2.45 – Espaçamento entre os condutores de descida conforme o nível de proteção .....	85
Quadro 2.46 – Grandezas do coeficiente $K_i$ em decorrência ao nível de proteção do SPDA .....	87
Quadro 2.47 – Principais alterações na norma vigente conforme a versão de 2005	87

Quadro 3.1 – Relação entre fonte de danos, tipos de danos e perdas para os blocos 3, 4, 5 e 8 .....	99
Quadro 3.2 – Valores dos parâmetros de entrada idênticos para o bloco 3 e para o Bloco Único correspondente ao risco total $R_1$ .....	100
Quadro 3.3 – Valores específicos dos parâmetros de entrada idênticos para o bloco 3 correspondente ao risco total $R_1$ .....	103
Quadro 3.4 – Valores específicos dos parâmetros de entrada idênticos para o Bloco Único correspondente ao risco total $R_1$ .....	105
Quadro 3.5 – Valores dos componentes de risco e risco total $R_1$ para o Bloco 3 ...	106
Quadro 3.6 – Valores dos componentes de risco e risco total $R_1$ para o Bloco Único .....	107
Quadro 3.7 – Comparação dos valores dos parâmetros e dos componentes alterados do bloco 3.....	120
Quadro 3.8 – Comparação dos valores dos parâmetros e dos componentes alterados do Bloco Único .....	123
Quadro 4.1 – Custo de cada material para a implementação dos SPDAs .....	131
Quadro 4.2 – Custo dos profissionais para a instalação dos SPDAs .....	132

## LISTAS DE ABREVIações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
LEMP	<i>Lightning Electromagnetic Impulse</i>
NBR	Norma Brasileira
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
ZPR	Zona de Proteção contra descargas atmosféricas "Raio"

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1	Objetivos do Trabalho	19
1.1.1	Objetivo geral	19
1.1.2	Objetivos Específico	19
1.2	Metodologia	20
1.3	Resultados esperados	21
1.4	Motivação	21
1.5	Trabalhos Correlatos	22
1.6	Estrutura do trabalho	22
<b>2</b>	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO</b>	<b>24</b>
2.1	Descargas atmosféricas	24
2.1.1	Origem das descargas atmosféricas	24
2.1.2	Principais parâmetros das descargas atmosféricas	26
2.2	NBR 5419:2015	31
2.2.1	Parte 1 – Princípios Gerais	31
2.2.2	Parte 2 – Gerenciamento de risco	35
2.2.2.1	Quantia de fenômenos perigosos por ano $N_x$	41
2.2.2.2	Probabilidade de dano à estrutura $PX$	46
2.2.2.3	Quantidade de perda $LX$	54
2.2.3	Parte 3 – Danos físicos a estruturas e perigos à vida	61
2.2.3.1	Subsistema de captação	62
2.2.3.2	Subsistema de descida	64
2.2.3.3	Subsistema de aterramento	67
2.2.4	Parte 4 – Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura	69

2.3	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas – SPDA	72
2.3.1	Método do ângulo de proteção	73
2.3.2	Método da esfera rolante	77
2.3.3	Método das malhas	79
2.4	Comparação entre a NBR 5419:2015 e a NBR 5419:2005	80
2.4.1	Princípios gerais	80
2.4.2	Gerenciamento de risco	81
2.4.3	Danos físicos a estruturas e perigos à vida	84
2.4.4	Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura	87
2.4.5	Síntese das principais alterações entre a NBR 5419:2005 e NBR 5419:2015	87
3	ESTUDO DE CASO	89
3.1	Identificação da estrutura a ser protegido	91
3.1.1	Bloco 3	91
3.1.2	Blocos 4, 5 e 8	94
3.2	Identificação das fontes de dano, tipos de danos, tipos de perdas e da densidade das descargas atmosféricas na região da estrutura	99
3.3	Cálculo dos valores dos parâmetros de entrada	100
3.3.1	Cálculo dos valores dos parâmetros de entrada do bloco 3101	
3.3.2	Cálculo dos valores dos parâmetros de entrada do Bloco Único	104
3.4	Cálculo dos componentes de risco	106
3.4.1	Cálculo dos componentes de risco do bloco 3	106
3.4.2	Cálculo dos componentes de risco do Bloco Único	106
3.5	Necessidade de proteção	107
3.5.1	Necessidade de proteção para o bloco 3	107
3.5.2	Necessidade de proteção para o Bloco Único	108



3.6	Inspeção do SPDA .....	108
3.6.1	<i>Inspeção do SPDA do bloco 3</i> .....	108
3.6.2	<i>Inspeção do SPDA do Bloco Único</i> .....	110
3.7	Proposta de implementação ou atualização do SPDA.....	111
3.7.1	<i>Proposta de implementação ou atualização do SPDA do bloco 3</i> .....	111
3.7.2	<i>Proposta de implementação ou atualização do SPDA do Bloco Único</i> .....	115
3.8	Necessidade de instalação de MPS.....	119
3.8.1	<i>Necessidade de instalação de MPS no bloco 3</i> .....	119
3.8.2	<i>Necessidade de instalação de MPS do Bloco Único</i> .....	122
4	<b>AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO</b> .....	125
4.1	<b>Avaliação dos impactos causados com a implementação do SPDA</b> .....	125
4.1.1	<i>Avaliação dos impactos causados com a implementação do SPDA no bloco 3</i> .....	125
4.1.2	<i>Avaliação dos impactos causados com a implementação do SPDA no Bloco Único</i> .....	127
4.2	<b>Avaliação dos benefícios da implementação dos SPDAs conforme a norma NBR 5419:2015</b> .....	130
4.3	<b>Avaliação dos custos para a implementação dos SPDAs conforme a norma NBR 5419:2015</b> .....	130
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	133
5.1	<b>Propostas de trabalhos futuros</b> .....	134
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	135
	<b>ANEXO A</b> .....	136

## 1 INTRODUÇÃO

A descarga atmosférica é definida como uma ocorrência de descarga elétrica entre uma *Cumulonimbus*, nuvem convectiva eletrificada, e uma superfície que transforma a energia eletrostática, da *Cumulonimbus*, em energia eletromagnética, térmica e acústica. Essa descarga elétrica é extremamente rápida e intensa. Ela possui uma duração na ordem de 100  $\mu$ s a alguns ms e uma magnitude de corrente entre 5 kA e 80 kA (NERY, 2011).

As descargas atmosféricas possuem diversas características além de sua duração e corrente. Elas podem ser descargas ascendentes ou descendentes. As descargas ascendentes decorrem de uma determinada estrutura ou solo para a nuvem, já as descendentes decorrem da nuvem em direção para uma determinada estrutura ou solo. Também podem ser classificadas conforme sua polaridade, positiva ou negativa, e a duração de seu impulso, sendo esse impulso inferior a 2 ms ou excedente a 2 ms (ABNT, 2015).

As maiores precauções em relação às descargas atmosféricas são seus diversos contratempos quando elas atingem diretamente ou indiretamente seres vivos, as estruturas e sistemas internos dessas estruturas, os quais não apresentam sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). Esses contratempos envolvem lesões a seres vivos, danos na parte exterior das estruturas, danos nas instalações no interior da estrutura, perturbações nas linhas de distribuição de energia e detrimento de valores culturais e econômicos. (ABNT, 2015; MAMEDE, 2017)

As descargas atmosféricas são eventos climáticos naturais que não são controlados mediante a atividade humana, logo o único meio de proteger as estruturas, seus conteúdos e as pessoas em seu interior e em entorno é por intermédio do SPDA. Com o objetivo de amenizar os impactos provocados por descargas atmosféricas, a Associação Brasileira de normas técnicas (ABNT) produziu a norma NBR 5419, denominada “Proteção contra descargas atmosféricas”. (ABNT, 2015)

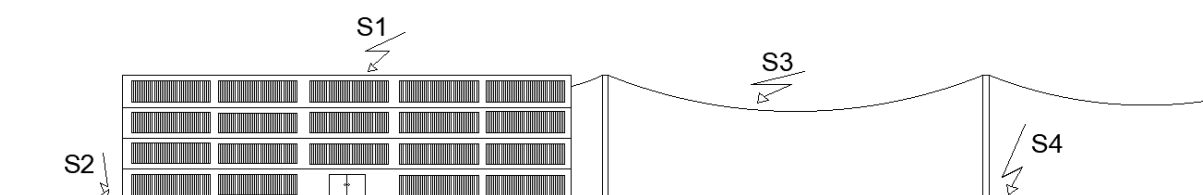
A norma de proteção contra descargas atmosféricas que está em vigor atualmente é a NBR 5419:2015. Ela é embasada na norma internacional IEC 62305 e é um aperfeiçoamento da norma NBR 5419:2005. A versão vigente é dividida em quatro partes:

- Parte 1 – Princípios gerais: esta divisão da norma estabelece de forma geral os parâmetros e danos provocados pelas descargas atmosféricas e expõe as vantagens econômicas de proteção e as medidas de proteção contra as descargas atmosféricas;
- Parte 2 – Gerenciamento de risco: esta divisão da norma estipula as condições para análise de risco em uma determinada estrutura em consequência de descargas atmosféricas. Também proporciona uma metodologia para a avaliação de riscos;
- Parte 3 – Danos físicos a estruturas e perigos à vida: esta divisão da norma estabelece requisitos de proteção no interior e em torno da estrutura contra danos físicos e lesões a seres vivos provocados por tensões de toque e passo oriundos das descargas atmosféricas;
- Parte 4 – Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura: esta divisão da norma estabelece, por intermédio de medidas de proteção reduzir os riscos de danos provocados principalmente por LEMP (Pulso eletromagnético provocadas por descargas atmosféricas) nos sistemas eletrônicos e elétricos presentes no interior das estruturas.

A principal fonte de danos das descargas atmosféricas é através de sua corrente. Esta corrente possui quatro locais de impactos que são identificados em S1 (Descargas atmosféricas que alvejam a estrutura), S2 (Descarga atmosféricas na proximidade da estrutura), S3 (Descargas atmosféricas na extensão da linha) e S4 (Descargas atmosféricas na proximidade da linha). Além disso, elas estão classificadas em descargas diretas, as quais tem relação direta com estruturas e linhas, e as descargas indiretas, as quais alvejam um local próximo a estruturas e linhas (ABNT, 2015).

A figura 1.1 exemplifica os quatro locais de impacto.

Figura 1.1 – Fontes de dados conforme o local de impacto



Fonte: Elaboração própria.

Atualmente, os blocos do UniCEUB não possuem seus SPDAs conforme a norma vigente, sendo assim os SPDAs instalados nos blocos estão conforme alguma norma antiquada.

Esse trabalho visa avaliar a situação atual dos SPDAs nos blocos do campus Asa Norte do UniCEUB, analisar o risco da estrutura contra as descargas atmosféricas conforme a norma NBR 5419-2:2015, elaborar projetos de SPDA e avaliar os impactos causados com a implementação desses SPDAs.

## **1.1 Objetivos do Trabalho**

Os objetivos desse trabalho proposto são delimitados em objetivo geral e objetivos específicos.

### **1.1.1 Objetivo geral**

O trabalho tem como objetivo geral verificar os impactos nos SPDAs dos blocos 3, 4, 5 e 8 do campus Asa Norte do Centro Universitário de Brasília causados com a atualização da norma NBR 5419:2005 para a norma NBR 5419:2015.

### **1.1.2 Objetivos Específico**

- Avaliar a relevância da NBR 5419:2015;
- Apresentar as distinções entre a NBR 5419:2005 e a NBR 5419:2015;
- Inspeccionar os SPDAs instalados nos blocos 3, 4, 5 e 8;
- Apresentar os resultados das inspeções dos blocos 3, 4, 5 e 8;
- Calcular os riscos conforme a norma NBR 5419:2015;
- Propor a implementação da norma NBR 5419:2015 nos blocos 3, 4, 5 e 8;
- Avaliar os impactos causados nos blocos 3, 4, 5 e 8 com o projeto de implementação da proteção contra descargas atmosféricas;
- Avaliar os resultados do projeto da implementação da proteção contra descargas atmosféricas nos blocos 3, 4, 5 e 8;

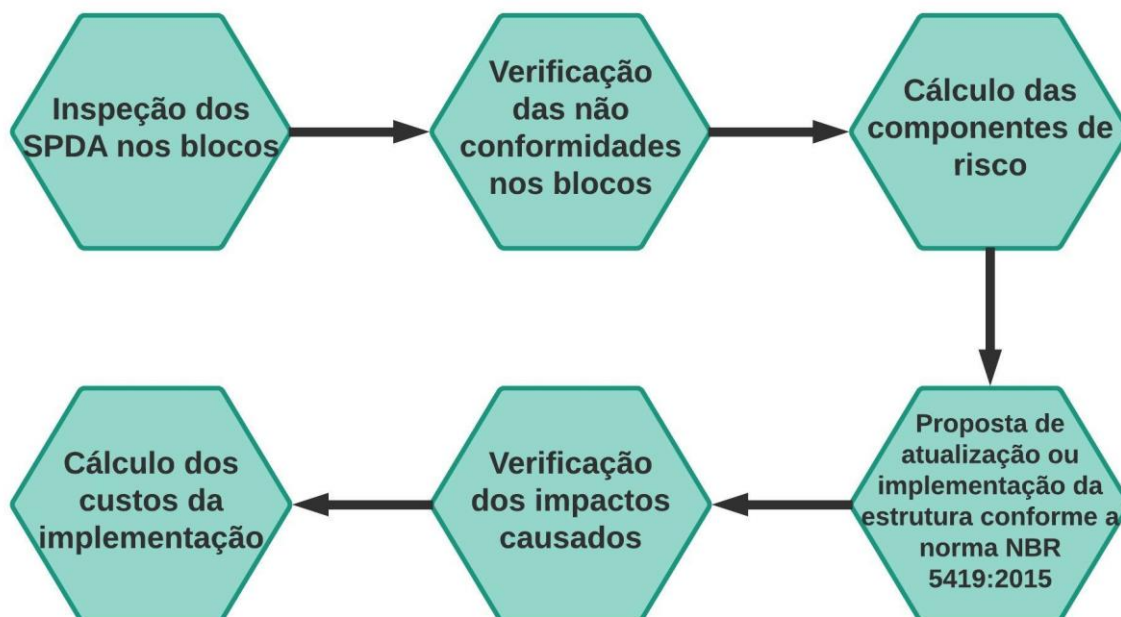
## 1.2 Metodologia

O trabalho proposto adere a metodologia de estudo de caso, ou seja, é um método qualitativo que estuda a situação do problema do ambiente e busca uma solução para resolvê-lo. Nesse contexto, para atingir os objetivos específicos, o projeto é segmentado em sete etapas:

- A primeira etapa é constituída na revisão bibliográfica, a respeito dos conhecimentos em proteções contra descargas atmosféricas, com ênfase na norma NBR 5419:2015.
- A segunda etapa é embasada na análise e verificação dos SPDAs instalados nos blocos 3, 4, 5 e 8.
- A terceira etapa é formada pela apresentação de resultados obtidos por intermédio das inspeções dos blocos 3, 4, 5 e 8.
- A quarta etapa está fundada na proposta da implementação da norma NBR 5419:2015 nos blocos 3, 4, 5 e 8.
- A quinta etapa é embasada no projeto da instalação de SPDAs para os blocos 3, 4, 5 e 8.
- A sexta etapa é composta pela avaliação e mitigação dos impactos causados nos blocos 3, 4, 5 e 8 com a implementação do projeto proposto.
- A sétima etapa é definida através da avaliação de custos para a implementação dos SPDAs nos blocos 3, 4, 5 e 8, conforme a norma NBR 5419:2015.

A figura 1.2 mostra, de forma simplificada, a metodologia que é utilizada para elaborar este projeto.

Figura 1.2 – Diagrama Esquemático do desenvolvimento do projeto.



Fonte: Elaboração própria

### 1.3 Resultados esperados

Com o trabalho aqui realizado, espera-se conseguir encontrar soluções economicamente viáveis para a implementação ou atualização dos SPDAs nos blocos 3, 4, 5 e 8 do campus Asa Norte, ocorrer grandes transtornos durante a implementação ou atualização dos SPDAs, mitigar os riscos de danos à equipamentos elétricos e eletrônicos e aumentar a segurança dos seres humanos que estão no interior e no entorno das estruturas.

### 1.4 Motivação

A motivação do trabalho proposto é baseada em aumentar o nível de segurança em combate às incidências de descargas atmosféricas nos blocos, verificar os riscos que as descargas atmosféricas podem provocar nos blocos, em seu conteúdo e às pessoas no interior e ao redor dos blocos e avaliar os impactos e custos para a implementação de SPDAs conforme a norma NBR 5419:2015.

## 1.5 Trabalhos Correlatos

Há alguns trabalhos correlatos que foram desenvolvidos anteriormente que complementam os pontos abordados no presente trabalho. Um deles é o trabalho de (MARINHO, 2018), Avaliação de risco de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, este trabalho apresenta uma avaliação de risco a respeito de uma determinada estrutura segundo a segunda parte da NBR 5419:2015. Ao final do trabalho, o autor conclui que o gerenciamento de risco concede avaliar uma determinada estrutura de uma forma mais íntegra a respeito se há necessidade ou não para a instalação de SPDA.

O trabalho de (ANDRADE, 2017), Análise e proposta da adequação da proposta contra descargas atmosféricas do IFBA – Campus de São Paulo Afonso conforme a norma NBR 5419:2015, já busca alcançar um nível mínimo de segurança para a atualização do SPDA do campus de São Paulo Afonso.

Pode-se citar também o trabalho de (MARTINS, 2017), Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas, que demonstra de maneira precisa a respeito da norma NBR 5419:2015 e frisa as implicações das alterações entre a versão da norma precedente com a vigente.

O diferencial desse trabalho em relação aos demais é a avaliação e mitigação das estruturas ao implementar ou atualizar os SPDAs conforme a norma vigente da NBR 5419 e avaliar o custo que essa implementação ou atualização traz para a instituição. Já que os trabalhos correlatos demonstram as implicações das alterações entre as versões da norma NBR 5419, avaliação de risco de uma estrutura a adequação do SPDA sem envolver os custos.

## 1.6 Estrutura do trabalho

Este trabalho está esquematizado da seguinte forma:

O capítulo 1 é composto pela introdução aos assuntos tratados, objetivo geral, objetivo específico, metodologia utilizada para realizar o trabalho, resultados esperados, motivação para essa produção e trabalhos correlatos.

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico com o enfoque nos parâmetros da descarga atmosférica, revisão bibliográfica da norma NBR 5419:2015, demonstração dos SPDAs e comparação entre a norma vigente e precedente da NBR 5419.

O capítulo 3 trata sobre a inspeção dos blocos 3, 4, 5 e 8, avaliação e apresentação dos SPDAs atualmente instalados, demonstração da proposta de implementação dos SPDAs conforme a norma NBR 5419:2015 e a necessidade de instalação de medidas de proteção contra surtos (MPS).

O capítulo 4 consiste na avaliação dos impactos e dos custos provocados nos blocos 3, 4, 5 e 8 com a implementação dos SPDAs conforme a norma NBR 5419:2015.

Por fim, o capítulo 5 demonstra as considerações finais a respeito da conclusão do trabalho proposto e propostas para trabalhos futuros.



## 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Este capítulo aborda a respeito das descargas atmosféricas para a compreensão de seus parâmetros, a avaliação da norma NBR 5419:2015 por ela ser a base da implementação de SPDA, a avaliação dos métodos de SPDA para a captação das descargas atmosféricas e as comparações entre a norma precedente e vigente com a finalidade de identificar suas principais mudanças.

### 2.1 Descargas atmosféricas

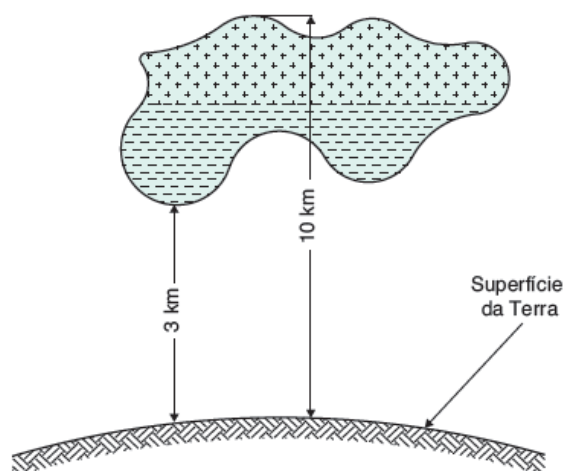
O conceito de descargas atmosféricas é segmentado entre sua formação e seus parâmetros de descarga.

#### 2.1.1 Origem das descargas atmosféricas

As nuvens são formadas mediante de inúmeras quantidades de partículas de água, que primeiramente foram evaporadas. Quando o vapor da água se mistura com o ar e emerge para camadas mais frias da atmosfera, as partículas de água se expandem e diminuem sua densidade. Se em uma determinada camada, a temperatura for igual ou inferior ao ponto de condensação, o vapor se transforma em líquido, conseqüentemente em gotículas e por fim, se transforma em nuvens (CREDER, 2013).

As nuvens que produzem chuvas sem relâmpago são denominadas *Cumulus Congestus*. Quando há ocorrência de ventos ascendentes de forte intensidade e instabilidades térmicas na atmosfera, as partículas de água dentro da nuvem começam a se friccionar. Após esse processo, na maioria dos casos, cargas elétricas positivas surgem na parte superior da nuvem e cargas elétricas negativas surgem na parte inferior da nuvem como é demonstrado na figura 2.1. Devido a essa característica bipolar, a nuvem *Cumulus Congestus* se transforma em *Cumulonimbu* (CREDER, 2013; NISKIER; MACINTYRE, 2013).

Figura 2.1 – Distribuição das cargas elétricas das nuvens e do solo.



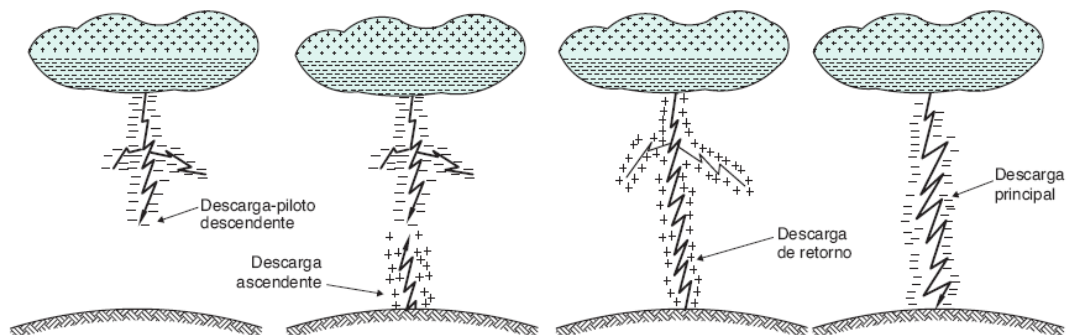
Fonte: (MAMEDE, 2017)

Quando a *Cumulonimbu* possui um grande acúmulo de cargas elétricas negativas, ela repele os elétrons da superfície transformando-a em uma superfície eletricamente positiva. Sendo assim, a carga positiva induzida da superfície assume o mesmo valor da carga negativa da nuvem. O ar, que apresenta uma altíssima rigidez dielétrica, dificulta a descarga elétrica da nuvem em direção à superfície. Entretanto, com o aumento do gradiente de tensão, a nuvem atinge um valor tão alto que supera a rigidez dielétrica do ar resultando na ocorrência da descarga atmosférica (MAMEDE, 2017)

A primeira descarga atmosférica, é uma descarga descendente e é denominada descarga piloto, pois ela melhora as condições de condutibilidade do ar por meio da ionização do caminho que a mesma percorre em direção à superfície. Com o ar ionizado, uma segunda descarga descendente, denominada de descarga-guia, percorre esse caminho. Em conjunto essa descarga, ocorre uma descarga ascendente vindo de um ponto da superfície, que pode ser do para-raios ou da superfície do solo. Ambas descargas entram em contato e prosseguem em alta velocidade até a nuvem. Essa junção de duas descargas em uma única é denominada de descarga de retorno. (MAMEDE, 2017)

A figura 2.2 demonstra o percurso tomado pelas descargas atmosféricas, conforme o que foi descrito acima.

Figura 2.2 – Formação de uma descarga atmosférica



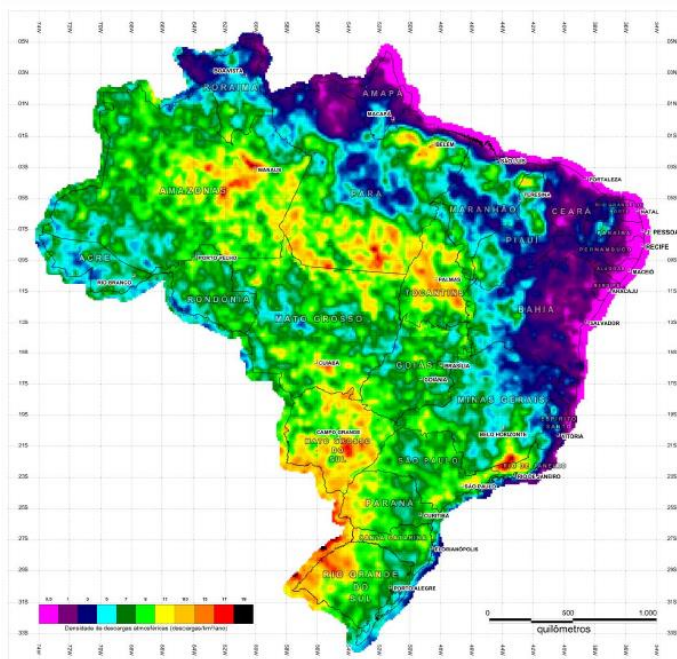
Fonte: (MAMEDE, 2017)

### 2.1.2 Principais parâmetros das descargas atmosféricas

Segundo (CREDER, 2013), os parâmetros mais importantes das descargas atmosféricas são as suas frequências de ocorrência, suas intensidades e polaridades de suas correntes e seus ângulos de incidência.

A figura 2.3 exibe a frequência da incidência de raios que ocorrem por  $\text{km}^2$  por ano no Brasil. As frequências são demonstradas no mapa por meio das cores das paletas da extremidade de escala, começando em lilás claro como 0,5 e terminando em preto como 19.

Figura 2.3 – Densidade de raios no Brasil



Fonte: Adaptado de (MARTINS, 2017)

As descargas atmosféricas podem produzir uma corrente de até 600 kA, entretanto arduamente as descargas atmosféricas conseguem produzir correntes acima de 50 kA (ABNT, 2015).

O quadro 2.1 exhibe a probabilidade da ocorrência de determinados valores de correntes das descargas atmosféricas.

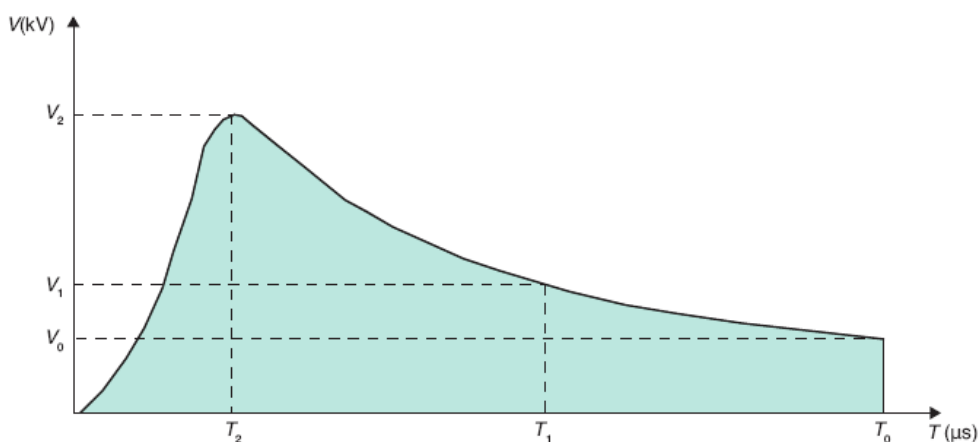
Quadro 2.1 – Valores da probabilidade P de acordo com a corrente da descarga atmosférica

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

Fonte: (ABNT, 2015)

Antes de mencionar as polaridades, é importante frisar que as correntes de descargas atmosféricas são classificadas conforme a duração de seus impulsos. Os impulsos são classificados em impulso de corrente, impulso com duração inferior a 2 ms, e componente longa, impulso com duração excedente a 2 ms (ABNT, 2015). As figuras 2.4 e 2.5 demonstram os dois modelos de impulso.

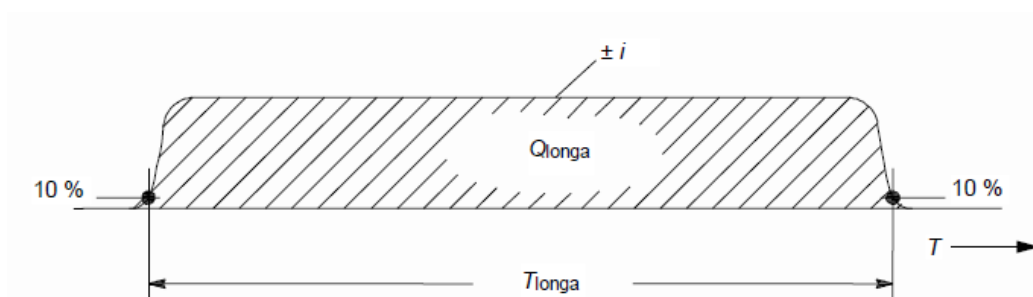
Figura 2.4 – Impulso da corrente quando  $T_2 < 2 \text{ ms}$



Fonte: (MAMEDE, 2017)

Pode-se constatar, pela figura acima, que o impulso possui uma duração de até 2 ms. O valor máximo da corrente,  $V_2$ , de uma descarga atmosférica possui um impulso que ocorre no tempo  $T_2$ . O ponto que a curva da corrente declina para 50% de seu valor de pico é o valor médio da calda da onda,  $V_1$ , e ela ocorre no tempo  $T_1$ . Após isso, a corrente da descarga atmosférica vai decaindo lentamente até seu valor final,  $V_0$ , no tempo  $T_0$ . (ABNT, 2015)

Figura 2.5 – Impulso de corrente quando  $2 \text{ ms} < T_{longa} < 1 \text{ s}$



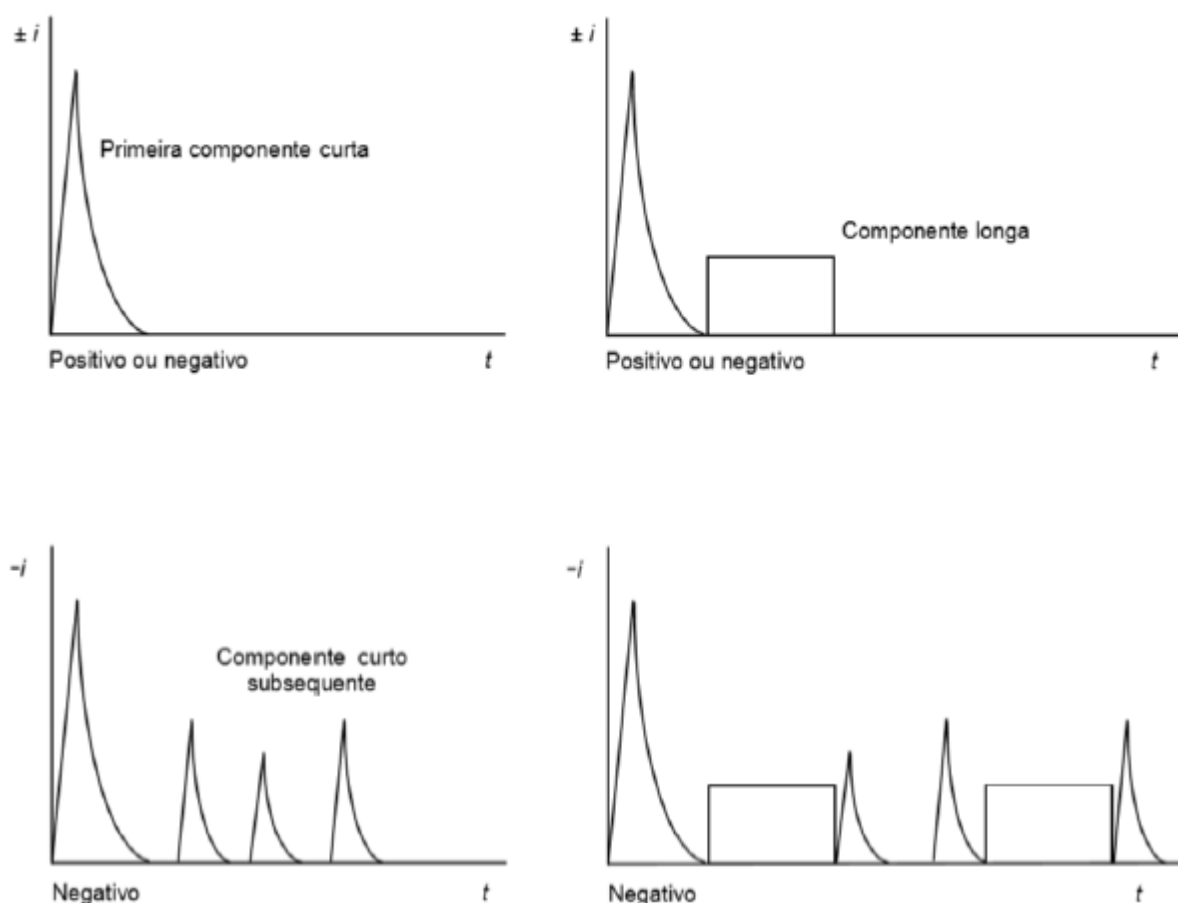
Fonte: (ABNT, 2015, apud MARINHO, 2018)

No caso da componente longa, como demonstra na figura 2.5, a corrente da descarga atmosférica,  $i$ , possui sua maior carga,  $Q_{longa}$ , durante o intervalo de duração,  $T_{longa}$ , entre 10% de seu valor de pico no crescimento e no decaimento. Geralmente, esse impulso decorre entre 2 ms e 1 segundo. (ABNT, 2015)

As descargas atmosféricas possuem em sua grande maioria das vezes, em torno de 90%, polaridade negativa, enquanto apenas 10% das ocorrências das

descargas atmosféricas possuem polaridade positiva. Dependendo de sua polaridade e de sua posição, a descarga atmosférica pode dispor de diversos componentes descendente e ascendentes, como estão demonstrados na figura 2.6 e figura 2.7. (ABNT, 2015)

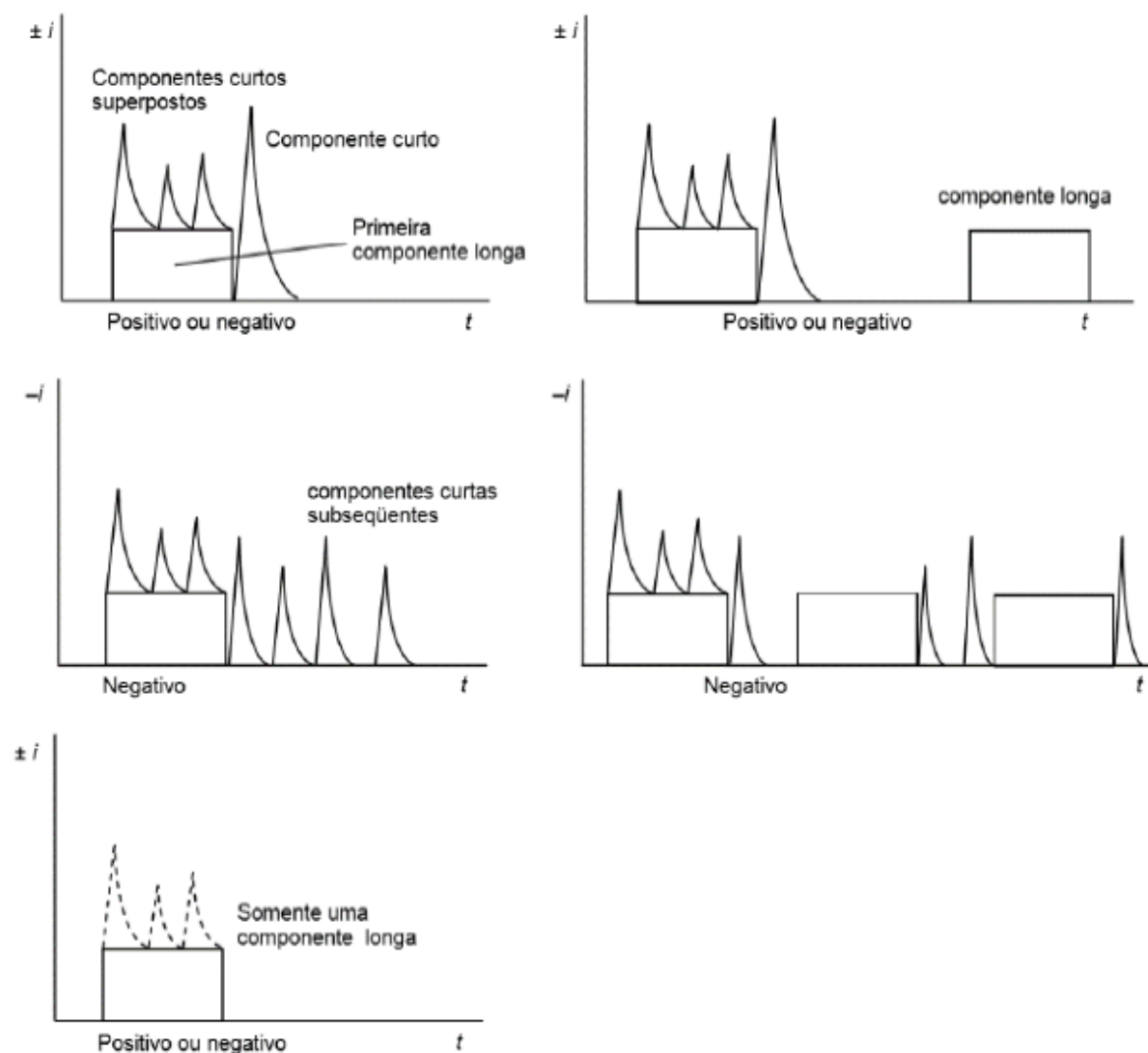
Figura 2.6 – Prováveis componentes de descargas atmosféricas descendentes



Fonte: (ABNT, 2015, apud MARINHO, 2018)

Nas descargas atmosféricas descendentes, a primeira componente sempre será uma componente curta, enquanto as subsequentes poderão ser apenas uma componente longa, ou três componentes curtas subsequentes, ou uma componente longa com uma componente curta subsequente, ou uma componente curta com uma componente longa e outro curta sequentemente ou ainda poderá haver nenhum componente após a primeira componente curta, conforme a figura 2.6. (ABNT, 2015)

Figura 2.7 – Prováveis componentes de descargas atmosféricas ascendentes



Fonte: (ABNT, 2015, apud MARINHO, 2018)

No caso das descargas atmosféricas ascendentes, a primeira componente sempre será uma componente longa, podendo ou não ocorrer impulsos superpostos. Ela também possui características de componentes subseqüentes como ocorre com as descargas atmosféricas descendentes, como a ocorrência de quatro componentes curtas subseqüentes, uma componente curta, uma componente curta e uma longa ou uma componente com duas componentes longas e três curtas subseqüentemente. É importante ressaltar que os parâmetros de um impulso de corrente de uma descarga atmosférica descendente são superiores em relação às descargas atmosféricas ascendentes, conforme a figura 2.7. (ABNT, 2015)

## **2.2 NBR 5419:2015**

A norma NBR 5419:2015, a qual está em vigor, possui o princípio da proteção de seres vivos, estruturas e equipamentos elétricos e eletrônicos no interior das estruturas contra as descargas atmosféricas. Esta norma está dividida em princípios gerais, gerenciamento de risco, danos físicos a estruturas e perigos à vida e sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura.

### **2.2.1 Parte 1 – Princípios Gerais**

Essa parte da norma é empregada para auxiliar projetos de proteção contra descargas atmosféricas. Nela consta os parâmetros da corrente da descarga atmosférica, que já foi mencionado anteriormente, os danos provocados por descargas atmosféricas, a necessidade e vantagem econômica de proteção contra descargas atmosféricas, MPS e critérios básicos para a preservação da estrutura. (ABNT, 2015)

Ao alvejar uma estrutura, a descarga atmosférica é capaz de causar danos à estrutura, seu conteúdo e às pessoas e ainda podem provocar danos aos sistemas internos. Entretanto, todos os danos e falhas são classificados conforme o arquétipo da estrutura que a descarga atmosférica alvejou, a utilidade da estrutura, quantidade de pessoas dentro e em torno da estrutura, parâmetro de suas linhas elétricas e tubulações metálicas que estão conectadas com a estrutura, suas medidas de proteção e a sua dimensão de risco. (ABNT, 2015)

Para (ABNT, 2015), as descargas atmosféricas possuem quatro locais de impactos principais que são denominados em:

- S1: descarga atmosférica que alveja uma estrutura – ela é capaz de provocar danos estruturais, mecânicos e provocar fogo através do centelhamento causado por sobretensões e correntes. Também são capazes de provocar danos aos seres vivos através do choque elétrico em consequência a tensões de passo e de toque e falha ou mal funcionamento de sistemas no interior da estrutura devido a LEMP;
- S2: descarga atmosférica na proximidade da estrutura – elas podem provocar falha ou mal funcionamento de sistemas no interior da estrutura devido a LEMP;



- S3: descargas atmosféricas na extensão das linhas elétricas e das tubulações metálicas que adentram a estrutura – elas podem provocar fogo através do centelhamento devido sobretensões e correntes, danos aos seres vivos através do choque elétrico em consequência a tensões de passo e de toque e falha ou mal funcionamento de sistemas no interior da estrutura devido a LEMP;
- S4: descargas atmosféricas nas redondezas das linhas e tubulações metálicas que adentram a estrutura – elas podem causar falha ou mal funcionamento de sistemas no interior da estrutura devido a LEMP.

A (ABNT, 2015) classifica os tipos básicos de danos provocados por descargas atmosféricas em três tipos, sendo eles:

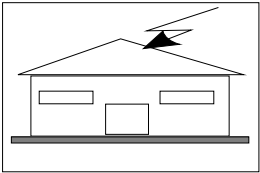
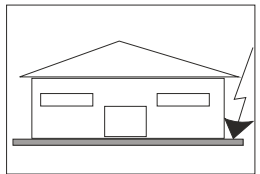
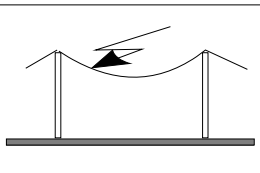
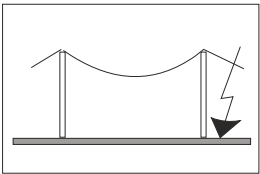
- D1: danos aos seres vivos devido a choque elétrico;
- D2: danos físicos como fogo, danificação mecânica e explosão em consequência das correntes provenientes das descargas atmosféricas;
- D3: falhas de sistemas internos em consequência de LEMP.

Conforme a (ABNT, 2015), há diversos tipos de perdas em conformidade com o tipo de dano relevante para uma determinada estrutura. As perdas são classificadas em quatro grupos, e ainda podem aparecer como uma sequência de danos à estrutura. Essas perdas são classificadas em:

- L1: perda de vida humana – esse tipo de perda causa danos como danos aos seres vivos através do dano físico e choque elétrico;
- L2: perda de serviço público – esse tipo de perda causa dano físico e falha de sistemas no interior da estrutura;
- L3: perda de patrimônio cultural – esse tipo de perda causa dano físico;
- L4: perda de valor econômico – esse tipo de perda causa dano físico e falha de sistemas no interior da estrutura.

O quadro 2.2 demonstra a correlação entre as fontes de danos e tipos de danos e de perdas.

Quadro 2.2 – Associação entre fonte de danos e tipos de danos e de perdas

Ponto de impacto	Ilustração	Fonte de dano	Tipo de dano	Tipo de perda
Estrutura		S1	D1 D2 D3	L1, L4 L1, L2, L3, L4 L1, L2, L4
Proximidade da estrutura		S1	D3	L1, L2, L4
Linhas elétricas ou tubulações metálicas que adentram a estrutura		S3	D1 D2 D3	L1, L4 L1, L2, L3, L4 L1, L2, L4
Redondezas de uma linha elétrica ou tubulação metálica que adentra a estrutura		S4	D3	L1, L2, L4

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)

Para que uma estrutura se encontre protegida contra descargas atmosféricas, é essencial envolvê-la por uma blindagem condutora contínua, aterrada e com a espessura adequada. Além do mais, é essencial que a estrutura possua ligações equipotenciais adequadas (ABNT, 2015).

Para o auxílio de projetos, a norma NBR 5419:2015 estabeleceu quatro níveis de proteção em combate às descargas atmosféricas, começando pelo nível I e terminando pelo nível IV. Cada nível de proteção possui seus próprios parâmetros máximos e mínimos de proteção em combate às descargas atmosféricas. A proteção oferecida pelo nível I de proteção corresponde a uma proteção de 99% da totalidade dos tipos de corrente das descargas atmosféricas. Já o nível II de proteção chega ao

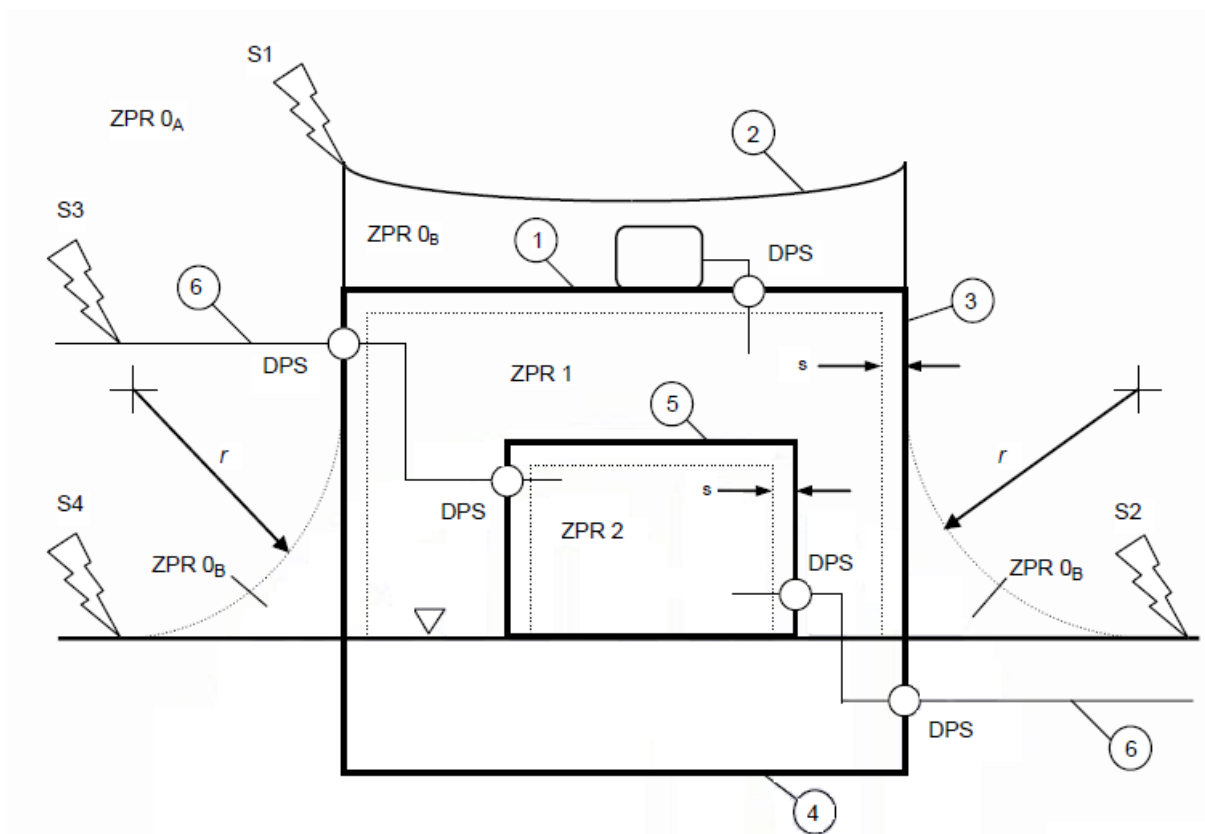
máximo de 75 % de proteção em combate às descargas atmosféricas, enquanto os níveis III e IV correspondem no máximo 50% de proteção (ABNT, 2015).

Por fim, a (ABNT, 2015) estabelece que as zonas de proteção contra descarga atmosférica “raio” (ZPR) são medidas de proteções como blindagens magnéticas, condutores de blindagem, dispositivos de proteção contra surtos (DPS) e SPDAs instaladas em determinadas zonas de uma estrutura. As ZPR são classificadas como:

- ZPR  $0_A$ : zona em qual lugar a ameaça é motivada através da descarga atmosférica direta e campo eletromagnético. Ademais, a corrente elétrica da descarga atmosférica pode provocar danos aos sistemas no interior da estrutura.
- ZPR  $0_B$ : zona protegida contra a descarga atmosférica direta, sendo que o local da ameaça é o campo eletromagnético. Somente a corrente parcial pode provocar danos aos sistemas no interior da estrutura.
- ZPR 1: zona em qual lugar a corrente de surto é restringida através da segmentação da corrente da descarga atmosférica e através da aplicação de MPS como DPS e interfaces isolantes. O campo eletromagnético é capaz de ser atenuado através de blindagem espacial.
- ZPR 2, ..., n: zona em qual lugar a corrente do surto é mais restringida através da divisão da corrente da descarga atmosférica e através da aplicação de MPS adicionais como DPS e interfaces isolantes. O campo eletromagnético é capaz de ser atenuado através de blindagem espacial.

A figura 2.8 ilustra as ZPR definidas por um SPDA em uma determinada estrutura.

Figura 2.8 – ZPR definida por um SPDA de uma estrutura



Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015, apud Santini 2016)

Onde:

- 1 consiste na estrutura;
- 2 consiste no subsistema de captação;
- 3 consiste no subsistema de descida;
- 4 consiste no subsistema de aterramento;
- 5 consiste nas linhas de tubulação que adentram a estrutura

### 2.2.2 Parte 2 – Gerenciamento de risco

Essa parte da norma, NBR 5419-2:2015, descreve como é estipulado a análise de riscos para as estruturas a serem protegidas contra as descargas atmosféricas.

A análise de risco depende de diversos fatores como a quantidade anual de descargas atmosféricas nas redondezas da estrutura, a probabilidade de dano provocado através de descargas atmosféricas e a quantidade média das perdas

provocadas através de descargas atmosféricas. A análise de risco também auxiliar na implementação de medidas de proteção com o intuito aumentar a proteção da estrutura (ABNT, 2015).

A (ABNT, 2015) explicita que o risco,  $R$ , está relacionado com a possível perda média anual. Há um risco para determinado tipo de perda. Esses tipos de riscos são classificados em:

- $R_1$ : risco de perda de vida humana;
- $R_2$ : risco de perda de serviço público;
- $R_3$ : risco de perda de patrimônio cultural;
- $R_4$ : risco de perda de valores econômicos.

Conforme a (ABNT, 2015), para que seja calculado o risco,  $R$ , é vital o somatório dos componentes de risco. Cada componente de risco está associado com uma determinada área de impacto e o tipo de dano da descarga atmosférica. Conseqüentemente, os componentes de risco são agrupados em conformidade com sua fonte de dano como:

- Componentes de risco para uma determinada estrutura em consequência das descargas atmosféricas que alvejam essa estrutura.
  - $R_A$ : componente relativo às lesões a seres vivos. Esse risco é causado por meio do choque elétrico em consequência de tensões de toque e passo no interior da estrutura e ao redor da mesma em uma zona de até 3 metros dos cabos de descidas. Também há a ocorrência de perda L4;
  - $R_B$ : componente relativo aos danos físicos provocados através de centelhamentos perigosos. Esse risco é relacionado às descargas atmosféricas que causam incêndio e explosão dentro da estrutura e por meio delas, ainda podem aumentar todos os tipos de perdas.
  - $R_C$ : componente relativo aos danos de sistemas no interior da estrutura provocados por LEMP. Por meio desse risco, há a ocorrência de perdas do tipo L2 e L4.
- Componentes de risco para uma determinada estrutura em consequência das descargas atmosféricas próximas à essa estrutura.

- $R_M$ : componente relativo às falhas de sistemas no interior da uma determinada estrutura provocada por LEMP. Por meio desse risco, há a ocorrência de perdas do tipo L2 e L4.
- Componentes de risco para uma determinada estrutura em consequência das descargas atmosféricas que alvejam uma linha que adentra a estrutura.
  - $R_U$ : componente relativo às lesões aos seres vivos. Esse risco é causado por meio do choque elétrico em consequência de tensões de toque e passo no interior da estrutura. Também há a ocorrência de perda do tipo L4;
  - $R_V$ : componente relativo aos danos físicos provocados através de centelhamentos perigosos. Esse risco é relacionado às descargas atmosféricas que causam incêndio e explosão no interior de uma estrutura que ocorre entre as instalações externas e partes metálicas frequentemente localizadas no local de entrada da linha na estrutura. Ainda podem aumentar todos os tipos de perdas;
  - $R_W$ : componente relativo às falhas de sistemas no interior de uma estrutura provocadas por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas pela mesma. Também há a ocorrência de perdas do tipo L2 e L4.
- Componentes de risco para uma determinada estrutura em consequência das descargas atmosféricas próximas de uma linha que adentra a estrutura.
  - $R_Z$ : componente relativo às falhas de sistemas no interior de uma estrutura provocadas por sobretensões induzidas nas linhas que adentram a estrutura. Também há a ocorrência de perdas do tipo L2 e L4.

Segundo (ABNT, 2015), os componentes de risco também podem ser agrupados conforme o tipo de perda da estrutura. Sendo assim, elas são classificadas como:

- $R_1$ : Risco de perda de vida humana, conforme a equação (2.1):

$$R_1^1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{U1} + R_{V1} \quad (2.1)$$

- 1 Estruturas com risco de explosão e com equipamentos elétricos e eletrônicos hospitalares são desconsiderados nessa equação.

- $R_2$ : Risco de perdas de serviço ao público, conforme a equação (2.2):

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (2.2)$$

- $R_3$ : Risco de perdas de patrimônio cultural, conforme a equação (2.3):

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (2.3)$$

- $R_4$ : Risco de perdas de valor econômico, conforme a equação (2.4):

$$R_4 = R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (2.4)$$

O quadro 2.3 demonstra os componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma determinada estrutura em conformidade com as fontes de danos e componentes de risco.

Quadro 2.3 – Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura

Fontes de danos	S1			S2	S3			S4
Componente de risco	$R_A$	$R_B$	$R_C$	$R_M$	$R_U$	$R_V$	$R_W$	$R_Z$
Risco para cada tipo de perda								
$R_1$	*	*			*	*		
$R_2$		*	*	*		*	*	*
$R_3$		*				*		
$R_4$		*	*	*		*	*	*

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)

O quadro 2.4 apresenta as peculiaridades de uma determinada estrutura e de prováveis medidas de proteção que influenciam os componentes de risco.

Quadro 2.4 – Condições que instigam os componentes de risco

<b>Peculiaridades da estrutura, dos sistemas internos e medidas de proteção</b>	$R_A$	$R_B$	$R_C$	$R_M$	$R_U$	$R_V$	$R_W$	$R_Z$
Região de exposição correspondente	*	*	*	*	*	*	*	*
Resistividade da superfície do solo	*							
Resistividade do piso	*				*			
Avisos visíveis, equipotencialização do solo, isolamento e restrições físicas	*				*			
SPDA	*	*	*	*1	*2	*3		
Associação de DPS	*	*			*	*		
Interfaces isolantes			*3	*3	*	*	*	*
Sistema coordenado de DPS			*	*			*	*
Blindagem espacial			*	*				
Blindagem de cabos externos					*	*	*	*
Blindagem de cabos internos			*	*				
Prudências de roteamento			*	*				
Sistema de equipotencialização		*				*		
Prudência contra incêndios		*				*		
Sensores de fogo		*				*		
Perigos especiais		*				*		
Tensão admissível de impulso			*	*	*	*	*	*
<p>1 Somente para SPDA tipo malha externa</p> <p>2 Devido a ligações equipotenciais</p> <p>3 Somente se eles pertencem ao equipamento</p>								

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)



O gerencialmente de risco inicia-se por intermédio de um procedimento básico em que ocorre através da identificação da estrutura, suas características, todos os tipos de perdas e os componentes de risco. Após isso, avalia-se o componente de risco  $R$  para cada tipo de perda e por fim, compara-se os riscos  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$  com os riscos toleráveis,  $R_T$ . Caso o risco  $R$  calculado seja menor ou igual ao risco tolerável,  $R_T$ , a estrutura não carece de proteção. Caso o risco  $R$  calculado seja maior do que o risco tolerável,  $R_T$ , a estrutura carece de proteção (ABNT, 2015).

O quadro 2.5 apresenta os valores do risco tolerável,  $R_T$ , para cada tipo de perda. Por meio do valor de risco tolerável,  $R_T$ , é possível compreender se o valor calculado dos componentes de risco e da soma dos tipos de riscos estão acima ou abaixo do valor típico de risco tolerável.

Quadro 2.5 – Valores específicos de risco tolerável  $R_T$

Tipo de perda		$R_T(y^{-1})$
L1	Perda de vida humana ou lesões permanentes	$R_T(y^{-5})$
L2	Perda de serviço ao público	$R_T(y^{-3})$
L3	Perda de patrimônio público	$R_T(y^{-4})$
L4*	Perda de valor econômico	$R_T(y^{-3})$
*Valor representativo de risco quando os dados da análise não estão disponíveis para a comparação de custo/benefício		

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)

Conforme cada risco a ser ponderado em um projeto de SPDA, é essencial identificar os componentes que constituem o risco  $R_x$ , sendo eles agrupados em quantia de fenômenos perigosos por ano, probabilidade de dano à estrutura e perda decorrente de danos permanentes à estrutura. Após a identificação e o cálculo dos três tipos de componentes, calcula-se o risco  $R_x$  através da multiplicação entre eles. Por fim, compara-se o risco  $R_x$  calculado com o risco tolerável,  $R_T$ , com a finalidade de insinuar se há a necessidade de instalação de SPDA na estrutura (ABNT, 2015).

Segundo a (ABNT, 2015), a componente de risco é calculada por meio da equação (2.5):

$$R_x = N_x * P_x * L_x \quad (2.5)$$

Onde:

$R_x$  é o risco parcial que depende da fonte e do tipo de dano;

$N_x$  é a quantia de fenômenos perigosos por ano;

$P_x$  é a probabilidade de dano à estrutura;

$L_x$  é a perda decorrente de danos pertinentes à estrutura.

### 2.2.2.1 Quantia de fenômenos perigosos por ano $N_x$

A quantia de fenômenos perigosos,  $N_x$ , é influenciada em consequência da densidade das descargas atmosféricas e das características das estruturas, suas redondezas, linhas conectadas e resistividade do solo. Os eventos perigosos são distribuídos em descarga atmosféricas que alvejam a estrutura, descargas atmosféricas nas proximidades da estrutura, descargas atmosféricas que alvejam uma linha que adentra a estrutura, descargas atmosféricas nas proximidades de uma linha que adentra a estrutura e descargas atmosféricas que alvejam outra estrutura onde a linha da primeira estrutura está conectada. (ABNT, 2015)

Segundo a (ABNT, 2015), calcula-se a quantia de fenômenos perigosos,  $N_x$ , por meio da equação (2.6):

$$N_x = N_G * (N_D + N_{DJ} + N_M + N_L + N_I) \quad (2.6)$$

Onde:

$N_G$  é a densidade de descargas atmosféricas descendente ( $1/\text{km}^2 \times \text{ano}$ ), conforme a figura 2.3;

$N_D$  é a quantidade de fenômenos perigosos em uma determinada estrutura, conforme a equação (2.7);

$N_{DJ}$  é a quantidade de fenômenos perigosos em uma determinada estrutura adjacente, conforme a equação (2.10);

$N_M$  é a quantidade média de fenômenos perigosos nas proximidades de uma determinada estrutura, conforme a equação (2.11);

$N_L$  é a quantidade anual média de fenômenos perigosos na seção da linha, conforme a equação (2.13);

$N_I$  é A quantidade anual média de fenômenos perigosos próxima à seção de uma linha, conforme a equação (2.14).

A quantidade de fenômenos perigosos em uma estrutura,  $N_D$ , é avaliado por meio da equação (2.7):

$$N_D = N_G * A_D * C_D * 10^{-6} \quad (2.7)$$

Onde:

$A_D$  é a região de exposição correspondente à estrutura, conforme a equação (2.8) e figura 2.9 para estruturas retangulares e equação (2.9) e figuras 2.10 e 2.11 para estruturas complexas;

$C_D$  é a grandeza do fator de localização da estrutura, conforme o quadro 2.6.

A região de exposição correspondente de uma estrutura retangular é calculada pela equação (2.8) e é ilustrada na figura 2.9.

$$A_D = L * W + 2 * (3 * H) * (L + W) + \pi * (3 * H)^2 \quad (2.8)$$

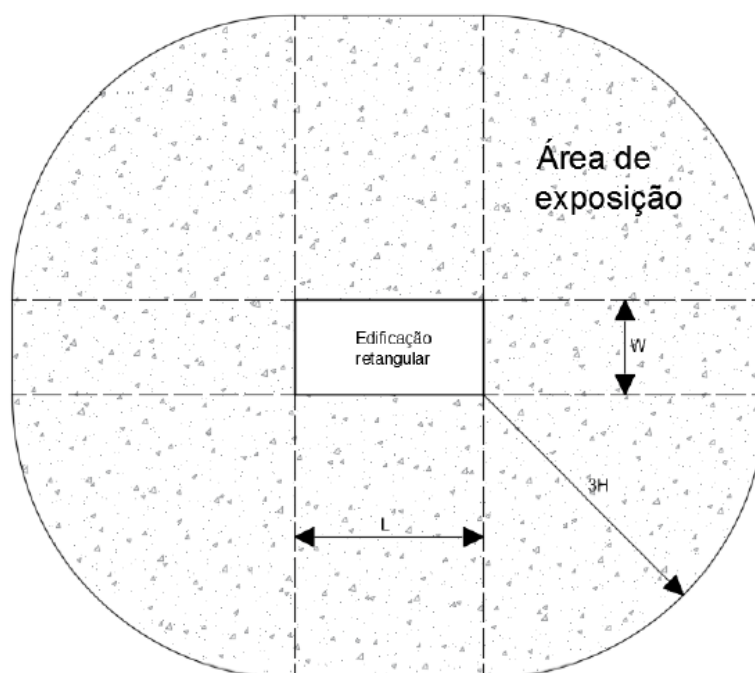
Onde:

$L$  é o comprimento, em metros, da estrutura;

$W$  é a largura, em metros, da estrutura;

$H$  é a altura, em metros, a partir de um solo plano da estrutura.

Figura 2.9 – Região de exposição correspondente de uma estrutura



Fonte: (Adaptada de ABNT, 2015, apud SANTINI, 2016)

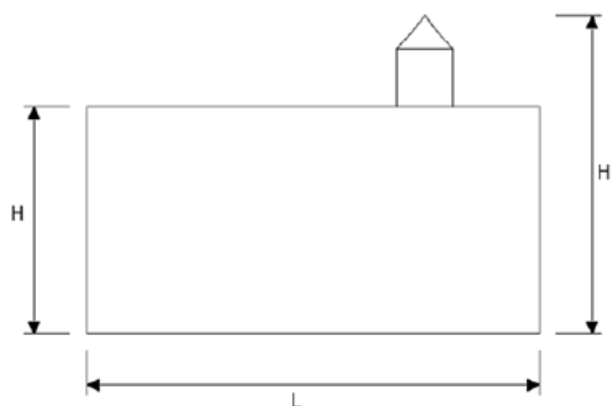
Em uma região de exposição de uma estrutura complexa, ou seja, em uma região de exposição de uma estrutura que disponha de saliências elevadas em sua cobertura, como a figura 2.10, utiliza-se um método gráfico para calcular sua região de exposição, conforme a figura 2.11. Ademais, calcula-se a área dessa exposição de conforme a equação (2.9)

$$A_D = \pi * (3 * H')^2 \quad (2.9)$$

Onde:

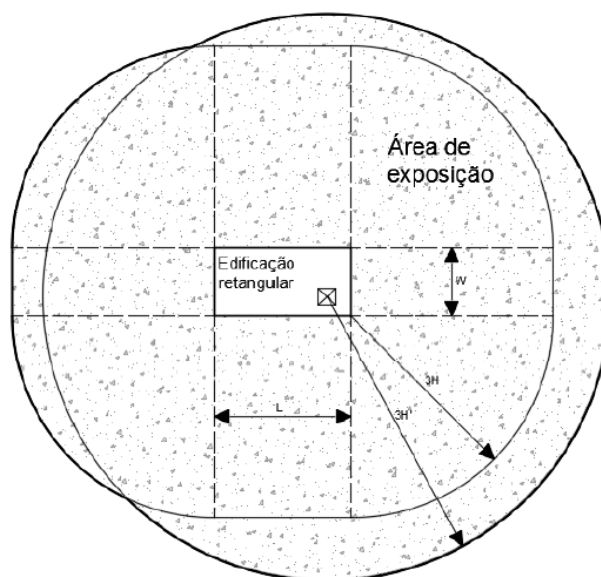
$H'$  é a altura, em metros, da saliência.

Figura 2.10 – Exemplo de uma estrutura de arquétipo complexo



Fonte: (Adaptada de ABNT, 2015, apud SANTINI, 2016)

Figura 2.11 – Região de exposição correspondente de uma estrutura complexa



Fonte: (Adaptada de ABNT, 2015, apud SANTINI, 2016)

A localização de referência da estrutura,  $C_D$ , é a localização exposta ou compensada pelas estruturas ao redor referente a objetos ao redor ou no solo dentro de uma distância igual a três vezes a altura da estrutura (ABNT, 2015).

O quadro 2.6 apresenta os valores do fator de localização da estrutura  $C_D$ .

Quadro 2.6 – Grandeza do fator de localização da estrutura  $C_D$

<b>Localização</b>	<b><math>C_D</math></b>
Objetos mais altos do que a estrutura	0,25
Objetos da mesma altura ou mais baixos do que a estrutura	0,5
Nenhum objeto ao redor da estrutura	1
Estrutura isolada localizada no topo de uma colina ou monte	2

Fonte: (ABNT, 2015)

A quantidade de fenômenos perigosos em uma determinada estrutura adjacente,  $N_{DJ}$ , é calculada por meio da equação (2.10):

$$N_{DJ} = N_G * A_{DJ} * C_{DJ} * C_T * 10^{-6} \quad (2.10)$$

Onde:

$A_{DJ}$  é a região de exposição correspondente da estrutura adjacente, conforme a equação (2.8) e figura 2.9 para estruturas retangulares e equação (2.9) e figuras 2.10 e 2.11 para estruturas complexas;

$C_{DJ}$  é a grandeza do fator de localização da estrutura adjacente, conforme o quadro 2.6;

$C_T$  é a grandeza do fator do tipo da linha, conforme o quadro 2.7

Quadro 2.7 - Grandeza do fator conforme o tipo de linha  $C_T$

<b>Instalação</b>	<b><math>C_T</math></b>
Linha de energia ou sinal	1
Linhas de energia em alta tensão (utilizando transformador alta tensão/baixa tensão)	0,2

Fonte: (ABNT, 2015)

A quantidade média de fenômenos perigosos nas proximidades de uma determinada estrutura,  $N_M$ , é calculada por meio da equação (2.11):

$$N_M = N_G * A_M * 10^{-6} \quad (2.11)$$

Onde:

$A_M$  é a região de exposição correspondente de descarga atmosféricas que alveja um local próximo à estrutura, conforme a equação (2.12)

A região de exposição correspondente,  $A_M$ , é a área que uma linha de 500 metros se estende do perímetro da estrutura. Calcula-se essa área por meio da equação (2.12):

$$A_M = 2 * 500 * (L + W) + \pi * 500^2 \quad (2.12)$$

A quantidade anual média de fenômenos perigosos na seção da linha,  $N_L$ , é calculada, para cada seção da linha, por meio da equação (2.13).

$$N_L = N_G * A_L * C_I * C_E * C_T * 10^{-6} \quad (2.13)$$

Onde:

$A_L$  é a região de exposição correspondente de descargas atmosféricas que alvejam uma linha, conforme a equação (2.14);

$C_I$  é a grandeza do fator de instalação da linha, conforme o quadro 2.8

$C_E$  é a grande do fator ambiental, conforme o quadro 2.9

Calcula-se a região de exposição correspondente de descargas atmosféricas próximas de uma linha conforme a equação (2.14):

$$A_L = 40 * L_L \quad (2.14)$$

Onde:

$L_L$  é o comprimento, em metros, da seção da linha. Quando o valor da seção da linha for desconhecido, considera-se o valor de  $L_L$  como 1000 metros.

Quadro 2.8 – Grandeza do fator conforme o tipo de instalação da linha  $C_I$

<b>Roteamento</b>	<b><math>C_I</math></b>
Aéreo	1
Enterrado	0,5

Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento	0,01
--	------

Fonte: (ABNT, 2015)

Quadro 2.9 – Grande do fator conforme o ambiental da linha  $C_E$

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

Fonte: (ABNT, 2015)

A quantidade anual média de fenômenos perigosos próxima à seção de uma linha,  $N_I$ , é calculada para cada seção da linha por meio da equação (2.15).

$$N_I = N_G * A_I * C_I * C_E * C_T * 10^{-6} \quad (2.15)$$

Onde:

$A_I$  é a região de exposição correspondente de descargas atmosféricas descendente próxima à uma linha, conforme a equação (2.16)

Calcula-se a região de exposição correspondente para descargas atmosféricas próximas à uma linha,  $A_I$ , conforme a equação (2.16):

$$A_I = 4000 * L_L \quad (2.16)$$

#### 2.2.2.2 Probabilidade de dano à estrutura $P_X$

Segundo a (ABNT, 2015), a probabilidade de dano à estrutura,  $P_X$ , é influenciada em consequência das descargas atmosféricas que podem alvejar as linhas adentram e das medidas de proteção existentes. A probabilidade de dano à estrutura é dividida em:

- Probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar uma estrutura e provocar lesões aos seres vivos através do choque elétrico,  $P_A$ , conforme a equação (2.17);

- Probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar uma estrutura e provocar danos físicos,  $P_B$ , conforme o quadro 2.11;
- Probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar uma estrutura e provocar falhas a sistemas no interior da estrutura,  $P_C$ , conforme a equação (2.18);
- Probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar um local próximo a estrutura e provocar falhas a sistemas no interior da estrutura,  $P_M$ , conforme a equação (2.19);
- Probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar uma linha e provocar lesões aos seres vivos através do choque elétrico,  $P_U$ , conforme a equação (2.24);
- Probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar uma linha e provocar danos físicos,  $P_V$ , conforme a equação (2.25);
- Probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar uma linha e provocar falhas em sistemas no interior da estrutura,  $P_W$ , conforme a equação (2.26);
- Probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar um local próximo à uma linha que adentra a estrutura e provocar falhas em sistemas no interior da estrutura,  $P_Z$ , conforme a equação (2.27).

A probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar uma estrutura e provocar lesões aos seres vivos através do choque elétrico,  $P_A$ , é calculada por meio da equação (2.17).

$$P_A = P_{TA} * P_B \quad (2.17)$$

Onde:

$P_{TA}$  é a grandeza do valor da probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar uma estrutura e provocar choque a seres vivos em consequência de tensões de toque e de passo em conformidade com as medidas de proteção, conforme o quadro 2.10.

$P_B$  é a grandeza do valor da probabilidade de uma descarga atmosférica provocar danos físicos em uma determinada estrutura em conformidade com o nível de proteção instalado na estrutura, conforme o quadro 2.11



Quadro 2.10 – Grandeza dos valores da probabilidade  $P_{TA}$ 

<b>Medida de proteção</b>	<b><math>P_{TA}</math></b>
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	$10^{-1}$
Isolação elétrica das partes expostas	$10^{-2}$
Equipotencialização efetiva do solo	$10^{-2}$
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizando como subsistema de descida	0

Fonte: (ABNT, 2015)

Quadro 2.11 – Grandeza dos valores da probabilidade  $P_B$ 

<b>Particularidade da estrutura</b>	<b>Classe do SPDA</b>	<b><math>P_B</math></b>
SPD não instalado na estrutura	-	1
SPDA instalado na estrutura	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)

A probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar uma estrutura e provocar falhas a sistemas no interior da estrutura,  $P_C$ , é mensurada através do sistema coordenado de DPS e em conformidade com as condições de aterramento, blindagem e isolamento das linhas que adentram ao sistema no interior da estrutura. Calcula-se essa probabilidade por meio da equação (2.18)

$$P_C = P_{SPD} * C_{LD} \quad (2.18)$$

Onde:

$P_{SPD}$  é a grandeza do valor da probabilidade em conformidade com o nível de proteção dos DPS a serem instalados na estrutura, conforme o quadro 2.12;

$C_{LD}$  é a grandeza do fator que depende das condições de aterramento, blindagem e isolamento das linhas que adentram ao sistema no interior da estrutura, conforme o quadro 2.13.

Quadro 2.12 - Grandeza dos valores da probabilidade de  $P_{SPD}$ 

Nível de proteção	$P_{SPD}$
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III – IV	0,05
II	0,02
I	0,01

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)

Quadro 2.13 – Grandeza dos valores dos fatores  $C_{LD}$  e  $C_{LI}$ 

Tipo de linha eterna	Conexão na entrada	$C_{LD}^1$	$C_{LI}$
Linha área não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiaterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha de sinal ou energia enterrada blindada	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha de sinal ou energia área blindada	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha de sinal ou energia aterrada blindada	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Linha de sinal ou energia aérea blindada	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos para cabos protegido contra descarga atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	0	0

Nenhuma linha externa	Sem conexões com linhas externas caso seja sistemas independentes	0	0
Qualquer tipo	Interface isolantes	0	0
<sup>1</sup> Caso o sistema interno seja não blindado, utiliza-se $C_{LD} = 1$			

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)

A probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar um local próximo a estrutura e provocar falhas a sistemas no interior da estrutura,  $P_M$ , é mensurada através das medidas de proteção adotadas. Caso não haja suportabilidade de tensão dados nas normas para os sistemas no interior da estrutura com equipamentos, considera-se  $P_M = 1$ . Caso contrário, calcula-se essa probabilidade por meio da equação (2.19)

$$P_M = P_{SPD} * P_{MS} \quad (2.19)$$

Onde:

$P_{MS}$  é o valor do resultado da equação (2.20).

As grandezas dos valores de  $P_{MS}$  são calculadas por meio da equação (2.20). Caso haja equipamentos com a implementação de interfaces isolantes, considera-se  $P_{MS} = 0$ .

$$P_{MS} = (K_{S1} * K_{S2} * K_{S3} * K_{S4})^2 \quad (2.20)$$

Onde:

$K_{S1}$  é a eficiência da blindagem do SPDA na interface entre ZPR 0 e ZPR 1, conforme a equação (2.21);

$K_{S2}$  é a eficiência da blindagem do SPDA na interface entre ZPR X e ZPR Y, considerando  $X > 0$  e  $Y > 1$ , conforme a equação (2.22);

$K_{S3}$  é a grandeza do fator que depende das peculiaridades da instalação elétrica interna, conforme o quadro (2.14);

$K_{S4}$  é a tensão admissível de impulso em um sistema, conforme a equação (2.23)

As eficiências de blindagem  $K_{S1}$  e  $K_{S2}$  são calculados por meio das equações (2.21) e (2.22), respectivamente.

$$K_{S1} = 0,12 * w_{m1} \quad (2.21)$$

$$K_{S2} = 0,12 * w_{m2} \quad (2.22)$$

Onde:

$W_{m1}$  e  $W_{m2}$  são as dimensões das larguras das blindagens, considera-se o valor máximo como 1. Caso as blindagens sejam metálicas contínuas com espessura maior que 0,1 mm, considere-se  $K_{S1} = K_{S2} = 10^{-4}$ .

Quadro 2.14 – Grandeza do valor do fator  $K_{S3}$

<b>Tipo de fiação interna</b>	<b><math>K_{S3}</math></b>
Cabo não blindado sem preocupação no roteamento para evitar laços da ordem de 50 m <sup>2</sup>	1
Cabo não blindado com preocupação no roteamento para evitar grandes laços da ordem de 10 m <sup>2</sup>	0,2
Cabo não blindado com preocupação no roteamento para evitar laços da ordem de 0,5 m <sup>2</sup>	0,01
Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos sendo interligados a um barramento de equipotencialização em suas extremidades.	0,0001

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)

O fator  $K_{S4}$  é calculado por meio da equação (2.23). Sendo que o fator máximo é  $K_{S4} = 1$

$$K_{S4} = \frac{1}{U_W} \quad (2.23)$$

Onde:

$U_W$  é a tensão admissível nominal de impulso do sistema, em quilovolts.

A probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar uma linha e provocar lesões aos seres vivos através do choque elétrico,  $P_U$ , está relacionada às características da blindagem da linha, da tensão admissível de impulso dos sistemas

no interior de uma estrutura conectados à linha e das medidas de proteção adicionais. Calcula-se essa probabilidade por meio da equação (2.24).

$$P_U = P_{TU} * P_{EB} * P_{LD} * C_{LD} \quad (2.24)$$

Onde:

$P_{TU}$  é a grandeza do valor da probabilidade de proteção contra tensões de toque, conforme o quadro 2.15;

$P_{EB}$  é a grandeza do valor da probabilidade das ligações equipotenciais em decorrência ao nível de proteção dos DPS projetados, conforme o quadro 2.16;

$P_{LD}$  é a grandeza da probabilidade de falha de sistemas no interior de uma estrutura em decorrência de uma descarga atmosférica alvejar uma linha que adentra a estrutura, conforme o quadro 2.17;

$C_{LD}$  é a grandeza do fator que depende das condições de aterramento, blindagem e isolamento da linha, conforme o quadro 2.13.

Quadro 2.15 – Grandeza dos valores da probabilidade  $P_{TU}$

<b>Medida de proteção</b>	<b><math>P_{TU}</math></b>
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos perceptíveis de alerta	$10^{-1}$
Isolação elétrica	$10^{-2}$
Restrições físicas	0

Fonte: (ABNT, 2015)

Quadro 2.16 – Grandeza dos valores da probabilidade  $P_{EB}$

<b>Nível de Proteção</b>	<b><math>P_{EB}</math></b>
Sem DPS	1
III e IV	0,05
II	0,02
I	0,01

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)

Quadro 2.17 – Grandeza dos valores da probabilidade  $P_{LD}$ 

Tipo da linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação		Tensão admissível $U_W$ , em kV				
			1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia ou sinal	Linha não blindada ou com blindagem não conectada ao mesmo barramento de equipotencialização		1	1	1	1	1
	Blindagem que está conectada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	$\frac{5\Omega}{km} < R_S \leq \frac{20\Omega}{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$\frac{1\Omega}{km} < R_S \leq \frac{5\Omega}{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_S \leq \frac{1\Omega}{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Fonte: (ABNT, 2015)

A probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar uma linha e provocar danos físicos,  $P_V$ , está relacionada às características de blindagem da linha, da tensão admissível de impulso dos sistemas no interior da estrutura que estão conectados à linha e MPS. Calcula-se essa probabilidade por meio da equação (2.25)

$$P_V = P_{EB} * P_{LD} * C_{LD} \quad (2.25)$$

A probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar uma linha e provocar falhas em sistemas no interior da estrutura,  $P_W$ , está associada com as características de blindagem da linha, da tensão admissível de impulso dos sistemas que estão no interior da estrutura, conectados à linha e MPS, conforme a equação (2.26).

$$P_W = P_{SPD} * P_{LD} * C_{LD} \quad (2.26)$$

A probabilidade de uma descarga atmosférica alvejar um local próximo à uma linha que adentra a estrutura e provocar falhas em sistemas no interior da estrutura,  $P_Z$ , está associada com as características de blindagem da linha, da tensão admissível de impulso dos sistemas que estão no interior da estrutura, conectados à linha e MPS, conforme a equação (2.27).

$$P_Z = P_{SPD} * P_{LI} * C_{LD} \quad (2.27)$$

Onde:

$P_{LI}$  é a grandeza do valor da probabilidade de falha de sistemas que estão no interior da estrutura em consequência às descargas atmosféricas que alvejam um local nas proximidades da linha que adentra a estrutura, sendo que o valor do tipo de linha depende das características e dos equipamentos, conforme o quadro 2.18.

Quadro 2.18 – Grandeza dos valores da probabilidade  $P_{LI}$

Tipo de linha	Tensão admissível $U_W$ , em kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Energia	1	0,6	0,3	0,16	0,1
Sinal	1	0,5	0,2	0,08	0,04

Fonte: (ABNT, 2015)

### 2.2.2.3 Quantidade de perda $L_X$

Segundo a (ABNT, 2015), a perda consequente,  $L_X$ , é influenciada em consequência das pessoas, o modelo de serviço fornecido para o público, o valor dos bens afetados pelas descargas atmosféricas e as MPS projetadas com o intuito de mitigar as perdas. Como já mencionado previamente neste trabalho, as perdas  $L_X$  são divididas L1, L2, L3 e L4.

Segundo a (ABNT, 2015), o valor da perda de vida humana, L1, para cada tipo de dano é calculado por meio do quadro 2.19:

Quadro 2.19 – Valores da perda para cada zona do tipo de perda L1

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D1	$L_A = (r_t * L_T * n_Z) / (n_t * t_Z) / 8760$	(2.28)
D1	$L_U = (r_t * L_T * n_Z) / (n_t * t_Z) / 8760$	(2.29)
D2	$L_B = L_V = (r_p * r_f * h_Z * L_F * n_Z) / (n_t * t_Z) / 8760$	(2.30)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = (L_O * n_Z) / (n_t * t_Z) / 8760$	(2.31)

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)

Onde:

$L_A$  é a perda referente a lesões aos seres vivos em decorrência de choque elétrico provocados por descarga atmosférica que alveja a estrutura, conforme a equação (2.28);

$L_U$  é a perda referente a lesões aos seres vivos em decorrência de choque elétrico provocados por descarga atmosférica que alveja a linha, conforme a equação (2.29);

$L_B$  é a perda em uma determinada estrutura referente a danos físicos provocados por descarga atmosférica que alveja a estrutura, conforme a equação (2.30);

$L_V$  é a perda em uma determinada estrutura referente a danos físicos provocados por descarga atmosférica que alveja a linha, conforme a equação (2.30);

$L_C$  é a perda referente a falhas de sistemas no interior de uma estrutura provocadas por descarga atmosférica que alveja a estrutura, conforme a equação (2.31);

$L_M$  é a perda referente a falhas de sistemas no interior da estrutura provocadas por descarga atmosférica próxima a essa estrutura, conforme a equação (2.31);

$L_W$  é a perda referente a falhas de sistemas no interior de uma estrutura provocadas por descarga atmosférica que alveja a linha, conforme a equação (2.31);

$L_Z$  é a perda relacionada a falhas de sistemas internos por meio da descarga atmosférica próxima a linha, conforme a equação (2.31);

$L_T$  é a quantia referente média específica de vítimas feridas decorridas por D1 em consequência de um fenômeno perigoso, conforme o quadro 2.20;

$L_F$  é a quantia referente média específica de vítimas feridas decorridas por D2 em consequência de um fenômeno perigoso, conforme o quadro 2.20;

$L_O$  é a quantia referente média específica de vítimas decorrido por D3 em consequência de um fenômeno perigoso, conforme o quadro 2.20;

$r_t$  é a grandeza de um fator que reduz a perda de vida humana em conformidade com o tipo de superfície do solo ou piso, conforme o quadro 2.21;

$r_p$  é a grandeza de um fator que reduz a perda de danos físicos em decorrência das providências tomadas com o intuito de reduzir as consequências de um incêndio, conforme o quadro 2.22;



$r_f$  é a grandeza de um fator que redução a perda de danos físicos dependendo das providências tomadas com o intuito de reduzir os efeitos de um incêndio, conforme o quadro 2.23;

$h_z$  é a grandeza de um fator que aumenta a perda de danos físicos quando há a ocorrência de um perigo específico, conforme o quadro 2.24;

$n_z$  é a quantidade de possíveis pessoas em uma zona de perigo;

$n_t$  é a quantidade de pessoas dentro da estrutura;

$t_z$  é o tempo, em horas por ano, que as pessoas estão ocupando a zona.

Quadro 2.20 – Grandeza dos valores médios específicos de  $L_T$ ,  $L_F$  e  $L_O$  para perda tipo L1

Tipos de danos	Valor de perda típico		Tipo da estrutura
D1	$L_T$	$10^{-2}$	Todos os tipos
D2	$L_F$	$10^{-1}$	Ameaça de explosão
		$5 * 10^{-2}$	Edifício cívico, escola, Hospital e hotel
		$2 * 10^{-2}$	Entretenimento público, igreja, museu
		$10^{-2}$	Industrial, comercial
D3	$L_O$	$10^{-1}$	Ameaça de explosão
		$10^{-2}$	Área de terapia intensiva e cirúrgica de hospital
		$10^{-3}$	Outras áreas de um hospital

Fonte: (ABNT, 2015)

Quadro 2.21 – Grandeza do fator  $r_t$

Arquétipo da superfície	Resistência de contato $k\Omega$	$r_t$
Agricultura ou concreto	$\leq 1$	$10^{-2}$
Cerâmica ou mármore	1 – 10	$10^{-3}$
Carpete, cascalho ou tapete	10 – 100	$10^{-4}$
Asfalto, linóleo ou madeira	$\geq 100$	$10^{-5}$

Fonte: (ABNT, 2015)

Quadro 2.22 - Grande do fator  $r_p$ 

<b>Providências</b>	<b><math>r_p</math></b>
Nenhuma providência	1
Uma das providências entre extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manual, hidrantes, compartimentos à prova de fogo e rotas de escape	0,5
Uma das providências entre instalações fixas operadas automaticamente e instalações de alarme automático	0,2

Fontes: (ABNT, 2015)

Quadro 2.23 – Grandeza do fator  $r_f$ 

<b>Risco</b>	<b>Escala do 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	$10^{-2}$
Explosão ou incêndio	Nenhum	0

Fonte: (ABNT, 2015)

Quadro 2.24 - Grandeza do fator  $h_z$ 

<b>Tipo de perigo específico</b>	<b><math>h_z</math></b>
Sem perigo específico	1
Nível de pânico baixo	2
Nível de pânico médio	5
Árdua evacuação	5
Nível de pânico alto	10

Fonte: (ABNT, 2015)

Segundo a (ABNT, 2015), o valor da perda de serviço ao público, L2, para cada tipo de dano é calculado por meio do quadro 2.25:

Quadro 2.25 – Valores da perda para cada zona do tipo de perda L2

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D2	$L_B = L_V = (r_p * r_f * L_F * n_Z)/n_t$	(2.32)
D3	$L_C = L_M = L_W = (L_O * n_Z)/n_t$	(2.33)

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)

Onde:

$L_F$  é a quantia referente média específica de usuários não servidos decorridos por D2 em consequência de um fenômeno perigoso, conforme o quadro 2.26;

$L_O$  é a quantia referente média específica de usuários não servidos decorridos por D3 em consequência de um fenômeno perigoso, conforme o quadro 2.26.

Quadro 2.26 – Grandeza dos valores médios específicos de  $L_F$  e  $L_O$  para perda tipo L2

Tipo de dano	Valor da perda típica	Tipo de serviço
D2 Danos físicos	$L_F$	$10^{-1}$ Gás, água e fornecimento de energia
		$10^{-2}$ TV e linhas de sinais
D3 Falhas de sistemas internos	$L_O$	$10^{-2}$ Gás, água e fornecimento de energia
		$10^{-3}$ TV e linhas de sinais

Fonte: (ABNT, 2015)

Segundo (ABNT, 2015), o valor da perda de patrimônio público, L3, para cada tipo de dano é calculado por meio do quadro 2.8:

Quadro 2.27 – Valores da perda para cada zona do tipo de perda L3

Tipo de dano	Valor típico da perda	Equação
D2	$L_B = L_V = (r_p * r_f * c_Z)/c_t$	(2.34)

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)

Onde:

$L_F$  é a quantia referente média específica de todos os valores decorridos por D2 em consequência de um evento perigoso. Considera-se  $L_F = 10^{-1}$  pelo motivo do local ser um museu ou galeria;

$c_Z$  é a grandeza do valor do patrimônio cultural em uma zona;

$c_t$  é a grandeza do valor total da estrutura e seu conteúdo

Segundo a (ABNT, 2015), o valor da perda econômica, L4, para cada tipo de dano é calculado por meio do quadro 2.9:

Quadro 2.28 – Valores da perda para cada zona do tipo de perda L4

Tipo de danos	Perda típica	Equação
D1	$L_A = (r_t * L_T * c_a)/c_t$	(2.35)
D1	$L_U = (r_t * L_T * c_a)/c_t$	(2.36)
D2	$L_B = L_V = (r_f * L_F * (c_a + c_b + c_c + c_s))/c_t$	(2.37)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = (L_O * c_s)/c_t$	(2.38)

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)

Onde:

$L_T$  é a quantia referente média específica de todos valores danificados decorridos por D1 em consequência de um fenômeno perigoso, conforme o quadro 2.90;

$L_F$  é a quantia referente média específica de todos valores danificados decorridos por D2 em consequência de um fenômeno perigoso, conforme o quadro 2.29;

$L_O$  é a quantia referente média específica de todos valores danificados decorridos por D3 em consequência de um fenômeno perigoso, conforme o quadro 2.29;

$c_a$  é a quantidade de animais dentro da zona;

$c_b$  é o custo da edificação considerável à zona;

$c_c$  é o custo total do conteúdo dentro da zona;

$c_s$  é a montante dos sistemas no interior da estrutura, incluindo suas tarefas dentro da zona;

Quadro 2.29 – Grandeza dos valores médios específicos de  $L_T$ ,  $L_F$  e  $L_O$  para perda tipo L4

Tipo de danos	Valor de perda típico		Tipo de estrutura
D1	$L_T$	$10^{-2}$	Todos os tipos com a presença de animais

D2	$L_F$	1	Ameaça de explosão
		0,5	Agricultura, hospital, industrial ou museu
		0,2	Comercial, entretenimento público, escritório, escola, hotel ou igreja
		$10^{-1}$	Outros
D3	$L_O$	$10^{-1}$	Ameaça de explosão
		$10^{-2}$	Comercial, escritório, hospital, hotel ou indústria
		$10^{-3}$	Agricultura, entretenimento público, escola, igreja ou museu
		$10^{-4}$	Outros

Fonte: (ABNT, 2015)

A quadro 2.30 relaciona os componentes de risco para uma determinada estrutura entre os tipos diferentes de danos e diferentes fontes de danos.

Quadro 2.30 – Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fontes de danos

Danos	Fonte de danos			
	S1	S2	S3	S4
D1	$R_A = N_D * P_A * L_A$	–	$R_U = (N_L + N_{DL}) * P_U * L_U$	–
D2	$R_B = N_D * P_B * L_B$	–	$R_V = (N_L + N_{DJ}) * P_V * L_W$	–
D3	$R_C = N_D * P_C * L_C$	$R_M = N_M * P_M * L_M$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) * P_W * L_W$	$R_Z = N_I * P_Z * L_Z$

Fonte: (ABNT, 2015)

As equações do quadro 2.30 são numeradas como:

$$R_A = N_D * P_A * L_A \quad (2.39)$$

$$R_B = N_D * P_B * L_B \quad (2.40)$$

$$R_C = N_D * P_C * L_C \quad (2.41)$$

$$R_M = N_M * P_M * L_M \quad (2.42)$$

$$R_U = (N_L + N_{DL}) * P_U * L_U \quad (2.43)$$

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) * P_V * L_V \quad (2.44)$$

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) * P_W * L_W \quad (2.45)$$

$$R_Z = N_I * P_Z * L_Z \quad (2.46)$$

### 2.2.3 Parte 3 – Danos físicos a estruturas e perigos à vida

Esta parte da norma, NBR 5419-3:2015, aborda como é a proteção no interior e ao redor de uma determinada estrutura em relação às tensões de toque e passo provocadas por descargas atmosféricas. A principal medida de proteção contra as descargas atmosféricas é o SPDA.

A (ABNT, 2015) divide o SPDA em quatro níveis de proteção e quatro classes de SPDA em decorrência das propriedades da descarga atmosférica, raio da esfera rolante, espaço entre cabos da malha, ângulo de proteção, espaço típico entre condutores de descida e dos condutores em anel, espaço de segurança contra centelhamento e comprimento mínimo dos eletrodos de aterramento.

O quadro 2.31 demonstra a relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA.

Quadro 2.31 – Correlações entre os níveis de proteção contra as descargas atmosféricas e as classes de SPDA da estrutura

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

Fonte: (ABNT, 2015)

A (ABNT, 2015) classifica o SPDA em SPDA interno, sendo este designado a proteção contra riscos de centelhamentos perigosos através das ligações equipotenciais e elementos eletricamente condutores no interior da estrutura, e SPDA externo, este designado a interceptar descargas elétricas, conduzir a corrente até o aterramento e dispersa-la no interior do solo.

Segundo a (ABNT, 2015), dentro do sistema externo de proteção contra as descargas atmosféricas, há três subsistemas denominados de subsistema de captação, subsistema de descida e subsistema de aterramento.

### 2.2.3.1 *Subsistema de captação*

Conforme a (ABNT, 2015), a função principal do subsistema de captação é de interceptar as descargas atmosféricas. Essa interceptação pode ser realizada contendo qualquer tipo combinação entre condutores em malha, condutores suspensos, hastes e mastros, sendo que haja ao menos dois caminhos para a segmentação da corrente no momento em que uma descarga atmosférica alvejar um captor individual.

Para que haja uma maior eficiência na interceptação das descargas atmosféricas pelo subsistema de captação, é essencial mensurar esse subsistema através do método do ângulo de proteção, ou método da esfera rolante ou método das malhas e ainda instalar na estrutura seus componentes de captação nos cantos salientes, pontas expostas e beiradas. (ABNT, 2015)

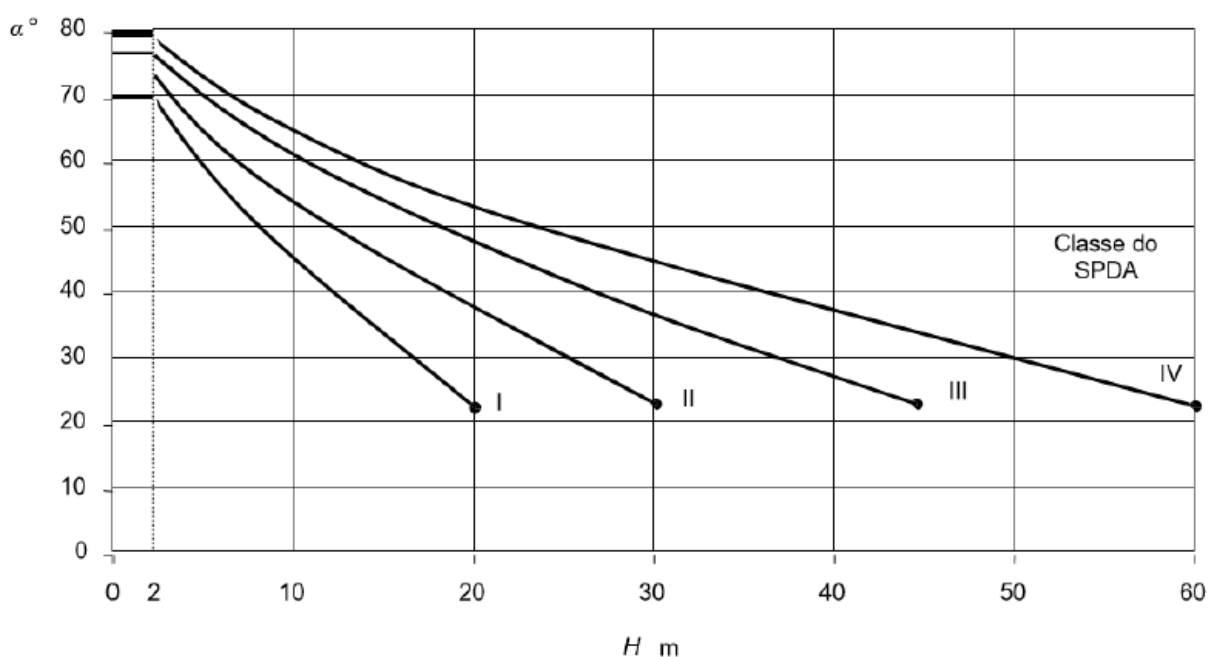
O quadro 2.32 e a figura 2.12 demonstram os valores, por meio de cada classe de SPDA, o ângulo de proteção, raio da esfera rolante e tamanho da malha do subsistema de captação de uma estrutura.

Quadro 2.32 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA

-	Método de proteção		
	Classe do SPDA	Raio da esfera rolante – R, em metros	Máximo afastamento dos condutores da malha, em metros
I	20	5 x 5	Ver figura 2.8
II	30	10 x 10	
III	45	15 x 15	
IV	60	20 x 20	

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)

Figura 2.12 – Valores dos ângulos de proteção conforme a classe do SPDA



Fonte: (ABNT, 2015, apud MARINHO, 2018)

De acordo com a (ABNT, 2015), as estruturas com até sessenta metros de porte indicam uma baixíssima probabilidade de serem atingidas por descargas atmosféricas de baixa amplitude, conseqüentemente podem ser desconsideradas. Já as estruturas com alturas superiores a sessenta metros estão sujeitas a descargas atmosféricas em suas laterais. Sendo assim, pelo menos um SPDA de nível IV de



proteção devem ser atendidos e ainda devem ter ênfase na localização dos elementos de captação como bodas, cantos, quinas e saliências significativas.

### 2.2.3.2 *Subsistema de descida*

Conforme a (ABNT, 2015), a função principal de um subsistema de descida é de reduzir a viabilidade de danos provocados por corrente oriunda de descarga atmosférica que flui pelo SPDA por meio dos condutores de descidas. Esses condutores devem ser ajustados com a finalidade de que haja diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica, a menor distância possível do ponto de interceptação até o aterramento e a equipotencialização das partes condutoras da estrutura.

O quadro 2.33 apresenta o espaçamento entre os condutores de descida e entre anéis condutores conforme a classe do SPDA.

Quadro 2.33 – Espaçamento entre os condutores de descida e entre anéis condutores conforme a classe do SPDA

<b>Classe do SPDA</b>	<b>Espaçamento, em metros</b>
I	10
II	10
III	15
IV	20

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)

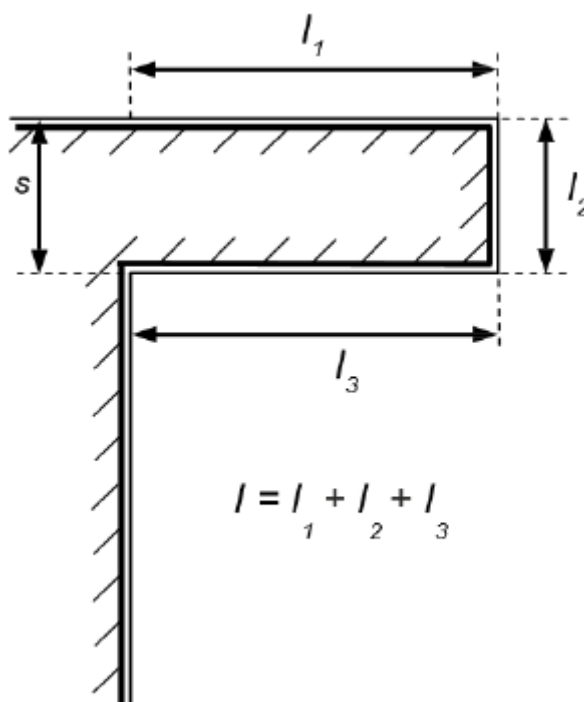
A (ABNT, 2015) explicita que independentemente do valor calculado do perímetro, a quantidade de condutores de descida não deve ser inferior a dois para o SPDA não isolado.

Para o subsistema de descida de um SPDA isolado, o posicionamento das descidas deve obedecer três aspectos. Um dos aspectos é a indispensabilidade de no mínimo um condutor de descida para cada mastro, caso essas hastes consistem em mastros dissociados não metálicos nem interconectados à armadura. O outro aspecto é a indispensabilidade de no mínimo um condutor de descida em cada suporte da estrutura, caso os captos consistem em condutores suspensos em catenária. Por fim, o outro aspecto é a indispensabilidade de no mínimo um condutor de descida em

cada suporte de terminação dos condutores, caso os captosres sejam formados como uma rede de condutores (ABNT, 2015).

Segundo a (ABNT, 2015), deve-se instalar os condutores de descida em uma configuração em que se obtenha a trajetória mais curta e direta para o aterramento. Entretanto, caso haja a impossibilidade do afastamento,  $s$ , entre os dois pontos do condutor e o comprimento,  $l$ , do condutor, deve-se calcular uma distância segura conforme a figura 2.13.

Figura 2.13 – Laço de um condutor do subsistema de descida



Fonte: (ABNT, 2015, apud MARINHO, 2018)

De acordo com a (ABNT, 2015), o espaçamento de segurança,  $s$ , é calculado por meio da equação (2.47):

$$s = \frac{k_i}{k_m} * k_c * l \quad (2.47)$$

Onde:

$s$  é o espaçamento, em metros, de segurança entre os dois condutores em paralelo;

$k_i$  é um coeficiente dependente do nível de proteção do SPDA, conforme o quadro 2.34;

$k_m$  é um coeficiente que depende do material isolante, onde no caso de diversos materiais isolantes em série, utiliza-se o menor valor para este coeficiente, conforme o quadro 2.35

$k_c$  é um coeficiente que depende da quantidade de descidas, conforme o quadro 2.36;

$l$  é o comprimento total, em metros, do laço.

Quadro 2.34 – Coeficiente  $k_i$  conforme o nível de proteção

<b>Classe do SPDA</b>	<b><math>k_i</math></b>
I	0,08
II	0,06
III e IV	0,04

Fonte: (ABNT, 2015)

Quadro 2.35 – Coeficiente  $k_m$  conforme o material isolante

<b>Material</b>	<b><math>K_m</math></b>
Ar	1
Concreto ou tijolos	0,5

Fonte: (ABNT, 2015)

Quadro 2.36 - Coeficiente  $k_c$  conforme o número de descidas

<b>Número de descidas</b>	<b><math>k_c</math></b>
1 (somente para SPDA isolado)	1
2	0,66
3 ou mais	0,44

Fonte: (ABNT, 2015)

A (ABNT, 2015) explicita que diversos segmentos de uma estrutura são capazes de ser utilizados como condutores naturais de descida como instalações metálicas, armaduras de concreto armado que são eletricamente contínuas, vigamento de aço conectado à estrutura e elementos da fachada, perfis e subconstruções metálicas das fachadas.

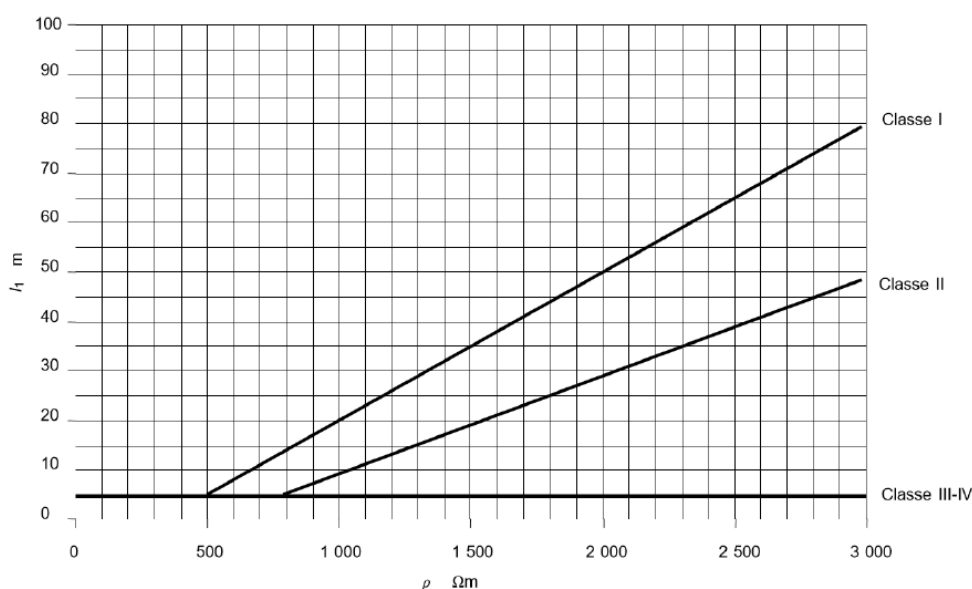
### 2.2.3.3 Subsistema de aterramento

Conforme a (ABNT, 2015), a função principal de um subsistema de aterramento é dispersar a corrente, oriunda do subsistema de descida, para o aterramento com a finalidade de minimizar qualquer sobretensão potencialmente perigosa. Logo, deve-se estudar a geometria e as mensurações desse subsistema para obter a menor resistência de aterramento viável. Ademais, o eletrodo de aterramento precisa ser comum e atender todos os propósitos como a proteção de descarga atmosférica, sistema de energia elétrica e sinal. Caso o eletrodo de aterramento seja em anel, ele deve ser enterrado em uma profundidade mínima de meio metro e ficar afastadas no máximo a um metro das paredes externas da estrutura.

A (ABNT, 2015) explicita que quando não há a possibilidade de utilizar o arranjo das armaduras das fundações de uma estrutura, instala-se um elemento condutor que interliga as armaduras não contínuas da fundação ou instala-se um arranjo um condutor em anel no interior do solo e que esteja em contato com no mínimo 80% de sua extensão.

Ao utilizar qualquer método mencionado acima, deve-se obter um raio médio que engloba a área dos eletrodos, sendo maior ou igual a  $l_1$ , ou seja,  $r_e \geq l_1$ . A figura 2.14 ilustra o comprimento do eletrodo de aterramento conforme a classe do SPDA (ABNT, 2015).

Figura 2.14 – Valor mínimo do comprimento do eletrodo de aterramento conforme a classe do SPDA



Fonte: (ABNT, 2015, apud MARINHO, 2018)

Caso a resistividade do solo seja maior que 3000  $\Omega\text{m}$ , deve-se prolongar as curvas da figura 2.14 por meio das equações (2.48) e (2.49):

$$l_1 = 0,03\rho - 10 \text{ (para classe I)} \quad (2.48)$$

$$l_1 = 0,02\rho - 10 \text{ (para classe II)} \quad (2.49)$$

Onde:

$\rho$  é a resistividade do solo

Segundo a (ABNT, 2015), os eletrodos verticais ou horizontais precisam ser instalados no aterramento caso o valor  $r_e$  seja inferior ao valor requerido  $l_1$ . Calcula-se os valores do comprimento individual horizontal,  $l_r$ , e comprimento individual vertical,  $l_v$ , por meio das equações (2.50) e (2.51).

$$I_r = I_1 - r_e \quad (2.50)$$

$$I_v = \frac{(l_1 - r_e)}{2} \quad (2.51)$$

Conforme a (ABNT, 2015), os eletrodos de aterramento naturais podem ser constituídos de armaduras de aço conectadas às fundações de concreto e outras estruturas metálicas que estejam aterradas e que possuem continuidade elétrica. Os métodos para garantir a continuidade elétrica são idênticos aos condutores de descida.

A equipotencialização constitui na potencialização elétrica por meio da interligação de todos os elementos condutivos existentes da estrutura, do seu interior e partes condutivas externas à estrutura e linhas elétricas que adentram a estrutura com a finalidade de evitar riscos de choques elétricos, incêndios e explosão no interior da estrutura (MAMEDE, 2017).

A (ABNT, 2015) explicita que a ligação equipotencial tem a capacidade de ser direta, através de condutores de ligação, ou indireta, através do DPS ou centelhadores. Ademais, no caso do SPDA externo isolado, a equipotencialização deve ser realizada ao nível do solo. Em caso de SPDA externo não isolado, a equipotencialização tem a capacidade de ser realizada próximo ao nível do solo ou na base da estrutura.

O quadro 2.37 demonstra as áreas das seções mínimas dos condutores que estão conectados barramentos de equipotencialização entre si ou ao sistema de aterramento.

Quadro 2.37 – Áreas de seções mínimas dos condutores que conectam barramentos de equipotencialização entre si ou ao sistema de aterramento

<b>Nível do SPDA</b>	<b>Modo de instalação</b>	<b>Material</b>	<b>Área de seção reta em mm<sup>2</sup></b>
I a IV	Não enterrado	Cobre	16
		Alumínio	25
		Aço galvanizado a fogo	50
	Enterrado	Cobre	50
		Alumínio	Não aplicável
		Aço galvanizado	80

Fonte: (ABNT, 2015)

O quadro 2.38 demonstra as áreas das seções mínimas dos condutores que conectam os elementos metálicos internos aos barramentos de equipotencialização.

Quadro 2.38 – Áreas de seções mínimas dos condutores que conectam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização

<b>Nível do SPDA</b>	<b>Material</b>	<b>Área da seção reta em mm<sup>2</sup></b>
I a IV	Cobre	6
	Alumínio	10
	Aço galvanizado	16

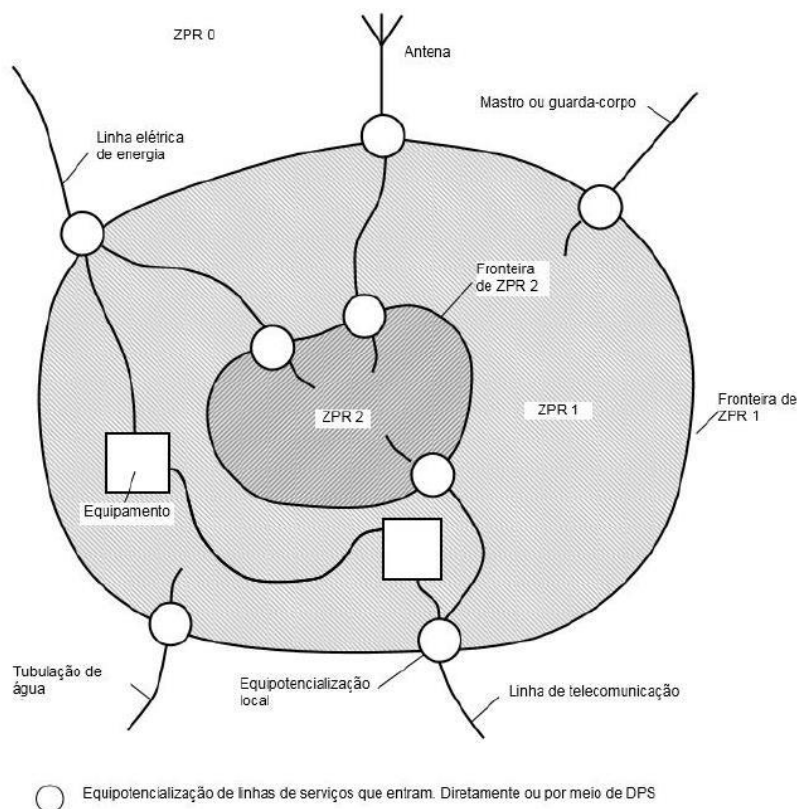
Fonte: (ABNT, 2015)

#### **2.2.4 Parte 4 – Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura**

Esta parte da norma, NBR 5419-4:2015, aborda informações a respeito de medidas de proteção para reduzir riscos de dano de sistemas eletroeletrônicos nas estruturas causados por LEMP, que este é a principal forma de dano nos sistemas no interior de uma determinada estrutura.

A (ABNT, 2015) explicita que as MPS são adotadas para evitar danos nos sistemas internos provocados por LEMP. Os efeitos do LEMP são baseados no conceito de ZPR. E essas zonas são associadas à parte de um sistema interno ou espaço onde a severidade do LEMP é compatível com a suportabilidade dos sistemas internos existentes. A figura 2.15 demonstra a divisão de uma ZPR, onde os serviços que estão conectados com a estrutura estão equipotencializados através de barras de equipotencialização na divisão de ZPR 1.

Figura 2.15 – Princípios gerais para a divisão de diferentes ZPR



Fonte: (ABNT, 2015, apud MARINHO, 2018)

Conforme a (ABNT, 2015), as MPS básicas contra LEMP constituem em:

- Coordenação de DPS e interfaces isolantes.
- Subsistema de aterramento e equipotencialização – são encarregados em conduzir e dispersar as correntes provenientes das descargas atmosféricas descendentes e minimizar as diferenças de potencial e o campo magnético dentro de uma determinada ZPR. O quadro 2.39 demonstra os mínimos valores de seção transversal que cada componente de equipotencialização e material deve atender.

- Blindagem magnética e roteamento das linhas – são encarregadas em minimizar a intensidade dos surtos induzidos internamente causados pelas correntes provenientes das descargas atmosféricas. A blindagem magnética reduz o campo eletromagnético e o roteamento de linhas internas reduz a criação de surtos de tensão.
- Coordenação de DPS – são responsáveis em minimizar os efeitos provados por surtos de sistema internos. Os DPS são instalados em pontos onde uma linha de sinal ou energia entra em uma ZPR. Em conformidade com o equipamento a ser protegido e a localização do DPS, os DPS são classificados em três classes, sendo eles:
  - Classe I – atribuída à proteção em combate à surtos elétricos provocados por descargas atmosféricas diretas.
  - Classe II – atribuída à proteção em combate à surtos elétricos provocados por descargas atmosféricas indiretas.
  - Classe III – atribuída à proteção de determinados equipamentos com o intuito de complementar a proteção. Logo deve-se ser instalado próximo ao equipamento
- Interfaces isolantes – são responsáveis em minimizar os efeitos do LEMP nas linhas que adentram as ZPR e allear a proteção de estruturas interconectadas.

Quadro 2.39 – Valores mínimos de seção transversal que cada componente de equipotencialização e material deve atender

<b>Componente da equipotencialização</b>	<b>Material</b>	<b>Seção transversal em mm<sup>2</sup></b>
Barras de equipotencialização de cobre, aço cobreado ou aço galvanizado	Cobre	50
	Ferro	50
Condutores para conexão de barras de equipotencialização para o subsistema de aterramento	Cobre	50
	Ferro	80



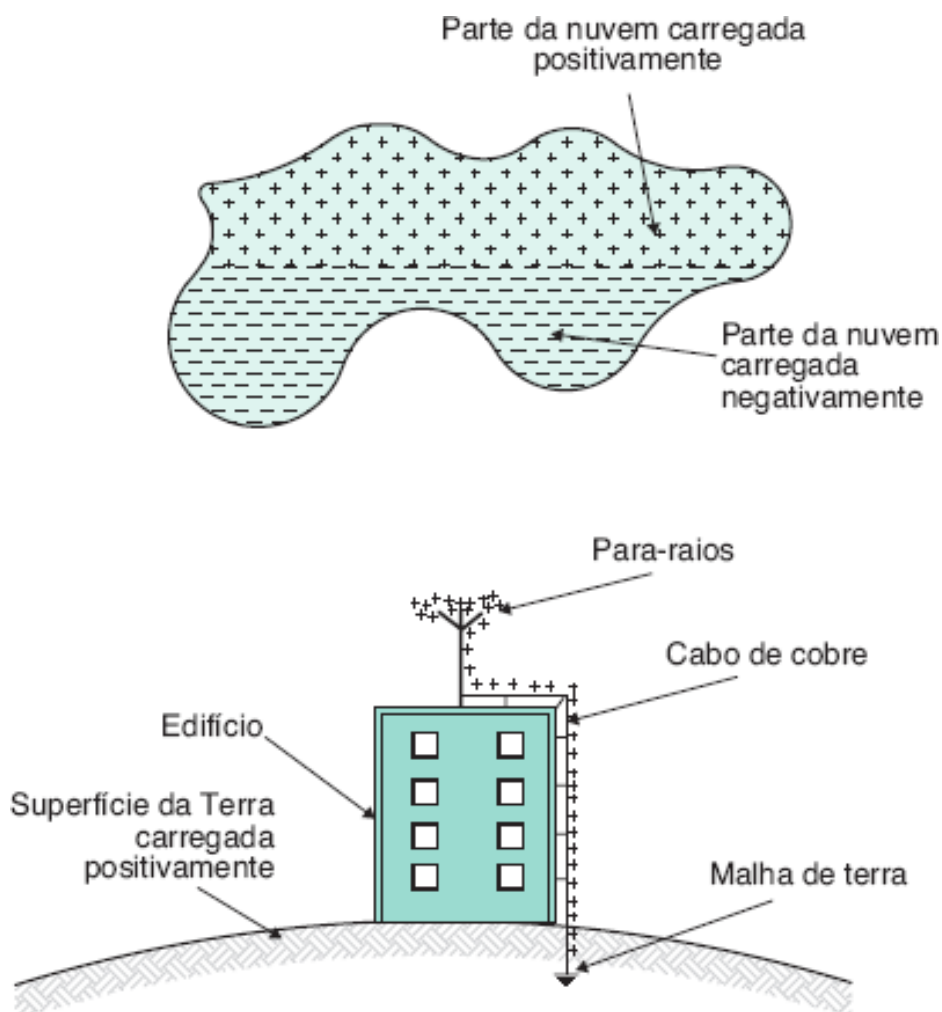
Condutores para conexão entre barras de equipotencialização conduzindo uma parcela significativa ou total da corrente da descarga atmosférica		Cobre Alumínio Ferro	16 25 50
Condutores para conexão entre partes metálicas internas da instalação e as barras de equipotencialização conduzindo uma parcela da corrente da descarga atmosférica		Cobre Alumínio Ferro	6 10 16
Condutores de aterramento para os DPS conduzindo uma parcela significativa ou total da corrente da descarga atmosférica	Classe I	Cobre	16
	Classe II		6
	Classe III		1
	Outros DPS		1

Fonte: (ABNT, 2015)

### 2.3 Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas – SPDA

Como já mencionado neste trabalho, o SPDA dispõe de seus objetivos de interceptar as descargas atmosféricas, através de captadores, conduzir a corrente da descarga atmosférica, por meio das descidas até o aterramento, e dispersar a corrente pela terra através do aterramento. A figura 2.16 ilustra o princípio fundamental da utilização de um SPDA.

Figura 2.16 – Ilustração do escoamento da descarga atmosférica



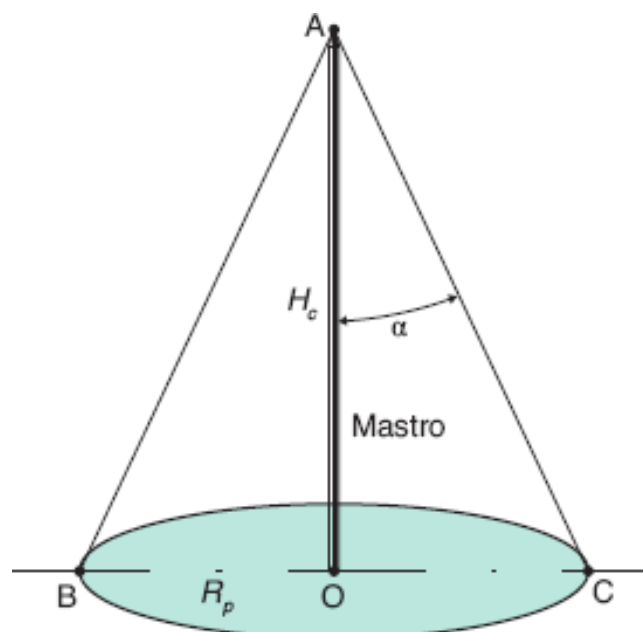
Fonte: (MAMEDE, 2017)

Conforme a (ABNT, 2015), há três posicionamentos do subsistema de captação para interceptar as descargas atmosféricas. Esses posicionamentos são denominados como método do ângulo de proteção, método da esfera rolante e método das malhas.

### 2.3.1 Método do ângulo de proteção

Conforme MAMEDE (2017), o método do ângulo de proteção, ou método de Franklin, oferece uma proteção no formato de um cone, sendo seu ângulo da geratriz é alterado conforme o nível de proteção desejado e a altura da estrutura,  $H_c$ . A figura 2.17 ilustra o volume de proteção fornecido pelo mastro do para-raios.

Figura 2.17 – Volume de proteção fornecido pelo mastro do para-raios



Fonte: (MAMEDE, 2017)

Segundo (MAMEDE, 2017), há quatro passos a serem seguidos para a elaboração do SPDA utilizando o método do ângulo de proteção.

- a) Volume de proteção formado por hastes.

Conforme a figura 2.17, calcula-se o raio da base de proteção do cone por meio da equação (2.52):

$$R_p = H_c * tg(\alpha) \quad (2.52)$$

Onde:

$R_p$  é o raio, em metros, da base do cone de proteção;

$H_c$  é a estatura, em metros, da extremidade do captor conforme sua base;

$\alpha$  é o ângulo de proteção vertical conforme a figura 2.12

- b) Número de condutores de descida

O número de condutores de descida é baseado no nível de proteção desejado e no afastamento entre os condutores conforme o quadro 2.32. Logo, calcula-se o número de condutores de descida por meio da equação (2.53):

$$N_{cd} = \frac{P_{co}}{D_{cd}} \quad (2.53)$$

Onde:

$N_{cd}$  é a quantidade de condutores de descida;

$P_{co}$  é o perímetro, em metros, da construção;

$D_{cd}$  é o espaçamento entre condutores de descida conforme o quadro 2.33.

A (ABNT, 2015) aconselha que o afastamento entre os condutores de descidas pode ter 20% além dos valores apresentados no quadro 2.33 e que se instale ao menos um condutor de descida nos cantos saliente da estrutura, além dos condutores já calculados.

c) Seção do condutor

A dimensão mínima dos condutores é dada conforme o quadro 2.40.

d) Resistência da malha de terra

Em qualquer época do ano, a resistência da malha de aterramento não de ser superior a  $10\Omega$  e deve estar conforme o quadro 2.41.

Quadro 2.40 – Material conforme sua configuração e áreas mínimo para condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas

Material	Configuração	Área mínima em mm <sup>2</sup>	Comentários
Cobre	Fita maciça	35	Espessura de 1,75 mm
	Arredondado maciço	35	Diâmetro de 6 mm
	Encordoado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha de 2,5 mm
	Arredondado maciço	200	Diâmetro de 16 mm

Alumínio	Fita maciça	70	Espessura de 3mm
	Arredondado maciço	70	Diâmetro de 9,5 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha de 3,5 mm
	Arredondado maciço	200	Diâmetro de 16 mm
Aço cobreado IACS 30%	Arredondado maciço	50	Diâmetro de 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha de 3 mm
Alumínio cobreado IACS 64%	Arredondado maciço	50	Diâmetro de 8 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha de 3,6 mm
Aço galvanizado a quente	Fita maciça	50	Espessura mínima de 2,5 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro de 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio cordoalha de 1,7 mm
	Arredondado maciço	200	Diâmetro de 16 mm
Aço inoxidável	Fita maciça	50	Espessura de 2 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro de 8 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio cordoalha de 1,7 mm
	Arredondado maciço	200	Diâmetro de 16 mm

Fonte: (ABNT, 2015)

Quadro 2.41 – Material conforme sua configuração e áreas mínimas de eletrodo de aterramento

Material	Configuração	Dimensões mínimas		Comentários
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordoado	–	50 mm <sup>2</sup>	Diâmetro de cada fio cordoalha de 3 mm
	Arredondado maciço	–	50 mm <sup>2</sup>	Diâmetro de 8 mm
	Fita maciça	–	50 mm <sup>2</sup>	Espessura de 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	–	–
	Tubo	20 mm	–	Espessura da parede de 2 mm
Aço galvanizado à quente	Arredondado maciço	16 mm	Diâmetro de 10 mm <sup>2</sup>	–
	Tubo	25 mm	–	Espessura de 2 mm
	Fita maciça	–	90 mm <sup>2</sup>	Espessura de 3 mm
	Encordoado	–	70 mm <sup>2</sup>	–
Aço cobreado	Arredondado Maciço Encordoado	12,7 mm	70 mm <sup>2</sup>	Diâmetro de cada fio da cordoalha de 2,45 mm
Aço inoxidável	Arredondado Maciço Fita maciça	15 mm	100 mm <sup>2</sup>	Espessura mínima de 2 mm

Fonte: (ABNT, 2015)

### 2.3.2 Método da esfera rolante

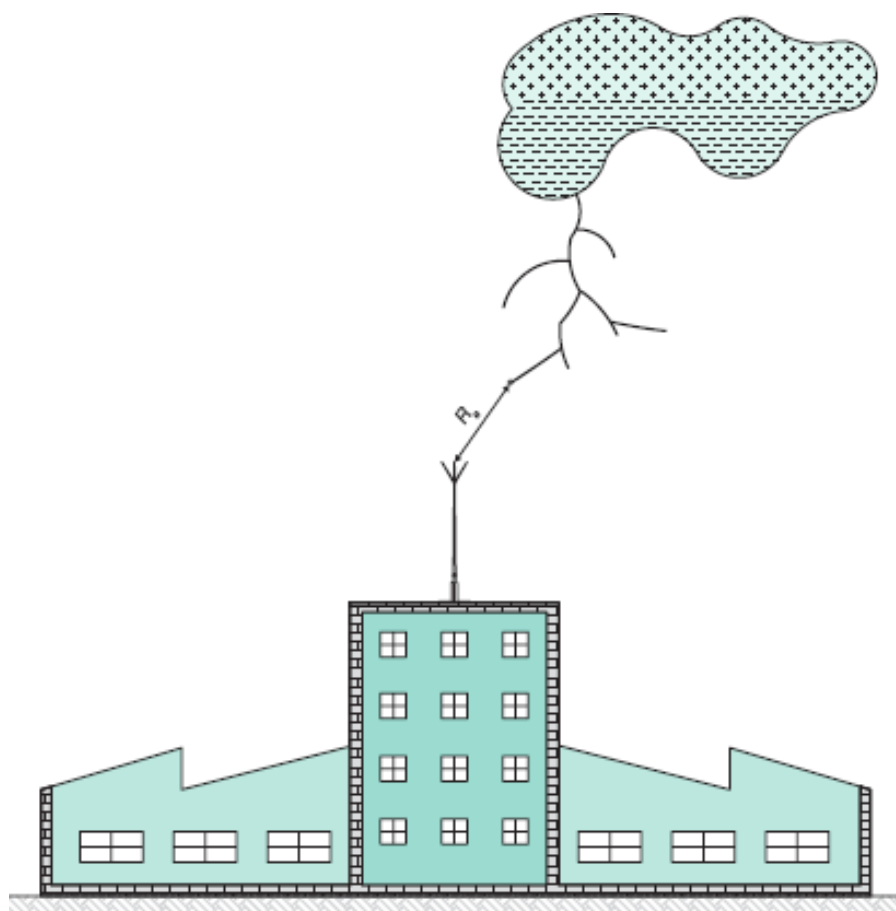
Segundo (MAMEDE, 2017), o método da esfera rolante, ou método eletrogeométrico, constitui na determinação do volume de captos do SPDA, com a

possibilidade de utilização de hastes, cabos ou o arranjo entre os dois. Este método, é bastante eficiente para estruturas altas e/ou complexas.

A (ABNT, 2015) explicita que é recomendado para estruturas com altura superiores a sessenta metros, a utilização do método da esfera rolante, pois quanto mais alto for a estrutura, maior será a viabilidade de ocorrências de descargas atmosféricas nas laterais da saliência superior dessa estrutura. Logo, a instalação de captação nessas laterais devem ser consideradas.

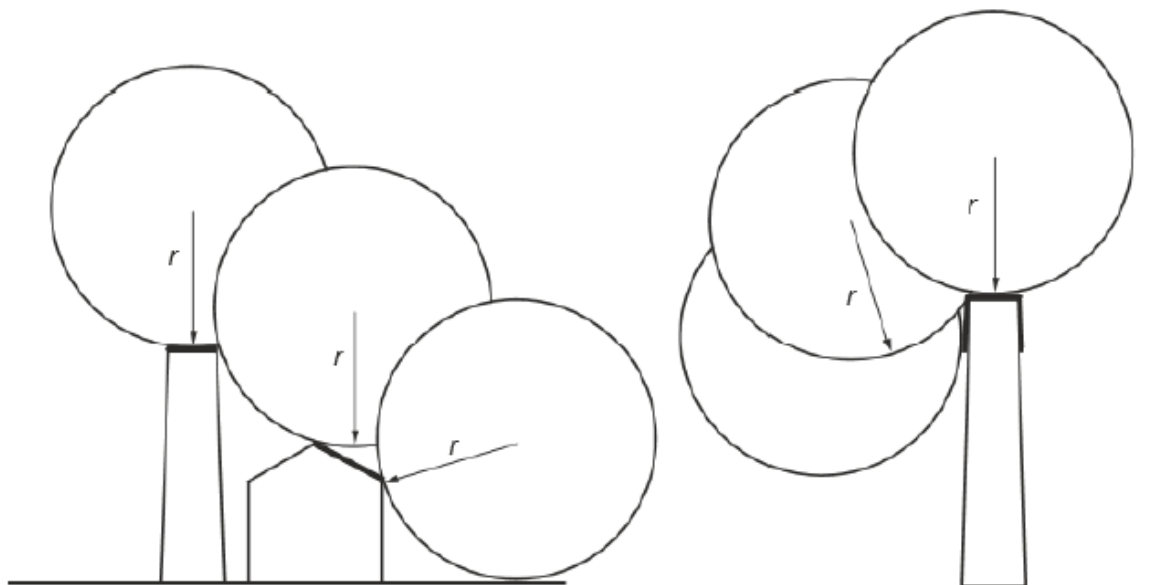
Conforme (MAMEDE, 2017), o método da esfera rolante é baseado na premissa da esfera de raio  $R_e$ , no qual raio  $R_e$  é a diferença entre a extremidade da descarga atmosférica líder antes de seu último salto e a extremidade do para-raios, conforme a figura 2.18. O valor do raio  $R_e$  é determinado conforme a classe do SPDA e o quadro 2.32. Ademias, a região onde a esfera fictícia não toca é a região que será protegida, conforme a figura 2.19.

Figura 2.18 – Determinação da distância do raio da esfera



Fonte: (MAMEDE, 2017)

Figura 2.19 – Ilustrações do subsistema de captação em conformidade com o método da esfera rolante



Fonte: (ABNT, 2015, apud MARINHO, 2018)

### 2.3.3 Método das malhas

Segundo (ABNT, 2015), o método das malhas, ou o método de Faraday como é conhecido, constitui em uma malha de condutores elétricos nus com a finalidade de proteger a parte superior de uma estrutura, sendo que essa malha possua um espaçamento entre os condutores conforme o nível de proteção desejado e a sua quantidade de descidas conforme o quadro 2.32 e a equação (2.53).

Calcula-se a quantidade de condutores da malha na região de menor dimensão e maior dimensão por meio das equações (2.54) e (2.55), respectivamente.

$$N_{Cm} = \frac{Di_M}{D_{cd}} + 1 \quad (2.54)$$

Onde:

$N_{Cm}$  é a quantidade de condutores na região da menor dimensão da estrutura;  
 $Di_M$  é o valor da maior dimensão da estrutura;

$$N_{CM} = \frac{Di_m}{D_{cd}} + 1 \quad (2.55)$$

Onde:

$N_{CM}$  é a quantidade de condutores na região da maior dimensão da estrutura;  
 $Di_m$  é o valor da menor dimensão da estrutura;



A (ABNT, 2015) descreve que há requisitos a serem cumpridos para a utilização do método da malha como a instalação de condutores nas periferias da cobertura, nas saliências da cobertura, nas cumeeiras dos telhados, os condutores da malha seguirão o caminho mais curto da instalação e o conjunto de malha não pode possuir um subsistema de captação com menos de duas rotas condutoras distintas para o subsistema de aterramento.

Segundo (MAMEDE, 2017), o método das malhas é indicado para estruturas baixas que possuem uma grande área horizontal, pois elas demandam uma grande quantidade de captadores do tipo haste, tornando o custo do projeto altíssimo. Ademais, esse método é baseado na teoria do campo eletromagnético no interior de uma gaiola de superfície é nula, quando são percorridas por uma corrente elétrica.

## **2.4 Comparação entre a NBR 5419:2015 e a NBR 5419:2005**

A comparação entre ambas as normas está segmentada em princípios gerais em que se discorre a respeito das mudanças estruturais da norma, o gerenciamento de risco, os danos físicos a estruturas e perigos a vida, os sistemas elétricos e eletrônicos internos da estrutura e as principais alterações com a atualização da norma.

### **2.4.1 Princípios gerais**

A diferença mais significativa entre a norma NBR 5419:2005 e a NBR 5419:2015 é a organização de cada. A versão de 2005, baseada na norma internacional IEC 61024, possui 42 páginas sem divisão alguma e tinha o intuito de apenas auxiliar o projetista a projetar um SPDA básico. No entanto, a versão de 2015, baseada na norma internacional IEC 62305, possui 309 páginas divididas em quatro partes, sendo a primeira parte baseada no princípio geral da descarga atmosférica e uma breve introdução a respeito dos diferentes tipos de proteção contra descargas atmosféricas, a segunda parte baseada na necessidade de implementação do SPDA, a terceira parte baseada nos métodos de instalação de SPDA e a quarta parte baseada nas medidas de proteção.

Segundo (MARTINS, 2017), uma das mudanças, com o aprimoramento da norma, mais significativas a respeito do princípio geral é a eficiência do nível de

proteção do SPDA. Essa eficiência aumentou em todas as classes devido à mudança de parâmetros, como os ângulos de proteção e afastamento dos condutores. O quadro 2.42 demonstra a eficiência do nível de proteção de cada versão da norma.

Quadro 2.42 – Eficiência do nível de proteção

Nível de proteção	Eficiência do Nível de proteção	
	Versão de 2005	Versão de 2015
I	98%	99%
II	95%	97%
III	90%	91%
IV	80%	84%

Fonte: (MARTINS, 2017)

Um outro ponto importante que não é abordado na versão de 2005 da norma é a ZPR. As ZPR são ambientes de uma estrutura que são afetados conforme o grau da ameaça das descargas atmosféricas. A figura 2.8 ilustra as ZPR definidas dentro de uma estrutura.

#### **2.4.2 Gerenciamento de risco**

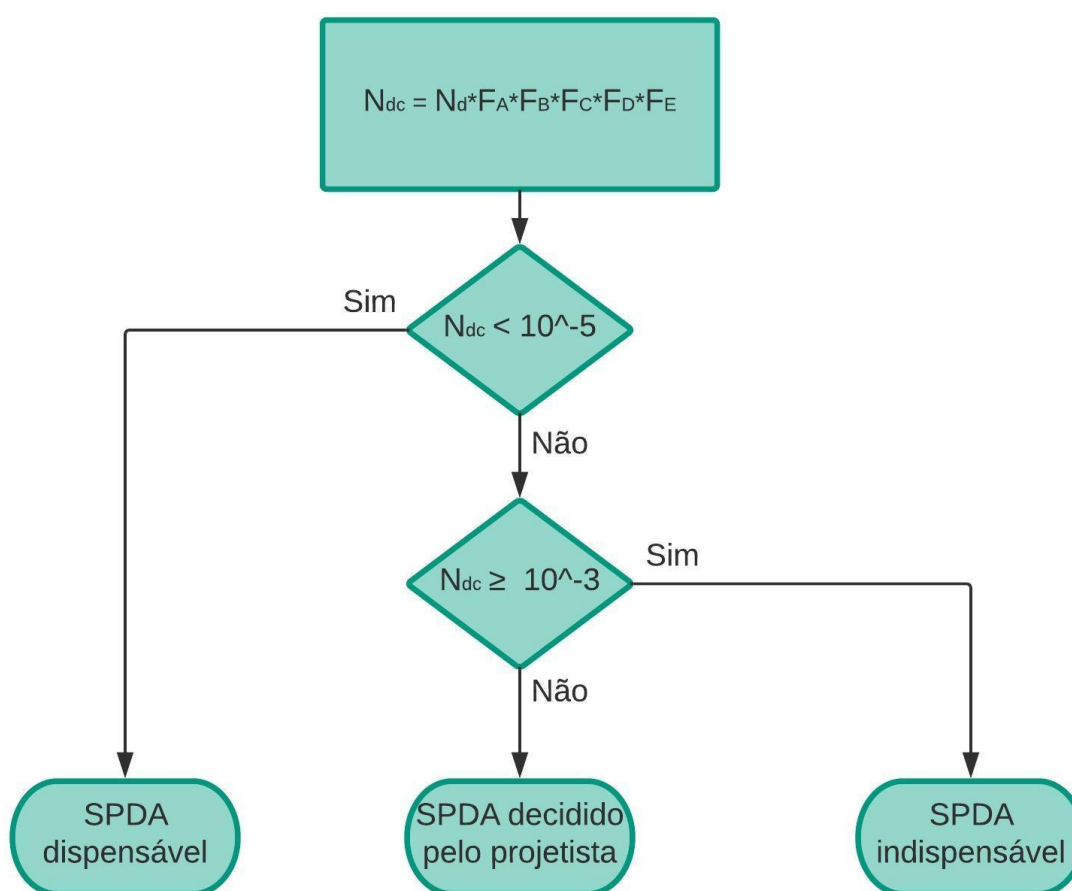
A versão 2005 da norma descreve em seu Anexo B titulado como “Método de seleção do nível de proteção” a respeito do gerenciamento de risco. Nesse anexo, a norma delinea se um SPDA é ou não necessário ser instalado na estrutura conforme a finalidade de sua ocupação, natureza de sua construção, o valor de seu conteúdo interno, localização, a altura e exposição a descargas atmosféricas. Já a versão de 2015 da norma descreve na parte dois da norma a respeito ao gerenciamento de risco. Em conformidade com essa parte, a instalação de um SPDA é baseada nas componentes de riscos. Esses riscos dependem da quantidade de fenômenos perigosos, probabilidade de dano à estrutura e a quantidade média das perdas.

A (ABNT, 2005) explicita que a avaliação geral de risco,  $N_{dc}$ , é calculada por meio da multiplicação da densidade da descarga atmosférica ascendente,  $N_d$ , fator baseado na utilidade da ocupação da estrutura,  $F_A$ , fator baseado arquétipo de construção da estrutura,  $F_B$ , fator baseado conteúdo no interior de uma estrutura e feitos indiretos das correntes oriundas das descargas atmosféricas,  $F_C$ , fator baseado

na localização urbana da estrutura,  $F_D$ , e fator baseado localização topografia da região,  $F_E$ . Caso a avaliação geral de risco resulte em um valor igual ou superior a  $10^{-3}$ , a estrutura requer a instalação de SPDA. Caso a avaliação geral de risco dê um valor entre  $10^{-1}$  e  $10^{-5}$ , o projetista decidirá a necessidade. Caso a avaliação geral de risco dê um valor menor que  $10^{-5}$ , a estrutura não precisa instalar um SPDA.

A figura 2.20 ilustra se há necessidade de instalação do SPDA conforme a avaliação geral de risco baseada na norma NBR 5419:2005.

Figura 2.20 – Diagrama de blocos da necessidade do SPDA conforme a norma NBR 5419:2005



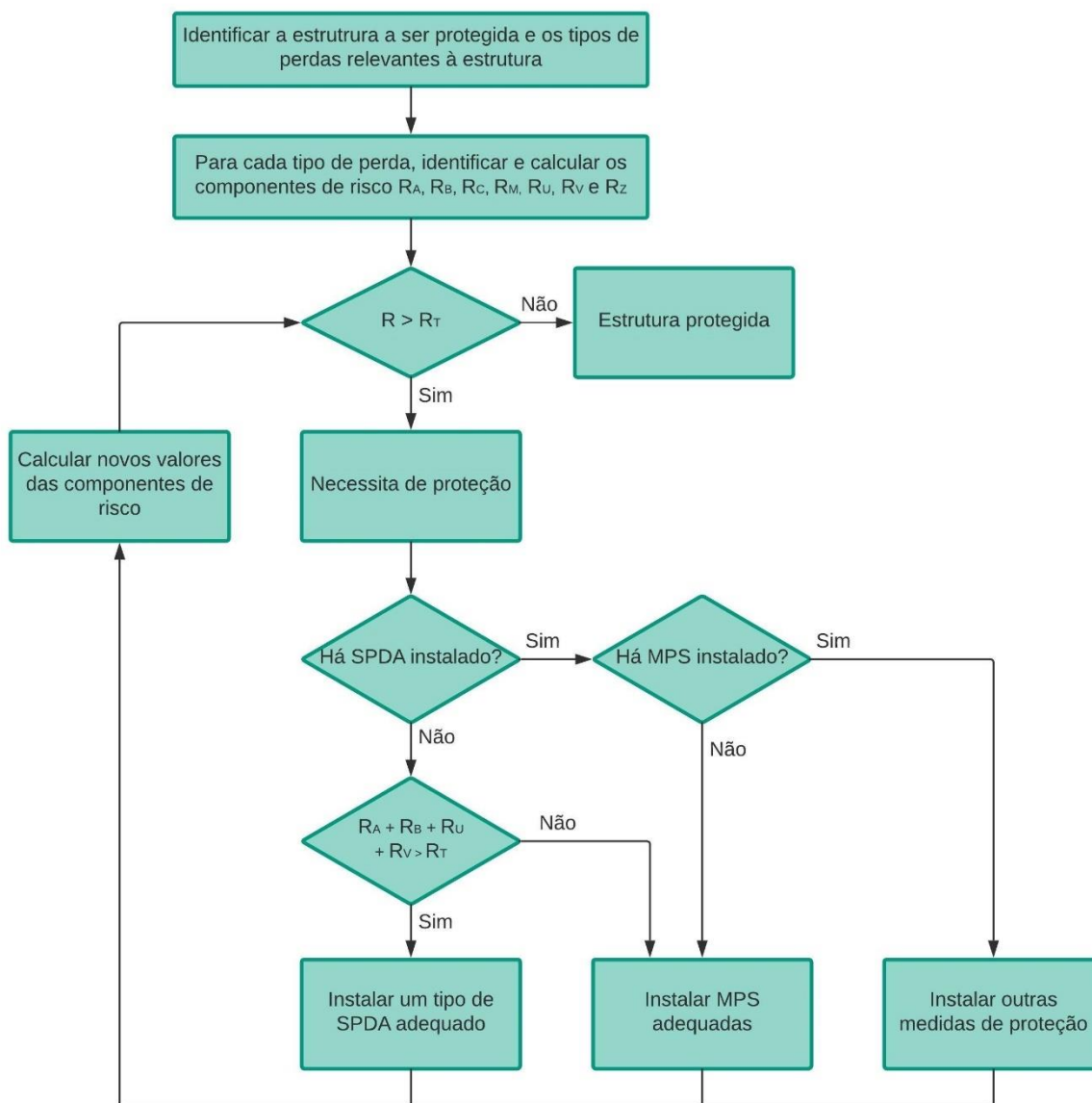
Fonte: Elaboração própria

Na versão 2015 da NBR 5419, o gerenciamento de risco é determinado por diversos componentes de risco, como já mencionado anteriormente. Após calcular o risco total que a estrutura sofre em um ano, deve-se comparar com o risco tolerável,  $R_T$ . Caso o valor do risco,  $R$ , seja maior do que o valor do risco tolerável,  $R_T$ , a estrutura

está protegida. Caso contrário, será necessário instalar SPDA e/ou outras medidas de proteção como as MPS

A figura 2.21 exibe o procedimento se há necessidade de proteção da estrutura contra as descargas.

Figura 2.21 – Procedimento se há necessidade da proteção de uma estrutura conforme a norma NBR 5419:2015



Fonte: (ABNT, 2015)

### 2.4.3 Danos físicos a estruturas e perigos à vida

O método do ângulo de proteção, ou método de Franklin, manifestam as maiores alterações entre os três subsistemas de captação. A maior modificação nesse método foi as alterações do ângulo de proteção, visto que na versão de 2005, os ângulos eram fixos para nível de proteção conforme o quadro 2.43. Já na versão de 2015, o ângulo de proteção varia em conformidade com a altura da estrutura e o seu nível de proteção, conforme a figura 2.12. Ademais, as alturas dos captores para cada nível de proteção foram mantidas em ambas as versões da norma.

Quadro 2.43 – Posicionamento de captores conforme o nível de proteção

-		Ângulo de proteção, em função da altura do captor e do nível de proteção					Largura do módulo da malha em metros
		0 m – 30 m	21 m – 30 m	31 m – 45 m	46 m – 60 m	>60 m	
Nível de proteção	h (m) r (m)						
I	20	25°	1)	1)	1)	2)	5
II	30	35°	25°	1)	1)	2)	10
III	45	45°	35°	25°	1)	2)	10
IV	60	55°	45°	35°	25°	2)	20

r é o raio da esfera rolante  
h é a altura do captor  
1)Aplicam-se somente os métodos eletrogeométrico ou malha  
2)Aplica-se somente o método das malhas

Fonte: (ABNT, 2005)

O método eletrogeométrico não foi alterado com a atualização da norma, pois não houve modificação nos raios das esferas rolantes em relação aos níveis de proteção.

A principal modificação com o método das malhas, ou método da gaiola de Faraday, está relacionada com o arquétipo de sua construção. Na versão de 2005, o comprimento da malha não poderia superar o dobro de sua largura, ou seja, suas formas poderiam ser tanto quadradas quanto retangulares. Em contrapartida, a versão de 2015, o comprimento da malha possui o mesmo tamanho que sua largura, ou seja,

sua forma é sempre quadrada. Contudo a versão de 2005 da norma delimita o valor da largura do módulo da malha, enquanto a versão de 2015 o máximo afastamento entre os condutores da malha. O quadro 2.44 compara os valores da malha captora, entre as duas normas, de conforme a classe do SPDA.

Quadro 2.44 – Valores para a largura do módulo da malha e o afastamento máximo dos condutores da malha

<b>Nível de proteção</b>	<b>Largura, em metros, do módulo da malha – NBR 5419:2005</b>	<b>Máximo afastamento, em metros, dos condutores da malha – NBR 5419:2015</b>
I	5	5 x 5
II	10	10 x 10
III	10	15 x 15
IV	20	20 x 20

Fonte: Elaboração própria

Com referência ao subsistema de descida, apenas os espaçamentos entre as descidas foram alterados conforme a classe do SPDA. O quadro 2.45 demonstra tal alteração entre as versões precedente e vigente da norma.

Quadro 2.45 – Espaçamento entre os condutores de descida conforme o nível de proteção

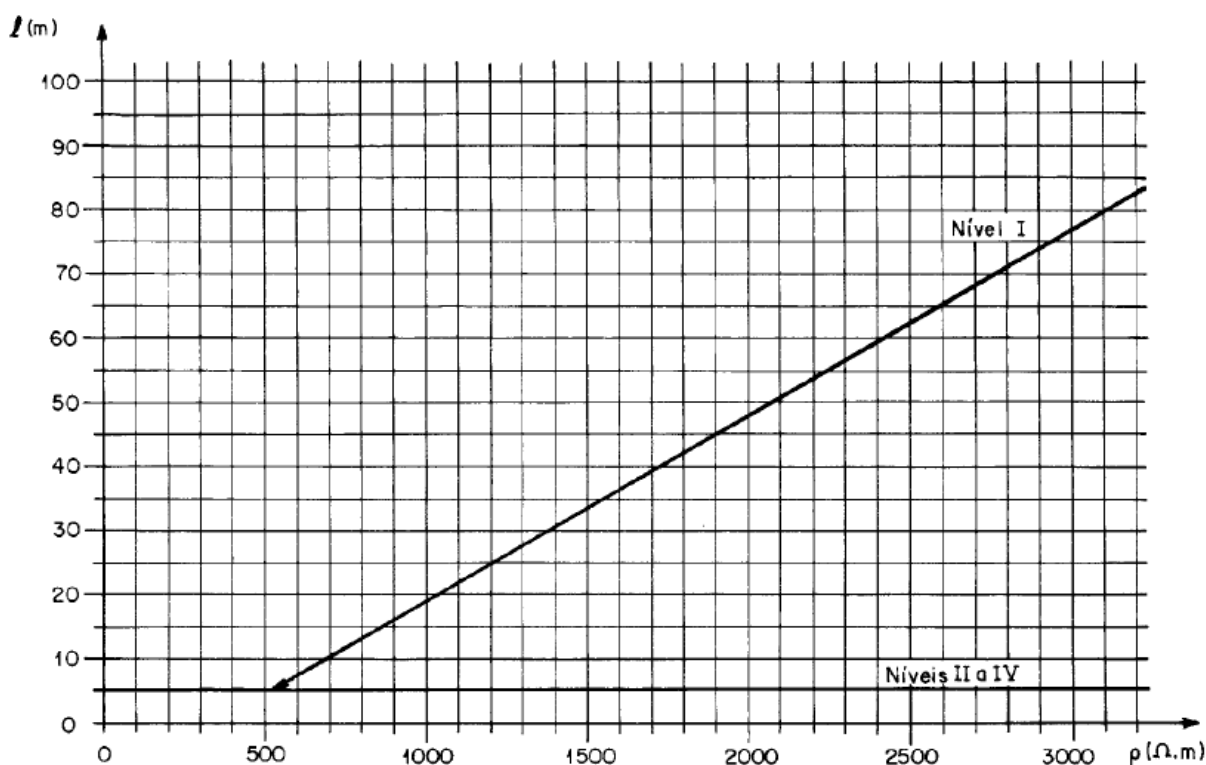
<b>Nível de proteção</b>	<b>Espaçamento em metros – NBR 5419:2005</b>	<b>Espaçamento em metros – NBR 5419:2015</b>
I	10	10
II	15	10
III	20	15
IV	25	20

Fonte: Elaboração própria

Com referência ao subsistema de aterramento, uma das alterações mais marcantes está relacionada com a obtenção da resistência de aterramento. A versão precedente da norma recomenda que a resistência de aterramento seja aproximadamente 10  $\Omega$ , enquanto a versão vigente da norma recomenda que a resistência de aterramento seja a menor possível. Uma outra alteração entre as versões da norma corresponde aos arranjos de aterramento, a versão vigente da

norma não possui o arranjo “A”, em que o arranjo é composto de eletrodos radiais instalados em solos de baixa resistividade e estruturas pequenas. Entretanto, essa versão possui o arranjo “B”, em que o arranjo é composto de eletrodos em anel. Ademais, a versão vigente complementa que ao menos 80% de sua extensão do arranjo esteja em contato com o solo. Por fim, uma outra alteração significativa está relacionada ao comprimento mínimo do eletrodo de aterramento conforme o nível de proteção do SPDA, em que apenas o nível I possui um nível mínimo de comprimento enquanto o restante é independente com a resistividade do solo. Com a alteração da norma, o nível II tornou dependente da resistividade do solo. Essas mudanças podem ser visualizadas pelas figuras 2.14 e 2.22.

Figura 2.22 – Dimensão mínima dos eletrodos de aterramento em decorrência dos níveis e da resistividade do solo



Fonte: (ABNT, 2005, apud SANTINI, 2016)

Em relação aos materiais de SPDA, houve uma atualização dos materiais para a circunstância de utilização, como a remoção do chumbo, e teve a adição de quadros para o material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras, condutores de descidas e eletrodos de aterramento.

Por fim, uma das modificações significativas está relacionada com a isolação do SPDA externo, em que as grandezas do coeficiente  $k_i$  da equação (2.47), a respeito da distância de segurança “s”, são alterados. O quadro 2.46 demonstra as grandezas de  $K_i$  utilizadas em ambas as versões da norma.

Quadro 2.46 – Grandezas do coeficiente  $K_i$  em decorrência ao nível de proteção do SPDA

<b>Nível de proteção do SPDA</b>	<b><math>K_i</math> – NBR 5419:2005</b>	<b><math>K_i</math> – NBR 5419:2015</b>
I	0,10	0,08
II	0,075	0,06
III e IV	0,05	0,04

Fonte: Elaboração própria

#### **2.4.4 Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura**

Em relação aos sistemas elétricos e eletrônicos internos de uma determinada estrutura, a versão de 2005 da norma não aborda esse conteúdo. Entretanto, a versão vigente da norma aborda o assunto descrevendo a respeito de medidas de MPS com a finalidade de proteger uma estrutura contra LEMP. E também aborda a respeito da divisão dos ZPR e suas divisões dentro de uma estrutura.

#### **2.4.5 Síntese das principais alterações entre a NBR 5419:2005 e NBR 5419:2015**

O quadro 2.47 explicita as principais alterações entre as versões da norma de 2005 e 2015.

Quadro 2.47 – Principais alterações na norma vigente conforme a versão de 2005

<b>Parte alterada da norma</b>		<b>Comentários</b>
Parte 1: Princípios Gerais	Nível de proteção	Todas as classes do nível de proteção tiveram suas eficiências aumentadas, conforme o quadro 2.42
	Zonas de Proteção contra descargas atmosféricas “raios”	As ZPR foram inseridas na norma e estão demonstradas na figura 2.8



Parte 2: Gerenciamento de risco	Complexidade do gerenciamento de risco	O gerenciamento de risco teve incremento de diversas outras avaliações de eventos perigosos por ano, probabilidades de danos à estrutura e cálculos de perdas com o intuito de melhorar a eficiência do cálculo de risco. As figuras 2.20 e 2.21 demonstram tal complexidade.
Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida	Método do ângulo de proteção	O método do ângulo de proteção deixa de oferecer ângulos fixos, conforme o quadro 2.43, e introduz ângulo de proteção variável de acordo com a altura da estrutura, conforme o quadro 2.12
	Método das malhas	A forma de construção foi modificada de quadrados e retângulos para somente quadrados. O quadro 2.44 demonstra tal modificação
	Subsistema de descida	As distâncias dos níveis II e III de proteção foram alteradas conforme o quadro 2.45
	Subsistema de aterramento	A resistência de aterramento foi alterada de 10 $\Omega$ para o menor valor possível; Exclusão do arranjo "A"; Recomendação de pelo menos 80% do comprimento total do arranjo "B" estar em contato com o solo; Alteração do comprimento mínimo do eletrodo de aterramento, conforme as figuras 2.14 e 2.22
	Coeficiente $K_i$	O coeficiente $K_i$ foi totalmente alterado, conforme o quadro 2.46
Parte 4: Sistemas elétricos eletrônicos internos na estrutura	Sem alterações	A versão anterior da norma não abrangia tal assunto

Fonte: Elaboração própria

### 3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso proposto dispõe o intuito de desenvolver SPDAs para os blocos 3, 4, 5 e 8 do campus Asa Norte do UniCEUB com base na versão vigente da norma NBR 5419.

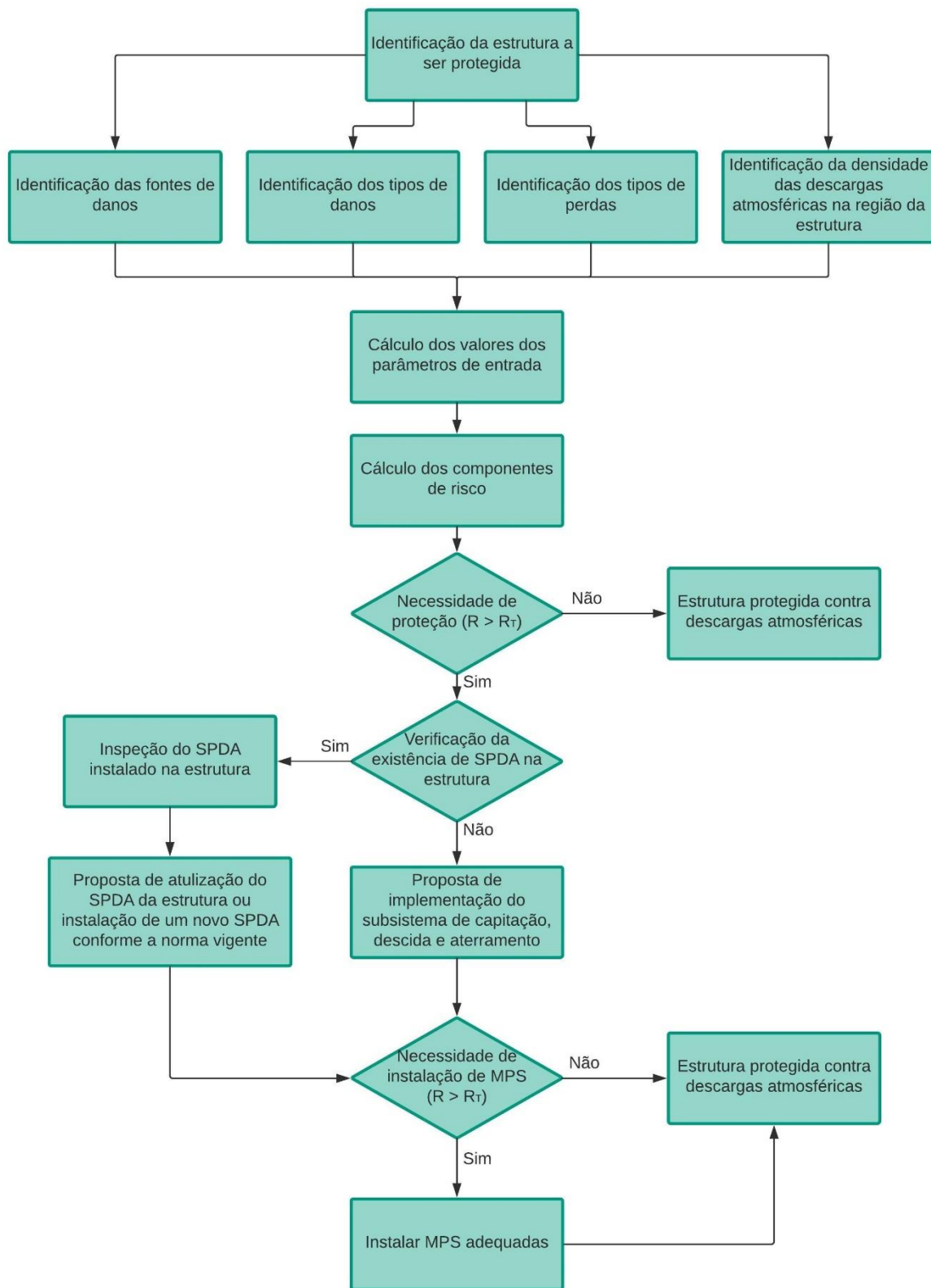
A parte inicial do projeto consiste na identificação da estrutura a ser protegida. Após a identificação da estrutura, ocorre a avaliação das fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas da estrutura e a identificação da densidade das descargas atmosféricas na região onde a estrutura está exposta para que se possa calcular os parâmetros de entrada. Com os valores dos parâmetros de entrada obtidos, calcula-se os componentes de risco para cada estrutura.

Com os valores dos componentes de risco obtidos, avalia-se a necessidade de proteção por meio da comparação dos componentes de riscos com os riscos toleráveis, que são fornecidos pela norma. Caso os valores dos riscos toleráveis sejam maiores do que os componentes de risco, a estrutura não necessita de proteção. Caso os valores dos riscos toleráveis sejam menores do que os componentes de risco, a estrutura necessita de proteção.

Se a estrutura precisa de proteção, deve-se verificar se há existência de SPDA instalado na estrutura. Caso não haja SPDA instalado, necessita-se mensurar medidas para os subsistemas de captação, descida e aterramento. Caso haja SPDA instalado, necessita-se primeiramente de inspecioná-lo e depois atualizá-lo ou instalar um novo SPDA conforme a norma vigente. Após a implementação do SPDA na estrutura, deve-se mensurar a viabilidade de instalação de MPS caso os valores dos riscos toleráveis estejam menores do que os componentes de risco. Por fim, a estrutura está protegida contra as descargas atmosféricas, conforme a norma vigente.

A figura 3.1 demonstra o fluxograma de toda a metodologia para o desenvolvimento do projeto neste capítulo.

Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto



Fonte: Elaboração própria

### 3.1 Identificação da estrutura a ser protegido

As identificações das estruturas estão divididas em duas partes, a primeira parte está relacionada às observações do bloco 3 e a segunda parte está relacionada às observações dos blocos 4, 5 e 8.

#### 3.1.1 Bloco 3

Para o estudo de caso do bloco 3, algumas observações foram feitas:

- A altura da estrutura é de 15 metros;
- A largura da estrutura é de 48 metros;
- O comprimento da estrutura é de 56 metros;
- O perímetro da estrutura é de 204 metros;
- A estrutura é cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos;
- O SPDA da estrutura possui 2 captos estilo Franklin de 3 metros, 9 descidas, sendo que 6 descidas estão conectadas ao aterramento, 2 foram removidas totalmente do SPDA e 1 está apenas conectada ao captor, e não possui aterramento em forma de anel;
- Os dois captos estão conectados na malha;
- A malha instalada na cobertura não está conforme a norma vigente nem a norma de 2005;
- As descidas que foram instaladas previamente estavam conforme o nível IV de proteção da norma de 2005;
- O aterramento é composto de eletrodos embutidos nas fundações da estrutura, conforme a norma de 2005;
- Há um ponto de antena instalado no ponto mais alto da estrutura;
- A estrutura está localizada em área urbana;
- Há cabos enterrados instalados na estrutura;
- O comprimento da secção das linhas de energia e sinal são desconhecidos;
- A linha de energia está em baixa tensão;
- Há uma isolação elétrica como medida de proteção;
- A conexão na entrada da linha enterrada é indefinida;

- A condição do roteamento, blindagem e interligação das linhas são desconhecidas;
- Não há DPS instalados na estrutura;
- A tensão suportável do sistema é igual a 1 kV por possuir uma tensão suportável do sistema desconhecida, conforme a recomendação da NBR 5419-2:2015;
- A estrutura é utilizada por pelo menos 3285 horas pelos estudantes, pois o bloco está aberto aos estudantes geralmente 210 dias do ano entre às 07:00 e 23:00 de segunda a sexta e entre 08:00 e 18:00 aos sábados. Também é considerado as horas que as estruturas são utilizadas como locais de provas para concurso, vestibular e exames nacional do ensino médio;
- A estrutura suporta ao máximo 4000 pessoas, sendo que ela possui 80 salas e um auditório, com no máximo 150 pessoas ao redor da estrutura;
- Considera-se um total de 4150 pessoas na zona;
- A estrutura possui um risco normal de incêndio e possui extintores para a redução das consequências de um incêndio;
- A superfície do piso em torno do bloco é de concreto;
- Somente o tipo de perda  $R_1$  foi considerado para esse estudo por ser a perda mais importante pelo fato de envolver a perda de vida humana;
- O tipo de perda  $R_2$  foi desconsiderado devido à escassez de informação a respeito de falhas de sistemas no interior do bloco e ao tempo escasso;
- O tipo de perda  $R_3$  foi desconsiderado devido ao fato que o centro universitário não possui perda de patrimônio público;
- O tipo de perda  $R_4$  foi desconsiderado por falta de informação a respeito da perda econômica que ocorreria caso descargas atmosféricas atingissem a estrutura.

As observações a respeito da altura e do perímetro do bloco 3 foram feitas por meio do Google Earth Pro e o restante das observações foi feita através de inspeções em campo. A estrutura do bloco 3 está demonstrada na figura 3.2 e a localização de

seus captores e suas descidas está demonstrada com as setas vermelhas nas figuras 3.3 e 3.4.

A figura 3.2 ilustra uma imagem em 3D do bloco 3 retirada pelo software Google Earth Pro.

Figura 3.2 – Imagem 3D do bloco 3 do campus Asa Norte do UniCEUB



Fonte: Google Earth Pro

A figura 3.3 representa a localização do captor e das descidas da lateral esquerda do bloco 3 começando pela parte posterior do bloco até sua parte frontal, conforme a posição da figura 3.2.

Figura 3.3 – Localização do captor e das descidas da lateral esquerda do Bloco 3



Fonte: Elaboração própria

A figura 3.4 representa a localização do captor e das descidas da lateral direita do bloco 3 começando pela parte posterior do bloco até sua parte frontal, conforme a posição da figura 3.2.

Figura 3.4 – Localização do captor e das descidas da lateral direita do bloco 3



Fonte: Elaboração própria

### 3.1.2 Blocos 4, 5 e 8

Os blocos 3, 5 e 8 foram considerados como um único bloco devido à alta dificuldade para a instalação de um aterramento em anel para cada bloco dado ao fato que as paredes de cada bloco estão em contato uma com a outra. Ademais, a junção dos três blocos em um único bloco foi denominada como Bloco Único. Para o estudo de caso do Bloco Único, algumas observações foram feitas:

- A altura da estrutura é de 13 metros possuindo, no bloco 8, uma saliência elevada que chega a 17 metros;
- No volume interior dessa saliência, há uma caixa d'água;
- A altura da saliência é desconsiderada por interferir muito pouco no cálculo final da área de exposição equivalente,  $A_D$ ;
- Foi considerada que a estrutura fosse remodelada para uma forma retangular, com largura de 17,5 metros e comprimento de 60 metros, com o intuito de facilitar o cálculo da área de exposição equivalente,  $A_D$ ;
- O perímetro da estrutura é de 160 metros;
- A estrutura é cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos;

- Bloco 5 e bloco 8 possuem placas fotovoltaicas instaladas em suas coberturas, sendo que elas não interferem na mensuração do SPDA por elas estarem em um nível abaixo da altura máxima de ambos blocos;
- O SPDA da estrutura possui 1 captor tipo Franklin de 3 metros, sendo este instalado no bloco 8, possui 4 descidas, sendo que apenas 2 estão conectadas ao aterramento e 2 foram removidas, e não possui aterramento em anel;
- A malha do bloco 8 foi removida;
- Não há malha nos blocos 4 e 5;
- As descidas existentes do bloco 8 estão conforme ao nível IV de proteção, conforme a norma de 2005;
- Não há descidas no bloco 4 e 5;
- O aterramento é composto de eletrodos embutidos nas fundações do bloco 8, conforme a norma de 2005;
- Não há aterramento nos blocos 4 e 5;
- A estrutura é localizada em área urbana;
- Há cabos enterrados instalados na estrutura;
- O comprimento da secção das linhas de energia e sinal são desconhecidos;
- A linha de energia está em baixa tensão;
- Há uma isolamento elétrica como medida de proteção;
- A conexão na entrada da linha enterrada é indefinida;
- A condição do roteamento, blindagem e interligação das linhas são desconhecidas;
- Não há DPS instalados nas estruturas;
- A tensão suportável do sistema é igual a 1 kV por possuir uma tensão suportável do sistema desconhecida, conforme a recomendação da NBR 5419-2:2015;
- As estruturas são utilizadas por pelo menos 3285 horas pelos estudantes, pois os blocos estão abertos aos estudantes geralmente 210 dias do ano entre às 07:00 e 23:00 de segunda a sexta e entre 08:00 e 18:00 aos sábados. Também é considerado as horas que as estruturas



são utilizadas como locais de provas para concurso, vestibular e exames nacional do ensino médio;

- A estrutura suporta ao máximo 1200 pessoas, sendo que ela possui 35 salas e um auditório, com no máximo 20 pessoas ao redor da estrutura;
- Considera-se um total de 1220 pessoas na zona;
- A superfície do piso em volta dos blocos é de concreto;
- Somente o tipo de perda  $R_1$  foi considerado para esse estudo por ser a perda mais importante pelo fato de envolver a perda de vida humana;
- O tipo de perda  $R_2$  foi desconsiderado devido à escassez de informação a respeito de falhas de sistemas no interior do bloco e ao tempo escasso;
- O tipo de perda  $R_3$  foi desconsiderado devido ao fato que o centro universitário não possui perda de patrimônio público;
- O tipo de perda  $R_4$  foi desconsiderado por falta de informação a respeito da perda econômica que ocorreria caso descargas atmosféricas atingissem a estrutura.

As observações a respeito da altura e do perímetro do Bloco Único foram feitas por meio do Google Earth Pro e o restante das observações foi feito através de inspeções locais. A estrutura do Bloco Único está demonstrada na figura 3.5, sendo que a estrutura está demarcada por um retângulo vermelho, a localização de suas descidas está demonstrada com as setas vermelhas nas figuras 3.6 e 3.7 e a localização de sua captação e malha está demonstrada com a seta vermelha na figura 3.8.

A figura 3.5 ilustra uma imagem em 3D dos blocos 4, 5 e 8 retirada pelo software Google Earth Pro.

Figura 3.5 – Imagem 3D dos blocos 4, 5 e 8 do campus Asa Norte do UniCEUB



Fonte: Google Earth Pro

A figura 3.6 ilustra a localização da malha removida e das descidas frontais do Bloco Único, conforme a posição da figura 3.5.

Figura 3.6 – Localização da malha removida e das descidas frontais do Bloco Único



Fonte: Elaboração própria

A figura 3.6 ilustra a localização da malha removida e das descidas posteriores do Bloco Único, conforme a posição da figura 3.5

Figura 3.7 – Localização da malha removida e das descidas posteriores do Bloco Único



Fonte: Elaboração própria

A figura 3.8 ilustra a localização da malha removida e do captor do Bloco Único conforme a posição posterior do Bloco Único, de acordo com a figura 3.5

Figura 3.8 – Localização da malha removida e do captor do Bloco Único de acordo com a posição posterior do Bloco Único.



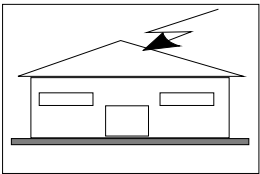
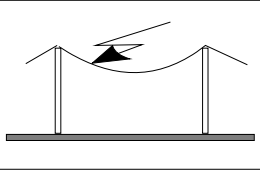
Fonte: Elaboração própria

### 3.2 Identificação das fontes de dano, tipos de danos, tipos de perdas e da densidade das descargas atmosféricas na região da estrutura

Ambos os blocos não possuem animais, não possuem risco de explosão nem a possibilidade de falhas de sistemas internos colorarem a vida humana em perigo. Logo, desconsidera-se a perda L4 do tipo de dano D1 da fonte S1 e S3 e a perda L1 do tipo de dano D3 da fonte S1, S2, S3 e S4. Ademais, como os riscos de perda R2, R3 e R4 foram desconsiderados para esse estudo, as perdas do tipo L2, L3 e L4 também foram desconsideradas. Sendo assim, somente o tipo de perda L1, tipo de dano D1 e D2 e fonte de dano S1 e S3 foram considerados nesse projeto.

O quadro 3.1 demonstra a relação entre fonte de danos, tipos de danos e perdas considerados para este estudo de caso.

Quadro 3.1 – Relação entre fonte de danos, tipos de danos e perdas para os blocos 3, 4, 5 e 8

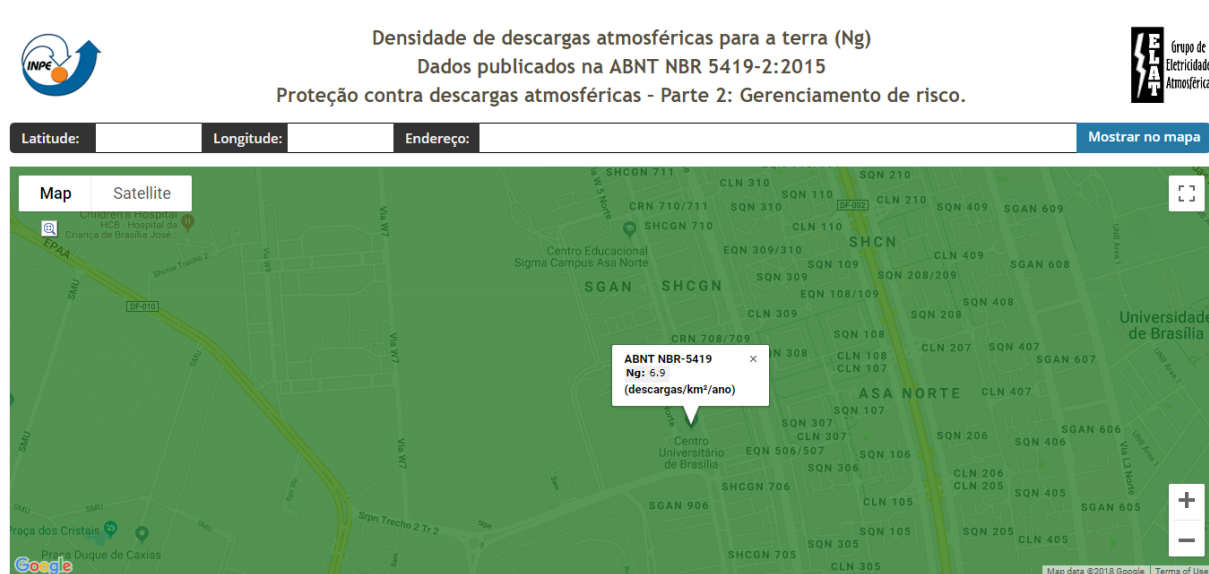
Ponto de impacto	Ilustração	Fonte de dano	Tipo de dano	Tipo de perda
Estrutura		S1	D1 D2	L1 L1
Linhas elétricas ou tubulações metálicas que adentram a estrutura		S3	D1 D2	L1 L1

Fonte: Adaptada de (ABNT, 2015)

A densidade de descarga atmosférica para a terra,  $N_g$ , na área do UniCEUB pode ser obtida através da figura 2.3 ou mais precisamente pelo site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Para uma maior precisão dos cálculos dos componentes de risco, foi utilizado o valor de  $N_g$  como 6,9, conforme a figura 3.9.

A figura 3.9 ilustra a densidade da descarga atmosférica para terra na região onde se localiza o UniCEUB, conforme o Instituto de Pesquisas Espaciais (2018).

Figura 3.9 – Densidade de descarga atmosférica para a terra na região do UniCEUB



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2018)

### 3.3 Cálculo dos valores dos parâmetros de entrada

Para calcular os componentes de risco e o risco total  $R_1$  para cada bloco, primeiramente deve-se calcular seus parâmetros de entrada, conforme as equações e quadros já apresentados. Para o cálculo do risco total  $R_1$ , foi desconsiderado os valores dos parâmetros  $N_I$ ,  $A_I$ ,  $N_M$ ,  $A_M$ ,  $P_C$ ,  $P_{SPD}$ ,  $P_M$ ,  $P_{MS}$ ,  $K_{S1}$ ,  $K_{S2}$ ,  $K_{S3}$ ,  $K_{S4}$ ,  $U_W$ ,  $P_W$ ,  $P_{LI}$ ,  $P_Z$ ,  $L_C$ ,  $L_M$ ,  $L_O$ ,  $L_W$  e  $L_Z$  por não fazerem parte do risco total  $R_1$ . Os valores dos parâmetros de entrada obtidos que são idênticos ao bloco 3 e ao Bloco Único são demonstrados no quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Valores dos parâmetros de entrada idênticos para o bloco 3 e para o Bloco Único correspondente ao risco total  $R_1$

Parâmetro de entrada (Símbolo)	Valor	Comentário	Referência
$N_g$	6,9	Densidade da descarga atmosférica na Asa Norte	Figura 3.6
$C_D$	0,5	Objetos da mesma altura ou mais baixos do que a estrutura	Quadro 2.6
$C_T$	1	Linha de energia ou sinal	Quadro 2.7



$C_{DJ}$	0,5	Objetos da mesma altura ou mais baixos do que a estrutura	Quadro 2.6
$A_L$	40.000	Valor desconhecido	Equação (2.14)
$C_I$	0,5	Instalação de linha enterrado	Quadro 2.8
$C_E$	0,1	Ambiente urbano	Quadro 2.9
$N_L$	$1,38 * 10^{-2}$	–	Equação (2.13)
$P_{TA}$	0,01	Isolação elétrica das partes expostas	Quadro 2.10
$P_B$	1	Estrutura não protegida por SPDA	Quadro 2.11
$P_A$	0,01	–	Equação (2.16)
$C_{LD}$	1	Linha enterrada não blindada	Quadro 2.13
$P_{TU}$	0,01	Isolação elétrica	Quadro 2.15
$P_{EB}$	1	Sem DPS	Quadro 2.16
$P_{LD}$	1	Linha enterrada não blindada não interligada com ao mesmo barramento de equipotencialização	Quadro 2.17
$P_U$	0,01	–	Equação (2.23)
$P_V$	1	–	Equação (2.24)
$L_T$	0,01	Todos os casos	Quadro 2.20
$L_F$	0,1	Estrutura típico de escola	Quadro 2.20
$r_t$	0,01	Tipo concreto da superfície	Quadro 2.21
$r_p$	0,5	Extintores instalados	Quadro 2.22
$r_f$	0,01	Incêndio normal	Quadro 2.23
$h_z$	1	Nenhum	Quadro 2.24
$t_z$	3196	Inspeção em campo	–

Fonte: Elaboração própria

### 3.3.1 Cálculo dos valores dos parâmetros de entrada do bloco 3

Os valores dos parâmetros de entrada do bloco 3 foram calculados através de uma planilha de gerenciamento de risco demonstrada na figura 3.10. O quadro 3.3 demonstra os valores específicos dos parâmetros de entrada obtidos.

Figura 3.10 – Características da estrutura e do meio ambiente, da linha de energia, linha de sinal e da zona de exposição e tipo de perda de vida humana do bloco 3

Tabela E.1: características da estrutura e meio ambiente					
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.	
Densidade de descargas atmosféricas para a terra ( $1/\text{km}^2/\text{ano}$ )	<a href="#">Clique aqui para abrir o site de busca</a>	NG	6,9		
Dimensões da estrutura (m)	Estudo com formato prismático simples - quadrado ou retângulo				
		L	48,00	18133,73	
		W	54,00		
		H	15,00		
	Caso a obra possua formas complexas, informe aqui o valor da área de exposição conforme A.2.1		0,00		
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	CD	0,50000		Tab. A.1
SPDA instalado	Estrutura não protegida por SPDA	PB	1,00000		Tab. B.2
Tabela E.2: linha 01 (Ex.: Linha de Energia)					
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.	
Possui esta linha?	SIM - Tem esta linha de Potência ou sinal conectada à estrutura				
Comprimento (m) <sup>a</sup>	Informe o comprimento da linha (m) - (quando não souber = 1.000)	LL <sub>lp</sub>	1.000,00		
Fator de Instalação	Enterrado	CL <sub>lp</sub>	0,50000		Tab. A.2
Fator tipo da linha	Linha de energia BT ou sinal	CT <sub>lp</sub>	1,00000		Tab. A.3
Fator ambiental	Urbano	CE	0,10000		Tab. A.4
Blindagem da linha	Não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento	RS <sub>lp</sub>	-		Tab. B.8
Blindagem, aterramento, isolação	Linha enterrada não blindada # Indefinida	CLD <sub>lp</sub>	1,00000		Tab. B.4
		CL <sub>lp</sub>	1,00000		
Tabela E.3: linha 02 (Ex.: Linha de Sinal)					
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.	
Possui esta linha?	SIM - Tem esta linha de Potência ou sinal conectada à estrutura				
Comprimento (m) <sup>a</sup>	Informe o comprimento da linha (m) - (quando não souber = 1.000)	LL <sub>lt</sub>	1.000,00		
Fator de Instalação	Enterrado	CL <sub>lt</sub>	0,50000		Tab. A.2
Fator tipo da linha	Linha de energia BT ou sinal	CT <sub>lt</sub>	1,00000		Tab. A.3
Fator ambiental	Urbano	CE	0,10000		Tab. A.4
Blindagem da linha	Não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento	RS <sub>lt</sub>	-		Tab. B.8
Blindagem, aterramento, isolação	Linha enterrada não blindada # Indefinida	CLD <sub>lt</sub>	1,00000		Tab. B.4
		CL <sub>lt</sub>	1,00000		
Características da Zona de Exposição - Zona 01					
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.	
Tipo de piso	Agricultura, concreto	r <sub>t</sub>	1,00E-02		Tab. C.3
Proteção contra choque (desc. na estrut.)	Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de	PTA	0,01		Tab. B.1
Proteção contra choque (desc. na linha)	Isolação elétrica	PTU	0,01		Tab. B.6
Risco de incêndio ou Explosão	Risco NORMAL de Incêndio	r <sub>f</sub>	1,00E-02		Tab. C.5
Proteção contra incêndio	extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo	r <sub>p</sub>	0,50		Tab. C.4
Blindagem espacial Interna Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR 5419-2	SEM blindagem espacial				
	W <sub>m1</sub> (m) são as larguras da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA	W <sub>m1</sub>	0,00000		Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR5419-2
	W <sub>m2</sub> (m) são as larguras da blindagem em forma de grade ou dos condutores de descidas do SPDA	W <sub>m2</sub>	0,00000		
	K <sub>S1</sub> = 0,12 × W <sub>m1</sub>	K <sub>S1</sub>	1,00000		
K <sub>S2</sub> = 0,12 × W <sub>m2</sub>	K <sub>S2</sub>	1,00000		Eq. (B.6)	
Fiação interna	Energia (LINHA 01)	Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	K <sub>S3lp</sub>	1,0000	Tab. B.5
	Sinal (LINHA 02)	Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	K <sub>S3lt</sub>	1,0000	Tab. B.5
Sistema de DPS	DPS	Sem DPS	PEB	1,000	Tab. B.7
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	PSPD	1,000	Tab. B.3
Tipos de Perdas inaceitável de vida Humana - L1					
L1: perda de vida humana (C.3) - Entrada de Dados	Tipo de perigo especial	Sem perigo especial	h <sub>z</sub>	1,00	Tab. C.6
		D1 ferimentos # Todos os tipos	L <sub>T</sub>	1,00E-02	Tab. C.2
	Danos Físicos	Hospital, hotel, escola, edifício cívico, residências	LF1	1,00E-01	
	Falhas de sistemas int.	Não Aplicavel	LO1	0,00E+00	
	Fator para pessoas na Zona	Número de pessoas na zona de perigo	n <sub>z</sub>	4.150	informe os valores
		Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)	n <sub>t</sub>	4.000	
		Horas por dia em que a edificação se mantém ocupada	Thor	9	
		Total em dias por ano que a edificação se mantém ocupada	Tdia	365	
		Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso	t <sub>z</sub>	3285	

Fonte: Elaboração própria

Quadro 3.3 – Valores específicos dos parâmetros de entrada idênticos para o bloco 3 correspondente ao risco total  $R_1$

<b>Parâmetro de entrada (Símbolo)</b>	<b>Valor</b>	<b>Comentário</b>	<b>Referência</b>
$A_D$	18.133,73	Estrutura possui altura de 15 metros, largura de 48 metros e comprimento de 54 metros; A altura da saliência foi desconsiderada por interferir muito pouco no cálculo final Valor calculado através da planilha de cálculo de risco, conforme a figura 3.10	Equação (2.8)
$N_D$	$62,56 * 10^{-3}$	Calculado manualmente para apenas demonstrar o valor	Equação (2.6)
$A_{DJ}$	0	Não existe estrutura adjacente	Equação (2.7)
$N_{DJ}$	0	–	Equação (2.10)
$n_z$	4150	Inspeção em campo	–
$n_t$	4000	Inspeção em campo	–
$L_A$	$3,89 * 10^{-6}$	Valor calculado através da planilha de cálculo de risco, conforme a figura 3.10	Equação (2.27)
$L_U$	$3,89 * 10^{-6}$	Valor calculado através da planilha de cálculo de risco, conforme a figura 3.10	Equação (2.28)
$L_B$	$1,95 * 10^{-4}$	Valor calculado através da planilha de cálculo de risco, conforme a figura 3.10	Equação (2.29)
$L_V$	$1,95 * 10^{-4}$	Valor calculado através da planilha de cálculo de risco, conforme a figura 3.10	Equação (2.29)

Fonte: Elaboração própria



### 3.3.2 Cálculo dos valores dos parâmetros de entrada do Bloco Único

Os valores dos parâmetros de entrada do Bloco Único foram calculados através de uma planilha de gerenciamento de risco demonstrada na figura 3.11. O quadro 3.4 demonstra os valores específicos dos parâmetros de entrada obtidos.

Figura 3.11 – Características da estrutura e do meio ambiente, da linha de energia, linha de sinal e da zona de exposição e tipo de perda de vida humana do Bloco Único

Tabela E.1: características da estrutura e meio ambiente					
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.	
Densidade de descargas atmosféricas para a terra ( $1/\text{km}^2/\text{ano}$ )	<a href="#">Clique aqui para abrir o site de busca</a>	NG	6,9		
Dimensões da estrutura (m)	Estudo com formato prismático simples - quadrado ou retângulo				
		L	60,00	11873,36	
		W	17,50		
		H	13,00		
	Caso a obra possua formas complexas, informe aqui o valor da área de exposição conforme A.2.1		0,00		
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	CD	0,50000	Tab. A.1	
SPDA instalado	Estrutura não protegida por SPDA	PB	1,00000	Tab. B.2	
Tabela E.2: linha 01 (Ex.: Linha de Energia)					
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.	
Possui esta linha?	SIM - Tem esta linha de Potência ou sinal conectada à estrutura				
Comprimento (m) <sup>a</sup>	Informe o comprimento da linha (m) - (quando não souber = 1.000)	LLp	1.000,00		
Fator de Instalação	Enterrado	CLp	0,50000	Tab. A.2	
Fator tipo da linha	Linha de energia BT ou sinal	CTp	1,00000	Tab. A.3	
Fator ambiental	Urbano	CE	0,10000	Tab. A.4	
Blindagem da linha	Não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento	RSp	-	Tab. B.8	
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha enterrada não blindada # Indefinida	CLDp	1,00000	Tab. B.4	
		CLIp	1,00000		
Tabela E.3: linha 02 (Ex.: Linha de Sinal)					
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.	
Possui esta linha?	SIM - Tem esta linha de Potência ou sinal conectada à estrutura				
Comprimento (m) <sup>a</sup>	Informe o comprimento da linha (m) - (quando não souber = 1.000)	LLt	1.000,00		
Fator de Instalação	Enterrado	CLt	0,50000	Tab. A.2	
Fator tipo da linha	Linha de energia BT ou sinal	CTt	1,00000	Tab. A.3	
Fator ambiental	Urbano	CE	0,10000	Tab. A.4	
Blindagem da linha	Não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento	RSt	-	Tab. B.8	
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha enterrada não blindada # Indefinida	CLDt	1,00000	Tab. B.4	
		CLIt	1,00000		
Características da Zona de Exposição - Zona 01					
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.	
Tipo de piso	Agricultura, concreto	rt	1,00E-02	Tab. C.3	
Proteção contra choque (desc. na estrut.)	Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de c	PTA	0,01	Tab. B.1	
Proteção contra choque (desc. na linha)	Isolação elétrica	PTU	0,01	Tab. B.6	
Risco de incêndio ou Explosão	Risco NORMAL de Incêndio	rf	1,00E-02	Tab. C.5	
Proteção contra incêndio	extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo	fp	0,50	Tab. C.4	
Blindagem espacial Interna Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR 5419-2	SEM blindagem espacial				
	w <sub>m1</sub> (m) são as larguras da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA	w <sub>m1</sub>	0,00000	Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR5419-2	
	w <sub>m2</sub> (m) são as larguras da blindagem em forma de grade ou dos condutores de descidas do SPDA	w <sub>m2</sub>	0,00000		
	$K_{S1} = 0,12 \times w_{m1}$	K <sub>S1</sub>	1,00000	Eq. (B.5)	
$K_{S2} = 0,12 \times w_{m2}$	K <sub>S2</sub>	1,00000	Eq. (B.6)		
Fiação interna	Energia (LINHA 01)	Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	K <sub>S3p</sub>	1,0000	Tab. B.5
	Sinal (LINHA 02)	Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	K <sub>S3t</sub>	1,0000	Tab. B.5
Sistema de DPS	DPS	Sem DPS	PEB	1,000	Tab. B.7
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	PSPD	1,000	Tab. B.3
Tipos de Perdas inaceitável de vida Humana - L1					
L1: perda de vida humana (C.3) - Entrada de Dados	Tipo de perigo especial	Sem perigo especial	hz	1,00	Tab. C.6
		D1 ferimentos # Todos os tipos	LT	1,00E-02	Tab. C.2
	Danos Físicos	Hospital, hotel, escola, edifício cívico, residências	LF1	1,00E-01	
	Falhas de sistemas int.	Não Aplicavel	LD1	0,00E+00	
	Fator para pessoas na Zona	Número de pessoas na zona de perigo	n <sub>z</sub>	1,200	informe os valores
		Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)	n <sub>t</sub>	1,220	
		Horas por dia em que a edificação se mantém ocupada	Thor	9	
		Total em dias por ano que a edificação se mantém ocupada	Tdia	365	
	Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso	tz	3285		

Fonte: Elaboração própria

Quadro 3.4 – Valores específicos dos parâmetros de entrada idênticos para o Bloco Único correspondente ao risco total  $R_1$

<b>Parâmetro de entrada (Símbolo)</b>	<b>Valor</b>	<b>Comentário</b>	<b>Referência</b>
$A_D$	11.873,36	Foi considerado os 3 blocos como uma única estrutura com altura de 13 metros, largura de 17,5 metros e comprimento de 60 metros; A altura da saliência elevada foi desconsiderada por interferir muito pouco no cálculo final; Valor calculado através da planilha de cálculo de risco, conforme a figura 3.11	Equação (2.8) Equação (2.9)
$N_D$	$40,96 * 10^{-3}$	Calculado manualmente para apenas demonstrar o valor	Equação (2.6)
$A_{DJ}$	0	Não existe estrutura adjacente	Equação (2.7)
$N_{DJ}$	0	–	Equação (2.10)
$n_z$	1220	Inspeção em campo	–
$n_t$	1200	Inspeção em campo	–
$L_A$	$3,81 * 10^{-6}$	Valor calculado através da planilha de cálculo de risco, conforme a figura 3.11	Equação (2.27)
$L_U$	$3,81 * 10^{-6}$	Valor calculado através da planilha de cálculo de risco, conforme a figura 3.11	Equação (2.28)
$L_B$	$1,91 * 10^{-4}$	Valor calculado através da planilha de cálculo de risco, conforme a figura 3.11	Equação (2.29)
$L_V$	$1,91 * 10^{-4}$	– Valor calculado através da planilha de cálculo de risco, conforme a figura 3.11	Equação (2.29)

Fonte: Elaboração própria

### 3.4 Cálculo dos componentes de risco

O cálculo dos componentes de risco é separado em duas partes, a primeira parte está relacionada ao cálculo dos componentes de risco do bloco 3 e a segunda está relacionada ao cálculo dos componentes de risco do Bloco Único.

#### 3.4.1 Cálculo dos componentes de risco do bloco 3

Por meio da análise dos valores dos parâmetros demonstrados nos quadros 3.2 e 3.3 e na figura 3.10, foi calculado o componente de risco  $R_1$  total através da planilha de risco, conforme a figura 3.12. O quadro 3.5 demonstra as equações e os valores obtidos para cada componente do risco  $R_1$ .

Figura 3.12 – Valores dos componentes de risco e risco total  $R_1$  para o bloco 3, conforme a planilha de risco

Combinções e Fonte de dano por descargas atmosféricas na: (Tab. 02)									Resultado			
	S1: Estrutura			S2: Perto da estrutura		S3: Na linha		S4: Perto da linha	Risco - "R"	Risco em decimal (20 casas)	"RT"	R>RT?
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ				
R1=	2,43E-09	1,22E-05	-	-	1,07E-09	5,37E-06	-	-	1,754 E-5	0,00001754270828333810	1,00E-05	SIM
R2=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO
R3=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-04	NÃO
R4=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO

Fonte: Elaboração própria

Quadro 3.5 – Valores dos componentes de risco e risco total  $R_1$  para o Bloco 3

Componente	Valor	Referência
$R_A$	$2,43 * 10^{-8}$	Equação (2.39)
$R_B$	$1,22 * 10^{-5}$	Equação (2.40)
$R_U$	$1,07 * 10^{-8}$	Equação (2.43)
$R_V$	$5,37 * 10^{-6}$	Equação (2.44)
$R_1$	$1,757 * 10^{-5}$	Equação (2.1)

Fonte: Elaboração própria

#### 3.4.2 Cálculo dos componentes de risco do Bloco Único

Por meio da análise dos valores dos parâmetros obtidos pelos quadros 3.2 e 3.4 e figura 3.11, foi calculado o componente de risco  $R_1$  total através da planilha de

risco, conforme a figura 3.13. O quadro 3.6 demonstra as equações e os valores obtidos para cada componente do risco  $R_1$ .

Figura 3.13 – Valores dos componentes de risco e risco total  $R_1$  para o Bloco Único, conforme a planilha de risco

Combinções e Fonte de dano por descargas atmosféricas na: (Tab. 02)									Resultado			
	S1: Estrutura			S2: Perto da estrutura		S3: Na linha		S4: Perto da linha	Risco - "R"	Risco em decimal (20 casas)	"RT"	R>RT?
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ				
R1=	1,56E-08	7,81E-06	-	-	1,05E-08	5,26E-06	-	-	1,31 E-5	0,00001309598069006250	1,00E-05	SIM
R2=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO
R3=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-04	NÃO
R4=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO

Fonte: Elaboração própria

Quadro 3.6 – Valores dos componentes de risco e risco total  $R_1$  para o Bloco Único

Componente	Valor	Referência
$R_A$	$1,56 * 10^{-8}$	Equação (2.39)
$R_B$	$7,81 * 10^{-6}$	Equação (2.40)
$R_U$	$1,05 * 10^{-8}$	Equação (2.43)
$R_V$	$5,26 * 10^{-6}$	Equação (2.44)
$R_1$	$1,31 * 10^{-5}$	Equação (2.1)

Fonte: Elaboração própria

### 3.5 Necessidade de proteção

Para melhor organização desta parte do capítulo, a necessidade de proteção foi dividido em duas partes, a primeira está relacionada à necessidade de proteção para o bloco 3 enquanto a segunda parte está relacionada ao Bloco Único.

#### 3.5.1 Necessidade de proteção para o bloco 3

De acordo com os quadros 3.5 e 2.5, o bloco 3 não está protegido pelo motivo de seu valor risco total  $R_1$  ser maior do que o valor do risco tolerável para a perda de vida humana,  $L_1$ , ou seja,  $1,757 * 10^{-5} > 1 * 10^{-5}$ . Concluiu-se então que a estrutura necessita de instalação de SPDA.

### **3.5.2 Necessidade de proteção para o Bloco Único**

De acordo com os quadros 3.6 e 2.5, o Bloco Único não está protegido pelo motivo de seu valor risco total  $R_1$  ser maior do que o valor do risco tolerável para a perda de vida humana,  $L_1$ , ou seja,  $1,31 * 10^{-5} > 1 * 10^{-5}$ . Concluiu-se então que a estrutura necessita de instalação de SPDA.

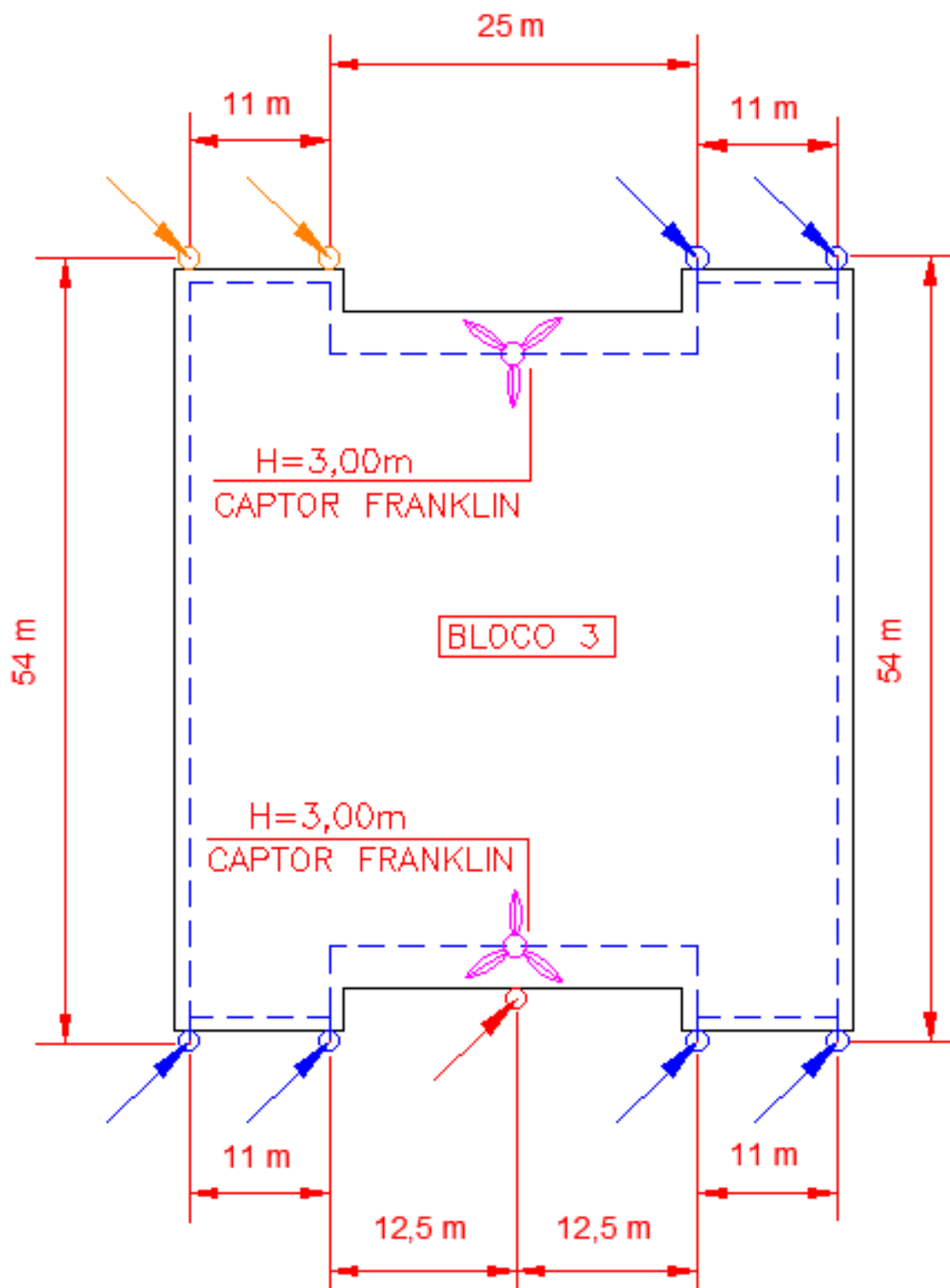
## **3.6 Inspeção do SPDA**

Com o intuito de deixar este capítulo mais organizado, esta parte do subcapítulo foi dividido em duas partes, a primeira parte está relacionada à inspeção do SPDA do bloco 3 e a segunda está relacionada à inspeção do Bloco Único.

### **3.6.1 Inspeção do SPDA do bloco 3**









De acordo com as observações descritas anteriormente, a localização e características do SPDA atual do bloco 3 está demonstrada em uma planta baixa simples, conforme a figura 3.14. A figura 3.15 ilustra as legendas dos símbolos utilizados na figura 3.14.

Figura 3.14 – Localização do SPDA em uma planta baixa simples do bloco 3



Fonte: Elaboração própria (utilizando software AutoCAD 2018 – versão estudante)

Figura 3.15 – Legenda dos símbolos utilizados para a planta baixa do SPDA instalado atualmente nos blocos

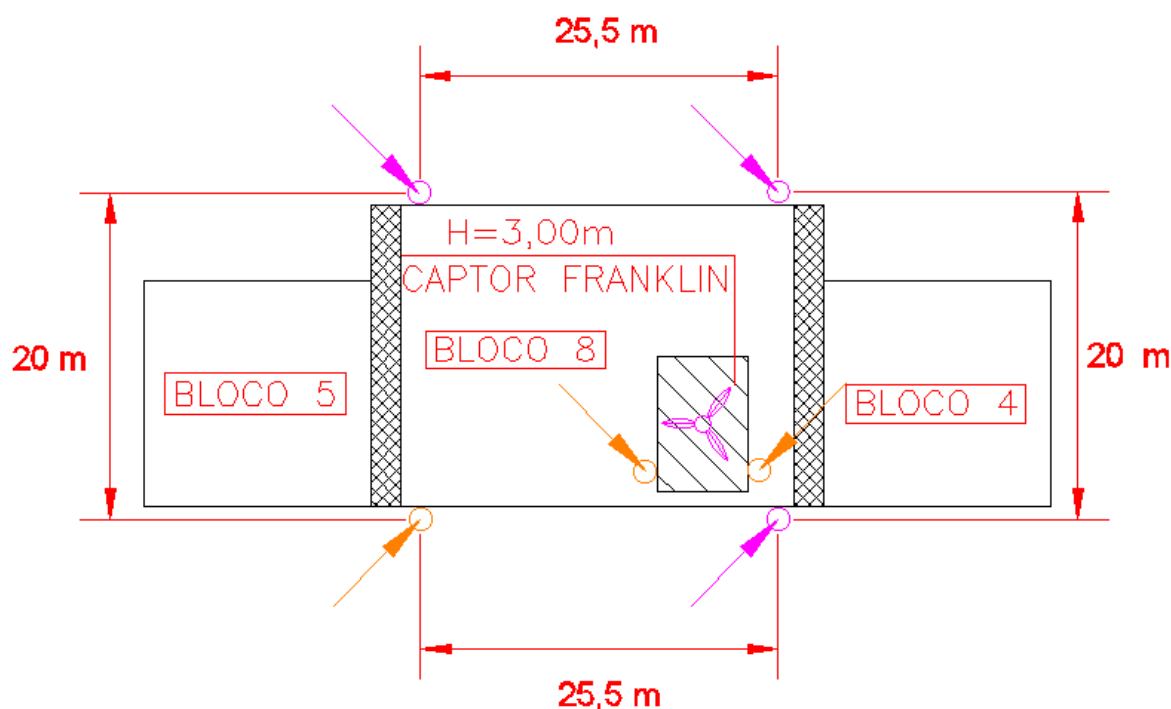
LEGENDA	
	CABO COBRE NU
	CAPTOR FRANKLIN
	DESCIDA CONECTADA COM O CAPTOR E COM O ATERRAMENTO
	DESCIDA NÃO CONECTADA AO CAPTOR E CONECTADA AO ATERRAMENTO
	DESCIDA CONECTADA AO CAPTOR E NÃO CONECTADA AO ATERRAMENTO
	DESCIDA SEM A PRESENÇA DE CABO OU DESCIDA TOTALMENTE REMOVIDA
	ÁREA COM SALIÊNCIA ELEVADA
	ÁREA COM SALIÊNCIA REBAIXADA

Fonte: Elaboração própria (utilizando software AutoCAD 2018 – versão estudante)

### 3.6.2 Inspeção do SPDA do Bloco Único

De acordo com as observações descritas anteriormente, a localização e características do SPDA atual do Bloco Único está demonstrada em uma planta baixa simples, conforme a figura 3.16. A legenda dos símbolos utilizados nessa planta baixa está de acordo com a figura 3.15.

Figura 3.16 – Localização do SPDA em uma planta baixa simples do Bloco Único



Fonte: Elaboração própria (utilizando software AutoCAD 2018 – versão estudante)

### 3.7 Proposta de implementação ou atualização do SPDA

A proposta de implementação ou atualização do SPDA é dividida em duas partes pelo fato de haver duas propostas. Uma proposta é sobre a implementação ou atualização de um SPDA no bloco 3 e a outra no Bloco Único.

#### 3.7.1 Proposta de implementação ou atualização do SPDA do bloco 3

Como o bloco 3 é uma estrutura baixa e simples em seu formato arquitetônico, a utilização do método da esfera rolante foi descartada, pois este método é utilizado para estruturas altas e com formatos arquitetônicos complexos. Ademais, por ser uma estrutura com uma área de quase 2600 m<sup>2</sup>, descartou-se o método do ângulo de proteção por necessitar 9 hastes para interceptar as descargas atmosféricas. Por fim, utilizou-se o método das malhas como subsistema de captação por ser um método utilizado em estruturas com grandes áreas horizontais, que é o caso do bloco 3, sendo assim, este é o método mais eficiente entre os três para este caso.

Para o subsistema de captação, foi escolhido o nível II de proteção, por ser uma estrutura que possui uma alta movimentação e quantidade de pessoas. De



acordo com o quadro 2.32, o máximo afastamento dos condutores da malha para a classe II do SPDA é de 10 metros x 10 metros. Calculou-se a quantidade de condutores da malha por meio da equação (2.54) e (2.55).

$$N_{cm} = \frac{Di_M}{D_{cd}} + 1 = \frac{54}{10} + 1 \cong 7$$

$$N_{CM} = \frac{Di_m}{D_{cd}} + 1 = \frac{48}{10} + 1 \cong 6$$

Conforme os cálculos acima, a quantidade de condutores nas regiões de menores dimensões da estrutura foi de 8 condutores em vez de 7 devido a árdua instalação de 7 condutores em consequência da área com saliência elevada. O mesmo ocorre no caso dos condutores nas regiões de maiores dimensões, foi escolhido 7 condutores em vez de 6. Ademais, haverá mais dois condutores na parte com saliência elevada para poder fechar a malha nessa área da estrutura e aumentar a segurança da mesma.

Para o subsistema de descida, utilizou-se o nível II de proteção conforme o subsistema de captação. O número de descidas foi calculado através da equação (2.44) e do quadro 2.32, em que se utiliza o perímetro da estrutura e do espaçamento entre condutores de descida conforme o nível de proteção.

$$N_{cd} = \frac{P_{co}}{D_{cd}} = \frac{48 * 2 + 54 * 2}{10} = 20,4 \cong 21$$

$$N_{cd} = \frac{P_{co}}{D_{cd}} = \frac{48 * 2 + 54 * 2}{12} = 17$$

Onde:

12 é o valor da distância entre os condutores de descida contendo 20% além do valor do nível II de proteção, conforme a (ABNT, 2015)

Conforme o cálculo acima, foi escolhido que haja 18 descidas dentre as 17 e 21 descidas pelo fato que poderia haver uma árdua instalação para 17 descidas e uma custosa instalação para 21 descidas.

Conforme o quadro 2.40, foi escolhido para o subsistema de captação e de descida a composição de cabos nus de 35 mm<sup>2</sup>, pelo fato de possuir uma alta condutividade.

Para o subsistema de aterramento, o eletrodo de aterramento deve ser instalado em uma profundidade de 0,5 metros e posicionado a uma distância de 0,3 metros ao redor das paredes externas por meio de um cabo de cobre nu de 50 mm<sup>2</sup>, conforme o quadro 2.41 e a (ABNT, 2015). A distância de 0,3 metros foi escolhida com a finalidade de facilitar a instalação, pois há uma área na escada de entrada do bloco 3 em que se pode instalar o cabo de cobre nu sem a necessidade de danificar a escada. A figura 3.17 demonstra o local onde deve ser passado o cabo do subsistema de aterramento.

Figura 3.17 – Localização da passagem do cabo do subsistema de aterramento do bloco 3



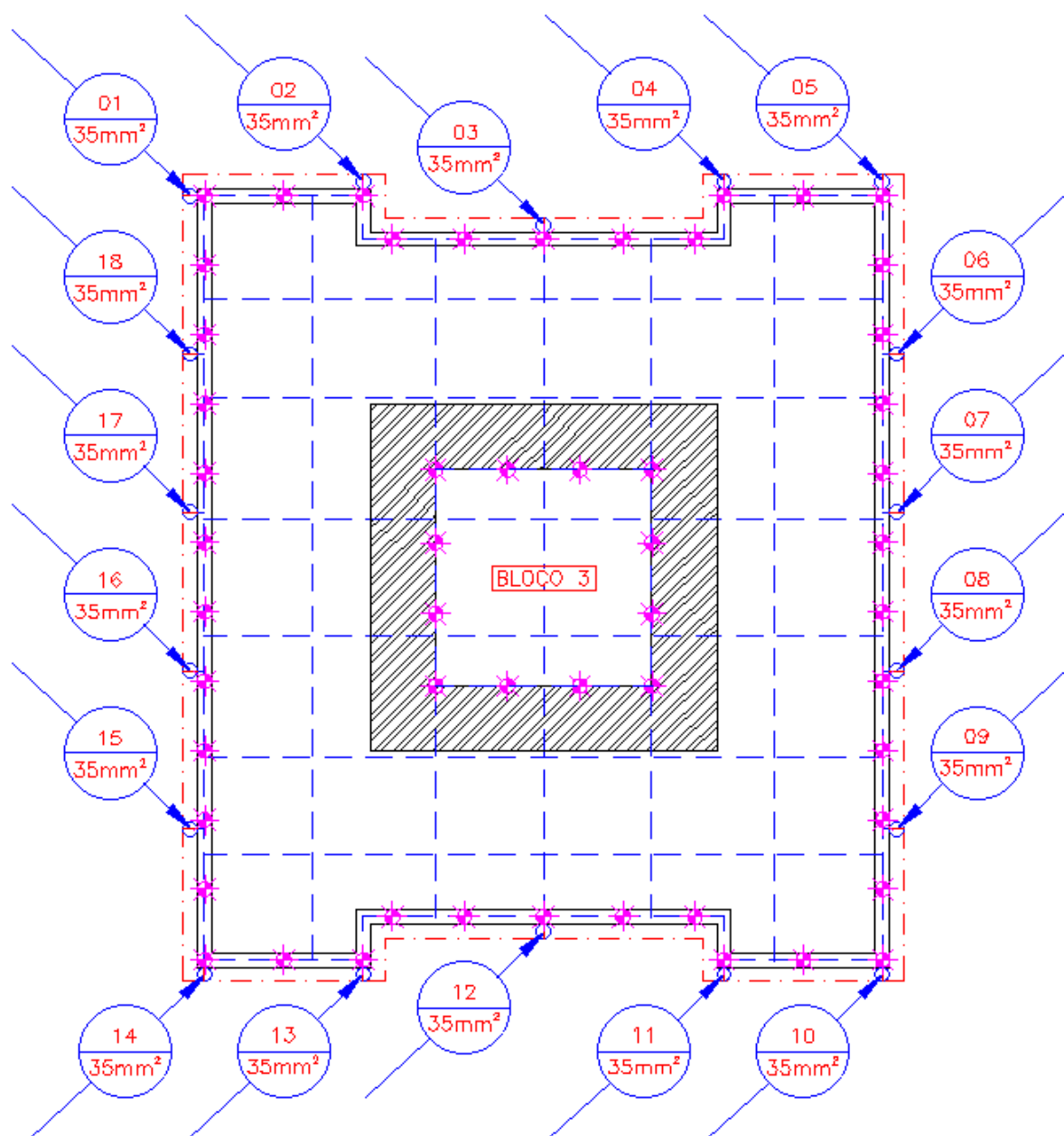
Fonte: Elaboração própria

Ademais, para a implementação dos eletrodos de aterramento, deve-se elaborar um estudo de caso de aterramento baseado nas normas NBR 5410 e NBR 5419 por se tratar de um assunto complexo, pois deve-se fazer a medição da resistividade do solo, análise da estratificação do solo, cálculo da resistência de Terra, melhoramento da resistência de aterramento e cálculo da resistividade aparente de aterramento para hastes, para que se possa finalmente dimensionar o aterramento, de acordo com (ABNT, 2004; ABNT, 2015; OLIVEIRA, 2018).

Para a equipotencialização, deve ser instalado um eletrodo de aterramento em forma de anel em volta do bloco 3 ao nível do solo pelo subsistema de aterramento do SPDA externo isolado, sendo que os condutores que conectam as barras de cobre ao subsistema de aterramento devem ter uma área de seção reta de  $50 \text{ mm}^2$ , conforme o quadro 2.41.

A figura 3.18 ilustra o projeto do SPDA do bloco 3, conforme a proposta de implementação discorrida acima e a sua legenda é demonstrada na figura 3.19.

Figura 3.18 – Projeto da planta baixa do SPDA do bloco 3



Fonte: Elaboração própria (utilizando software AutoCAD 2018 – versão estudante)

Figura 3.19 – Legenda dos símbolos utilizados para o projeto da planta baixa do SPDA

LEGENDA	
	CABO COBRE NU 35 mm <sup>2</sup> , FIXADO EM MURETA/LAJE
	CABO COBRE NU 50 mm <sup>2</sup> , ATERRADO
	CAPTOR FRANKLIN
	MINICAPTOR DE 20 cms
	DESCIDA DO SPDA
	ÁREA COM SALIÊNCIA ELEVADA
	ÁREA COM SALIÊNCIA REBAIXADA

Fonte: Elaboração própria (utilizando software AutoCAD 2018 – versão estudante)

### 3.7.2 Proposta de implementação ou atualização do SPDA do Bloco Único

Como o Bloco Único é uma estrutura baixa e simples em seu formato arquitetônico, a utilização do método da esfera rolante foi descartada, pois este método é utilizado para estruturas altas e com formatos arquitetônicos complexos. Ademais, por ser uma estrutura com uma área de quase 1000 m<sup>2</sup>, utilizou-se parcialmente o método do ângulo de proteção por necessitar no total de 6 hastes para interceptar as descargas atmosféricas e por não necessitar proteger as placas fotovoltaicas, por estarem em um nível abaixo da altura máximo dos blocos. Como há uma caixa d'água instalada dentro da cobertura do bloco 8, necessitou-se manter o

captor tipo Franklin instalado acima da cobertura, conforme a figura 3.6. Por fim, utilizou-se o método do ângulo de proteção, para proteger a caixa d'água do bloco 8, e o método de captação das malhas para proteger o restante da área do Bloco Único, por possuir uma grande área horizontal.

Para o subsistema de captação, foi escolhido o nível II de proteção, por ser uma estrutura que possui uma alta movimentação e quantidade de pessoas. De acordo com o quadro 2.32, o máximo afastamento dos condutores da malha para a classe II do SPDA é de 10 metros x 10 metros. Também foi determinado que as regiões entre os blocos fossem conectadas por cordoalhas. Calculou-se a quantidade de condutores da malha por meio da equação (2.54) e (2.55).

$$N_{cm} = \frac{Di_M}{D_{cd}} + 1 = \frac{60}{10} + 1 = 7$$

$$N_{CM1} = \frac{Di_m}{D_{cd}} + 1 = \frac{15}{10} + 1 \cong 3$$

Onde:

$N_{CM1}$  é a quantidade de condutores na região da maior dimensão da estrutura do bloco 4 e bloco 5

$$N_{CM2} = \frac{Di_m}{D_{cd}} + 1 = \frac{20}{10} + 1 = 3$$

Onde:

$N_{CM2}$  é a quantidade de condutores na região da maior dimensão da estrutura do bloco 8.

Conforme os cálculos acima, a quantidade de condutores nas regiões de menores dimensões foi de 10 condutores em vez de 7 condutores devido à falta de conexão entre as bordas dos blocos e à existência de saliências rebaixadas entre os blocos. A quantidade de condutores na região de maior dimensão foi de 3 condutores, conforme o calculado.

Para o subsistema de descida, utilizou-se o nível II de proteção conforme o subsistema de captação. O número de descidas foi calculado através da equação

(2.52) e o quadro 2.32, em que se utiliza o perímetro da estrutura e do espaçamento entre condutores de descida conforme o nível de proteção.

$$N_{cd} = \frac{P_{co}}{D_{cd}} = \frac{160}{10} = 16$$

$$N_{cd} = \frac{P_{co}}{D_{cd}} = \frac{160}{12} \cong 14$$

Onde:

12 é o valor da distância entre os condutores de descida contendo 20% além do valor do nível II de proteção, conforme a (ABNT, 2015).

Conforme o cálculo acima, foi escolhido que haja 18 descidas dentre as 14 e 16 descidas calculadas devido à dificuldade de se instalar descidas que possuem distâncias entre si maiores que 8 metros pelo fato que os blocos possuem janelas largas e muito próximas umas das outras, de acordo com a figura 3.5.

Conforme o quadro 2.40, foi escolhido para o subsistema de captação e de descida a composição de cabos nus de 35 mm<sup>2</sup> pelo fato de possuir uma alta condutividade.

Para o subsistema de aterramento, o eletrodo de aterramento deve ser instalado em uma profundidade de 0,5 metros e posicionado a uma distância de 0,6 metros ao redor das paredes externas por meio de um cabo de cobre nu de 50 mm<sup>2</sup>, conforme o quadro 2.41 e a (ABNT, 2015). A distância de 0,6 metros foi escolhida com a finalidade de facilitar a instalação, pois há uma grelha na parte frontal do bloco 8 em que se pode instalar o cabo de cobre nu sem a necessidade de danificar a rampa. A figura 3.20 demonstra o local onde deve ser passado o cabo do subsistema de aterramento.

Figura 3.20 - Localização da passagem do cabo do subsistema de aterramento do Bloco Único



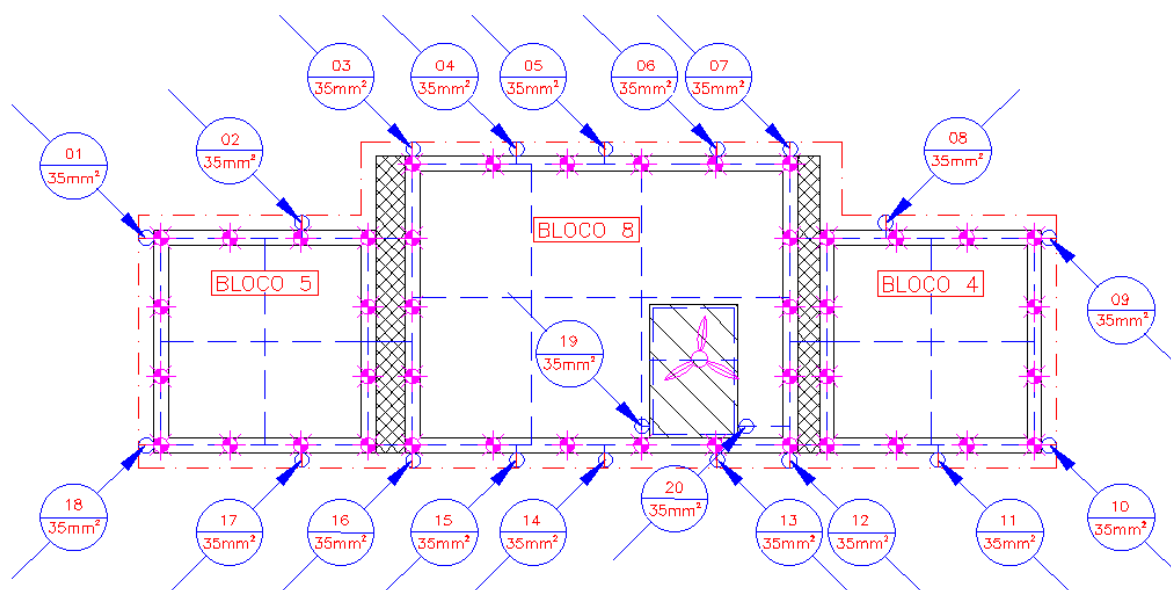
Fonte: Elaboração própria

Ademais, para a implementação dos eletrodos de aterramento, deve-se elaborar um estudo de caso de aterramento baseado nas normas NBR 5410 e NBR 5419 por se tratar de um assunto complexo, pois deve-se fazer a medição da resistividade do solo, análise da estratificação do solo, cálculo da resistência de Terra, melhoramento da resistência de aterramento e cálculo da resistividade aparente de aterramento para hastes, para que se possa finalmente dimensionar o aterramento, de acordo com (ABNT, 2004; ABNT, 2015; OLIVEIRA, 2018).

Para a equipotencialização, deve ser instalado um eletrodo de aterramento em forma de anel em volta do Bloco Único ao nível do solo pelo subsistema de aterramento do SPDA externo isolado, sendo que os condutores que conectam as barras de cobre ao subsistema de aterramento devem ter uma área de seção reta de  $50 \text{ mm}^2$ , conforme o quadro 2.41.

A figura 3.21 ilustra o projeto do SPDA do Bloco Único, conforme a proposta de implementação discutida acima e a sua legenda é demonstrada na figura 3.19.

Figura 3.21 – Projeto da planta baixa do SPDA do Bloco Único



Fonte: Elaboração própria (utilizando software AutoCAD 2018 – versão estudante)

### 3.8 Necessidade de instalação de MPS

Pelo fato da implementação de dois SPDAs, essa parte é dividida em duas partes, a primeira parte está relacionada à necessidade de instalação de MPS no bloco 3 e a segunda está relacionada ao Bloco Único.

#### 3.8.1 Necessidade de instalação de MPS no bloco 3

Mesmo com ou sem a necessidade da instalação de MPS, recomenda-se a instalação de DPS classe I e classe II com o intuito de mitigar os picos de tensão provocadas por descargas atmosféricas diretas e indiretas e proteger os equipamentos eletroeletrônicos internos do bloco 3 contra as descargas atmosféricas que alvejam as linhas de energia e locais próximos a elas.

Com implementação de medidas protetivas como a instalação do SPDA de nível de II proteção e dos DPS classe I e classe II, alguns valores dos parâmetros de entrada e todos os componentes de risco foram alterados. Os novos valores dos componentes de risco foram calculados através da planilha de risco, conforme a figura 3.22, e as alterações estão demonstradas no quadro 3.7.



Figura 3.22 – Valores alterados de  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_U$ ,  $R_V$  e  $R_1$  total para o bloco 3, conforme a implementação de medidas protetivas apontadas pelas setas

Combinações e Fonte de dano por descargas atmosféricas na: (Tab. 02)									Resultado			
	S1: Estrutura			S2: Perto da estrutura		S3: Na linha		S4: Perto da linha	Risco - "R"	Risco em decimal (20 casas)	"RT"	R>RT?
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ				
R1=	1,22E-10	6,09E-07	-	-	1,07E-11	5,37E-08	-	-	0,066 E-5	0,00000066232996166691	1,00E-05	NÃO
R2=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO
R3=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-04	NÃO
R4=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO
Medidas Protetivas									Estudo: 1º ESTUDO			
SPDA instalado					Estrutura protegida por SPDA II							
Blindagem espacial externa					SEM blindagem espacial							
Proteção contra choque (descarga atm. na estrutura)					Equipotencialização efetiva do solo							
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)					Isolação elétrica							
Proteção contra incêndio					extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compar							
Fiação interna	Energia (LINHA 01)				Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)							
	Sinal (LINHA 02)				Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)							
Sistema de DPS	DPS				DPS - I							
	DPS coordenados				Nenhum sistema de DPS coordenado							

Fonte: Elaboração própria

Quadro 3.7 – Comparação dos valores dos parâmetros e dos componentes alterados do bloco 3

Parâmetros e componentes alterados	Valores dos parâmetros e dos componentes		Referência
	Estrutura sem SPDA e DPS	Estrutura com SPDA e DPS	
$P_B$	1	0,05	Quadro 2.11
$P_A$	0,01	$5 * 10^{-4}$	Equação (2.16)
$P_{EB}$	1	0,01	Quadro 2.16
$R_A$	$2,43 * 10^{-9}$	$1,22 * 10^{-10}$	Equação (2.39)
$R_B$	$1,22 * 10^{-5}$	$6,09 * 10^{-7}$	Equação (2.40)
$R_U$	$1,07 * 10^{-9}$	$1,07 * 10^{-11}$	Equação (2.43)
$R_V$	$5,37 * 10^{-6}$	$5,37 * 10^{-8}$	Equação (2.44)
$R_1$	$1,754 * 10^{-5}$	$0,066 * 10^{-5}$	Equação (2.1)

Fonte: Elaboração própria

De acordo com o quadro 3.7, o bloco 3 não precisa de nenhuma instalação de MPS além dos DPS, pois o risco total  $R_1$  para a perda de vida humana L1 é menor do que do que o risco tolerável, ou seja,  $0,066 * 10^{-5} < 1 * 10^{-5}$ . Por fim, somente a

instalação de SPDA de nível II de proteção e de DPS classe I e classe II foi o suficiente para proteger o bloco 3 contra as descargas atmosféricas, conforme a (ABNT, 2015).

Como não é possível acessar o quadro geral do bloco 3 por estar em uma subestação, pois necessita-se de equipamentos de proteção individual e acompanhamento de um engenheiro, logo não foi possível ilustrar como devem ser instalados os DPS classe I. Já para os DPS classe II, foi possível demonstrar como devem ser instalados. Conforme a figura 3.23, deve-se mesurar e instalar um novo quadro intermediário em que se possa instalar os DPS classe II, disjuntor geral e disjuntores, pois não há espaço suficiente para instalar esses DPS.

Figura 3.23 – Estado atual do quadro intermediário do bloco 3



Fonte: Elaboração própria

A figura 3.23 exibe o estado atual do quadro intermediário do bloco 3 do segundo pavimento. Os demais quadros intermediários deste bloco estão no mesmo estado do que o exibido acima, ou seja, não há espaço para a instalação de DPS classe II para o quadro intermediário exibido acima e para os demais quadros intermediários do bloco 3.

### 3.8.2 Necessidade de instalação de MPS do Bloco Único




Mesmo com ou sem a necessidade da instalação de MPS, recomenda-se a instalação de DPS classe I e classe II com o intuito de mitigar os picos de tensão provocadas por descargas atmosféricas diretas e indiretas e proteger os equipamentos eletroeletrônicos internos do Bloco Único contra as descargas atmosféricas que alvejam as linhas de energia e locais próximos a elas

Com implementação de medidas protetivas como a instalação do SPDA de nível II de proteção e dos DPS classe I e classe II, alguns valores dos parâmetros de entrada e todos os componentes de risco foram alterados. Os novos valores dos componentes de risco foram calculados através da planilha de risco, conforme a figura 3.24, e as alterações estão demonstradas no quadro 3.8.

Figura 3.24 – Valores alterados de  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_U$ ,  $R_V$  e  $R_1$  total para o Bloco Único, conforme a implementação de medidas protetivas apontadas pelas setas

Combinções e Fonte de dano por descargas atmosféricas na: (Tab. 02)									Resultado			
	S1: Estrutura			S2: Perto da estrutura		S3: Na linha		S4: Perto da linha	Risco - "R"	Risco em decimal (20 casas)	"RT"	R>RT?
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ				
R1=	7,81E-10	3,90E-07	-	-	1,05E-10	5,26E-08	-	-	0,044 E-5	0,00000044392813450313	1,00E-05	NÃO
R2=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO
R3=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-04	NÃO
R4=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO

Medidas Protetivas		Estudo:	1º ESTUDO
SPDA instalado		Estrutura protegida por SPDA II	
Blindagem espacial externa		SEM blindagem espacial	
Proteção contra choque (descarga atm. na estrutura)		Equipotencialização efetiva do solo	
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Isolação elétrica	
Proteção contra incêndio		extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compart	
Fiação interna	Energia (LINHA 01)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	
	Sinal (LINHA 02)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	
Sistema de DPS	DPS	DPS - I	
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	

Fonte: Elaboração própria

Quadro 3.8 – Comparação dos valores dos parâmetros e dos componentes alterados do Bloco Único

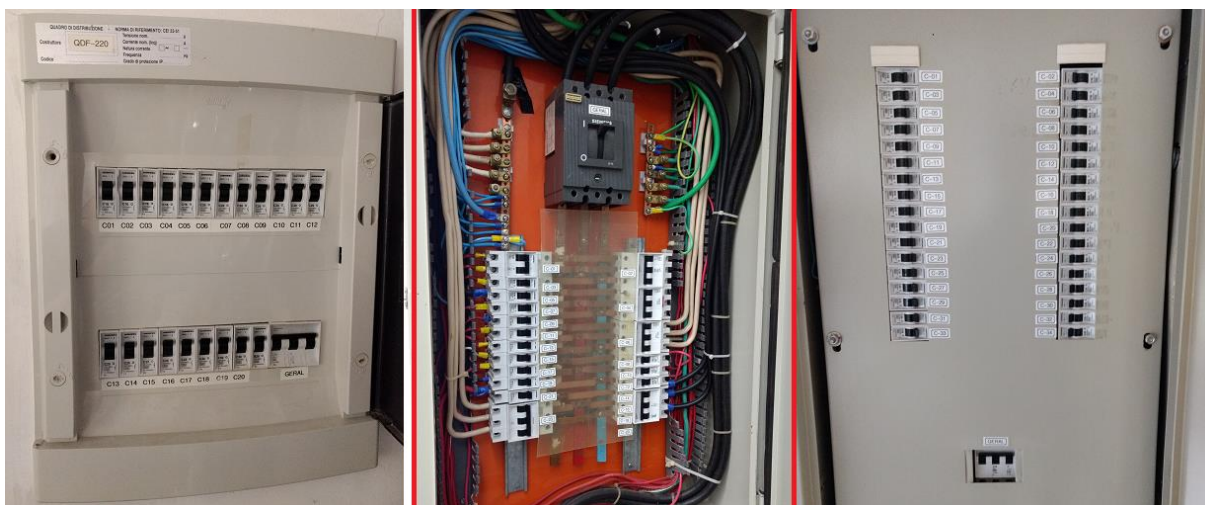
Parâmetros e componentes alterados	Valores dos parâmetros e dos componentes		Referência
	Estrutura sem SPDA e DPS	Estrutura com SPDA e DPS	
$P_B$	1	0,05	Quadro 2.11
$P_A$	0,01	$5 * 10^{-4}$	Equação (2.16)
$P_{EB}$	1	0,01	Quadro 2.16
$R_A$	$1,56 * 10^{-8}$	$7,81 * 10^{-10}$	Equação (2.39)
$R_B$	$7,81 * 10^{-6}$	$3,90 * 10^{-7}$	Equação (2.40)
$R_U$	$1,05 * 10^{-8}$	$1,05 * 10^{-10}$	Equação (2.43)
$R_V$	$5,26 * 10^{-6}$	$5,26 * 10^{-8}$	Equação (2.44)
$R_1$	$1,31 * 10^{-5}$	$0,044 * 10^{-5}$	Equação (2.1)

Fonte: Elaboração própria

De acordo com o quadro 3.8, o Bloco Único não precisa de nenhuma instalação de MPS além dos DPS, pois o risco total  $R_1$  para a perda de vida humana L1 é menor do que o risco tolerável, ou seja,  $0,044 * 10^{-5} < 1 * 10^{-5}$ . Por fim, somente a instalação de SPDA de nível II de proteção e de DPS classe I e classe II foi o suficiente para proteger o Bloco Único contra as descargas atmosféricas, conforme a (ABNT, 2015).

Como não foi possível acessar os quadros gerais dos blocos 4, 5 e 8 por estarem em uma subestação, pois necessita-se de equipamentos de proteção individual e acompanhamento de um engenheiro, logo não foi possível ilustrar como devem ser instalados os DPS classe I. Já para os DPS classe II, é possível demonstrar como seriam instalados. Conforme a figura 3.25, no quadro intermediário do bloco 4, não há espaço suficiente para instalar os DPS, logo deve-se mensurar e instalar um novo quadro intermediário em que se possa instalar esses DPS, disjuntor geral e disjuntores. Para os quadros intermediários do bloco 5 e 8, deve-se expandir os barramentos de cobre de ambos os quadros para instalar os DPS.

Figura 3.25 – Estado atual dos quadros intermediários dos blocos 4, 5 e 8 respectivamente.



Fonte: Elaboração própria

A figura 3.25 exibe o estado atual dos quadros intermediários dos blocos 4, 5 e 8, respectivamente. Os demais quadros intermediários destes blocos estão no mesmo estado do que os exibidos acima, ou seja, os quadros intermediários do bloco 4 não possuem espaço para a instalação de DPS classe II e os quadros intermediários dos blocos 5 e 8 precisam que seus barramentos de cobres sejam expandidos para a instalação de DPS.

## 4 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

A avaliação dos resultados do estudo de caso é segmentada em três partes. A primeira parte discorre a respeito das avaliações dos impactos que os SPDAs tendem a trazer quando as suas implementadas nos blocos. A segunda parte demonstra os benefícios que a implementação dos SPDAs tende a trazer para os blocos, seus conteúdos e pessoas no interior dos blocos e ao redor deles. Por fim, a terceira parte expõe todos os custos prováveis para a implementação dos SPDAs.

### 4.1 Avaliação dos impactos causados com a implementação do SPDA

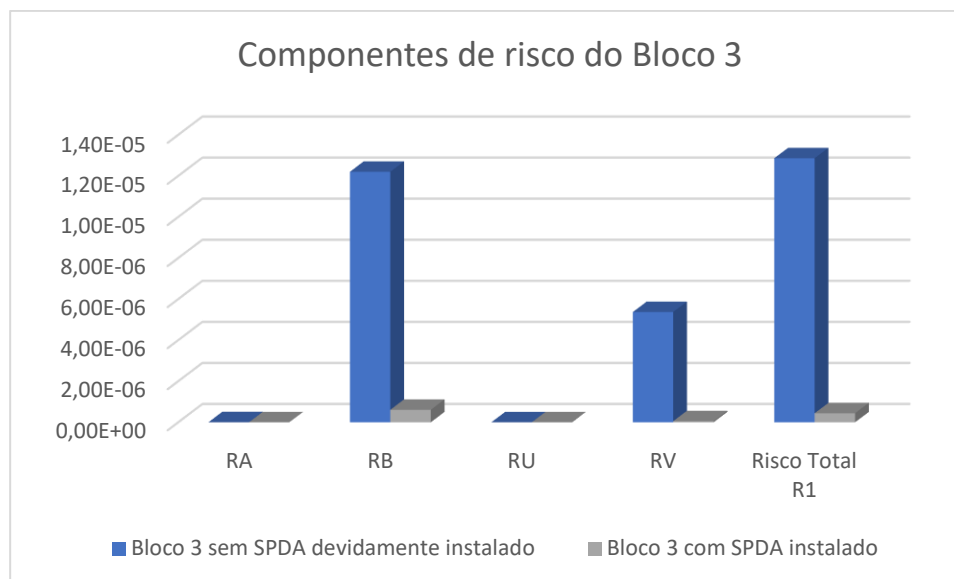
Com a finalidade de melhor demonstrar as avaliações dos impactos provocados pela implementação dos SPDAs, esta parte do capítulo é dividido em duas partes, sendo a primeira parte a respeito do SPDA implementado no bloco 3 e a segunda parte a respeito do SPDA implementado no Bloco Único.

#### 4.1.1 Avaliação dos impactos causados com a implementação do SPDA no bloco 3

Com a projeção do SPDA de nível II de proteção e a adição de DPS classe I e classe II, os componentes de riscos foram todos reduzidos, conforme demonstrado no quadro 3.7. Os componentes de riscos em consequência de descargas atmosféricas na estrutura,  $R_A$  e  $R_B$ , são reduzidos em 95%, ou seja, ocorre uma queda de 20 vezes do valor atual dos componentes de risco com a implementação do SPDA. Para o caso dos componentes risco em consequência das descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura,  $R_U$  e  $R_V$ , seus valores são reduzidos em 99%, ou seja, ocorre uma queda de 100 vezes do valor atual dos componentes de risco com a implementação do SPDA. Por fim, as reduções desses valores implicam em uma redução de aproximadamente 96,58% do valor atual do risco  $R_1$  total, ou seja, o valor total de risco sem a proteção do SPDA é reduzido em 29 vezes quando há a instalação de um SPDA de nível II de proteção com DPS classe I e classe II.

O gráfico 4.1 ilustra os valores dos componentes de risco no bloco 3 sem a instalação apropriada do SPDA e com a devida instalação do SPDA.

Gráfico 4.1 – Valores dos componentes e risco do bloco 3 sem SPDA devidamente instalado e com a instalação devida do SPDA



Fonte: Elaboração própria

No subsistema de captação, para a instalação da malha de nível II de proteção, deve-se remover todos os componentes do subsistema de captação que estavam previamente instalados. Além disso, deve-se realocar a antena instalada no ponto mais alto do bloco pelo fato da antena estar fora da zona de proteção do SPDA, caso contrário necessitaria de uma instalação de mastro Franklin para a proteção da mesma. A sua pós-instalação acarreta uma dificuldade de locomoção para a manutenção de equipamentos instalados em sua cobertura devido à grande quantidade de cabos instalados.

No subsistema de descida, as novas decidas não impactam a estrutura nem as pessoas em nenhum momento durante sua instalação e após sua instalação.

A instalação dos condutores do subsistema de aterramento e dos eletrodos de aterramento em forma de anel da equipotencialização causam um forte impacto nas pessoas, pois deve-se perfurar o solo para a passagem e a instalação desses componentes. Sendo assim, essa instalação causa um grande desconforto, pois deve-se interditar a entrada principal lateral por ela estar ao nível do solo, diferentemente das outras entradas, onde elas estão localizadas acima do nível do solo. Além disso, o barulho causado pela perfuração do solo para a instalação dos cabos deve perturbar a ministração das aulas.



A figura 4.1 demonstra a entrada onde deve ser interditada para que se possa instalar os componentes do subsistema de aterramento. Esta entrada está localizada na lateral direita do bloco 3, conforme a posição da figura 3.2.

Figura 4.1 – Entrada que deve ser interditada com a instalação dos componentes do subsistema de aterramento do bloco 3



Fonte: Elaboração própria

A instalação de DPS acarreta a substituição dos quadros intermediários atuais por novos quadros intermediários pelo fato de haver espaço nos quadros para a instalação de DPS, conforme o quadro da figura 3.23. Logo, para instalar os DPS classe II, deve-se instalar novos quadros intermediários com novos barramentos de cobre, para que se possa instalar todos os disjuntores e DPS.

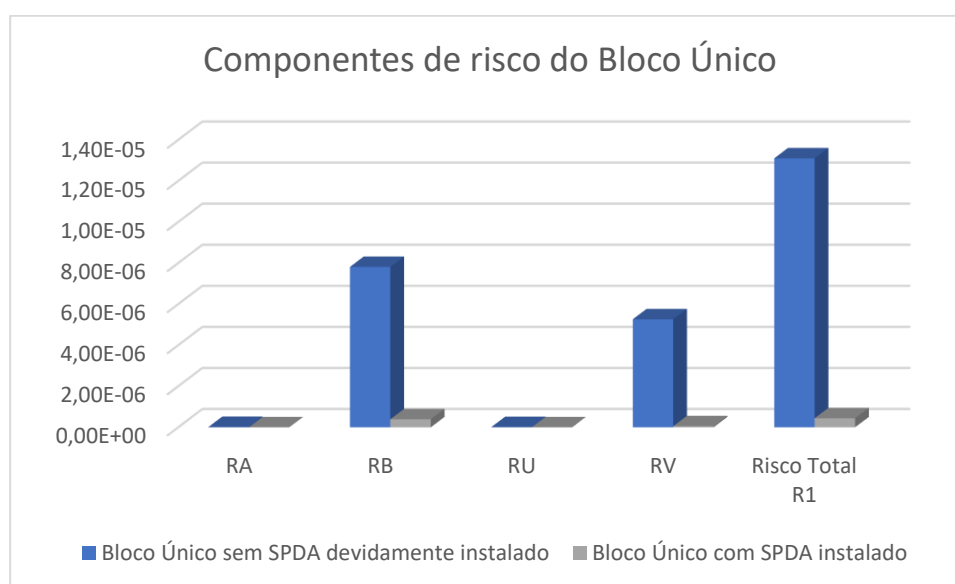
#### **4.1.2 Avaliação dos impactos causados com a implementação do SPDA no Bloco Único**

Com a projeção do SPDA de nível II de proteção e a adição de DPS classe I e classe II, os componentes de riscos foram todos reduzidos, conforme demonstrado no quadro 3.8. Os componentes de riscos em consequência de descargas atmosféricas na estrutura,  $R_A$  e  $R_B$ , são reduzidos em 95%, ou seja, ocorre uma queda de 20 vezes do valor atual dos componentes de risco com a implementação do SPDA. Para o caso dos componentes de risco em consequência das descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura,  $R_U$  e  $R_V$ , seus valores são reduzidos em 99%, ou seja, ocorre



uma queda de 100 vezes do valor atual dos componentes de risco com a implementação do SPDA. Por fim, as reduções desses valores implicam em uma redução de aproximadamente 96,58% do valor atual do risco  $R_1$  total, ou seja, o valor total de risco sem a proteção do SPDA é reduzido em 29 vezes quando há a instalação de um SPDA de nível II de proteção com DPS classe I e classe II. O gráfico 4.2 ilustra os valores dos componentes de risco no Bloco Único sem a instalação apropriada do SPDA e com a devida instalação do SPDA.

Gráfico 4.2 – Valores dos componentes e risco do Bloco Único sem SPDA devidamente instalado e com a instalação devida do SPDA



Fonte: Elaboração própria

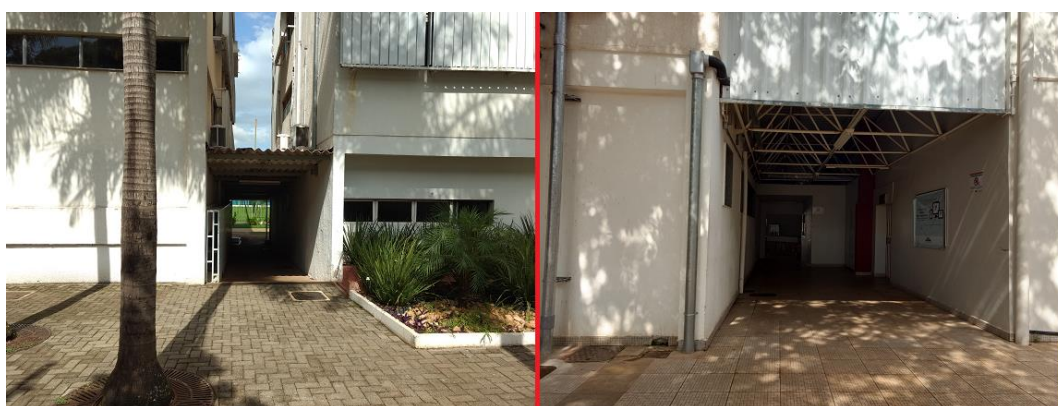
No subsistema de captação, para a instalação da malha de nível II de proteção, deve-se remover todos os componentes do subsistema de captação que estavam previamente instalados, com exceção do mastro de Franklin, pois este é o único componente que pode ser reutilizado. Ademais, a sua instalação acarreta com se haja uma realocação das placas fotovoltaicas instaladas nos blocos 5 e 8, pois um dos cabos de cada bloco atravessa a região onde as placas estão atualmente instaladas. Isso ocorre pelo fato delas estarem instaladas em uma posição que impede a instalação de um cabo com uma distância menor ou igual a 10 metros em relação a outro cabo. Ademais, a pós-instalação da malha acarreta uma dificuldade de locomoção para a manutenção das placas fotovoltaicas em consequência dos cabos instalados.

A instalação de novas descidas do subsistema de descida acarreta a realocação da câmera, dos corrimões e eletroduto instalados na parte frontal do bloco 8, conforme a figura 3.6. Além disso, necessita-se furar algumas partes dos telhados de zinco dos blocos para passar os cabos. Ademais, as decidas do bloco 8 devem estar em todo momento envolvidas por tubos de PVC pelo fato dos cabos estarem muito próximos das janelas, conforme a figura 3.7. Já, a pós-instalação não causa nenhum impacto na estrutura nem nas pessoas em volta.

A instalação dos condutores do subsistema de aterramento e dos eletrodos de aterramento em forma de anel da equipotencialização causam um forte impacto nas pessoas, pois deve-se perfurar o solo para a passagem e a instalação desses componentes. Sendo assim, essa instalação causa um grande desconforto, pois deve-se interditar os caminhos entre o bloco 4 e a quadra esportiva e entre o bloco 5 e bloco 7 e as escadas da parte posterior do bloco 8, conforme as figuras 3.7 e 4.2. Além disso, o barulho causado pela perfuração do solo para a instalação dos cabos deve perturbar a ministração das aulas.

A figura 4.2 demonstra as passagens que devem ser interditadas para que se possa instalar os componentes do subsistema de aterramento. A passagem a esquerda está localizada na lateral esquerda do Bloco Único e a passagem a direita está localizada na lateral direita do Bloco Único, conforme a posição da figura 3.5.

Figura 4.2 – Passagens que devem ser interditadas com a instalação dos componentes do subsistema de aterramento do Bloco Único



Fonte: Elaboração própria

A instalação de DPS Classe II, para o bloco 4 acarreta o dimensionamento de novos quadros intermediários pela impossibilidade de instalar DPS nos quadros intermediários atuais por falta de espaçamento, conforme a figura 3.25. Já para os

quadros intermediários dos blocos 5 e 8, deve-se substituir os barramentos de cobre atuais por novos barramentos de cobre, pois não é possível dizer se há espaço nos barramentos de cobre para a instalação dos DPS, com exceção do quadro do térreo do bloco 5 mostrado na figura 3.25. Sendo assim, espera-se que não haja espaço para a instalação, logo deve-se primeiramente mensurar e instalar novos barramentos de cobre para depois instalar os DPS classe II.

#### **4.2 Avaliação dos benefícios da implementação dos SPDAs conforme a norma NBR 5419:2015**

Os SPDAs acarretam diversos benefícios como:

- Proteger a estrutura contra danos físicos;
- Proteger as placas fotovoltaicas instaladas nos blocos 5 e 8;
- Proteger a caixa d'água instalada na cobertura do bloco 8;
- Proteger os equipamentos eletrônicos instalados na cobertura do bloco 3 contra danos e mal funcionamento;
- Proteger os equipamentos eletrônicos como computadores e projetores instalados no interior dos blocos;
- Proteger as pessoas contra lesões;
- Manter a ministração das aulas quando os efeitos da descarga atmosférica atingirem a estrutura;
- Minimizar as tensões de passo e toque.

#### **4.3 Avaliação dos custos para a implementação dos SPDAs conforme a norma NBR 5419:2015**

Um outro ponto importante a se constatar na avaliação da implementação dos SPDAs é o custo total dessa implementação. A avaliação dos custos é separada em duas partes, a primeira a respeito do custo total dos materiais a serem utilizados e instalados e a segunda parte é a respeito do custo de mão de obra para a instalação dos SPDAs nos blocos.

A avaliação dos custos dos materiais foi baseada nos preços médios dos materiais encontrados no mercado. O quadro 4.1 demonstra o custo de cada material utilizado e o custo total para a implementação dos SPDAs.

Quadro 4.1 – Custo de cada material para a implementação dos SPDAs

<b>Região de instalação</b>	<b>Material</b>	<b>Quantidade/ comprimento</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor total</b>
Subsistema de captação	Minicaptor	96 peças	R\$ 7,00	R\$ 672,00
	Cabo (35 mm <sup>2</sup> )	1.132 m	R\$ 6,70/m	R\$ 7.584,40
	Conector tipo Split Bolt	37 peças	R\$ 6,90	R\$ 255,30
	Abraçadeira tipo U	35 peças	R\$ 7,90	R\$ 276,50
	Parafuso/Bucha S-5 (conjunto)	1.174 conjuntos	R\$ 3,50	R\$ 3.773,00
	Cordoalha de cobre nu	6 m	R\$ 9,30	R\$ 55,80
	Presilha de latão	1.078 peças	R\$ 0,95	R\$ 1.024,10
	Solda exotérmica	72 peças	R\$ 10,60	R\$ 763,20
Subsistema de Descida	Presilha de latão	504 peças	R\$ 0,95	R\$ 478,80
	Cabo (35 mm <sup>2</sup> )	530 m	R\$ 6,70/m	R\$ 3.551,00
	Solda exotérmica	38 peças	R\$ 10,60	R\$ 402,20
	Tudo de PVC	158 m	R\$ 3,50	R\$ 553,00
Subsistema de Aterramento	Cabo (50 mm <sup>2</sup> )	450 m	R\$ 9,80	R\$ 4.410,00
	Caixão de inspeção	36 peças	R\$ 45,00	R\$ 1.620,00
	Tampa de ferro	36 peças	R\$ 60,00	R\$ 2.160,00
	Solda exotérmica	72 peças	R\$ 10,60	R\$ 763,20
	Aluguel de cortadora de piso	2 máquinas	R\$ 500,00	R\$ 1.000,00
	Disco de serra da cortadora de piso	4 peças	R\$ 250,00	R\$ 1.000,00
	Concreto	450 m	R\$ 10,00/m	R\$ 4.500,00
MPS	Barramento de cobre	15	R\$99,90	R\$ 1.498,50
	Quadro Intermediário	5	R\$ 49,90	R\$ 249,50
	DPS Classe I	16 peças	R\$ 150,00	R\$ 2.400,00
	DPS Classe II	60 peças	R\$ 60,00	R\$ 3.600,00
<b>Custo total</b>		–	–	<b>R\$ 42.926,50</b>

Fonte: Elaboração própria

A avaliação do custo de mão de obra é baseada na contratação de engenheiro eletricista e eletricitas com o intuito de instalar os SPDAs no bloco 3 e no Bloco Único. O quadro 4.2 demonstra o custo de cada contrato e o custo total para instalar os SPDAs.

Quadro 4.2 – Custo dos profissionais para a instalação dos SPDAs

<b>Contratado</b>	<b>Valor diário<sup>a</sup></b>	<b>Dias trabalhados<sup>b</sup></b>	<b>Custo total</b>
Engenheiro Eletricista (Recém-formado)	R\$ 200,00	45 dias	R\$ 9.000,00
Seis Eletricistas	6 x R\$ 70,00	45 dias	R\$ 18.900,00
<b>Custo total</b>	–	–	<b>R\$ 27.900,00</b>
<sup>a</sup> Valor diário baseado em uma jornada de 8 horas diárias, 5 vezes por semana.			
<sup>b</sup> Dias de trabalho baseado em recomendações técnicas de profissionais da área.			

Fonte: Elaboração própria

Para implementar os SPDAs, sem a utilização de eletrodos de aterramento, no bloco 3 e no Bloco Único, a instituição deve arcar com um custo em torno de R\$ 70.826,50, conforme os quadros 4.1 e 4.2.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho são verificados os parâmetros e características das descargas atmosféricas expressivas para a realização de projetos de SPDA e a revisão bibliográfica da norma NBR 5419:2015 que diz respeito a implementação de SPDA em uma determinada estrutura.

Como a norma NBR 5419:2015 é uma norma abrangente e com diversas particularidades devido às características da estrutura e o ambiente ao seu redor, opta-se pela realização de um estudo de caso assentado em dois projetos de SPDA para quatro estruturas já erguidas no Centro Universitário de Brasília do campus Asa Norte, sendo elas os blocos 3, 4, 5 e 8.

Para a elaboração desses projetos é necessário realizar a revisão bibliográfica da norma NBR 5419:2015 com o intuito de implementar os SPDAs nos blocos 3, 4, 5 e 8 e a comparação entre a versão de 2015 com a versão de 2005 com a intenção de verificar as principais mudanças pelo fato dos blocos 3 e 8 estarem com seus SPDAs desatualizados.

Através da revisão bibliográfica da versão 2015 da norma NBR 5419 e da comparação dessa norma com a versão de 2005, observa-se que muitos critérios foram modificados e o critério que teve o maior impacto foi a análise de risco devido ao fato de ela estar mais completa por possuir novos fatores de risco e ainda determinar o nível de proteção da estrutura e as MPS que devem ser tomadas para uma proteção eficiente da estrutura, seu conteúdo e das pessoas.

Para a implementação dos SPDAs, necessita-se fazer inspeções locais. Por meio das inspeções, conclui-se que os blocos 4, 5 e 8 devem ser considerados como um único bloco para que se possa produzir o projeto de SPDA pelo fato de suas paredes externas estarem em contato umas com as outras, pois é economicamente inviável perfurar as paredes externas para a instalação dos cabos do subsistema de aterramento. Para o bloco 3, não ocorre alterações para a produção do projeto de SPDA.

Com os projetos de SPDAs concluídos, observa-se que a implementação do SPDA no bloco 3 e no Bloco Único causam diversos impactos nas estruturas e nas pessoas devido às realocações de equipamentos e dispositivos eletrônicos, interdição

de passagens e entrada e perturbações durante a ministração das aulas. Ademais, o custo para a implementação dos SPDAs seria em torno de R\$ 71.130,50.

### **5.1 Propostas de trabalhos futuros**

Durante as inspeções nos blocos da instituição e a produção dos projetos de SPDA, algumas observações foram feitas, as quais geram propostas de trabalhos futuros são:

- Correção deste trabalho proposto com mais informações a respeito das perdas  $R_2$  e  $R_4$ , sendo este projeto baseado na versão corrigida 2018 da norma NBR 5419:2015;
- Projeto de aterramento para os blocos deste trabalho proposto;
- Projeto para a implementação de SPDAs nos restantes dos blocos do UniCEUB, conforme a NBR 5419:2015 Versão Corrigida:2018;
- Projeto de atualização das instalações elétricas dos blocos deste trabalho proposto;

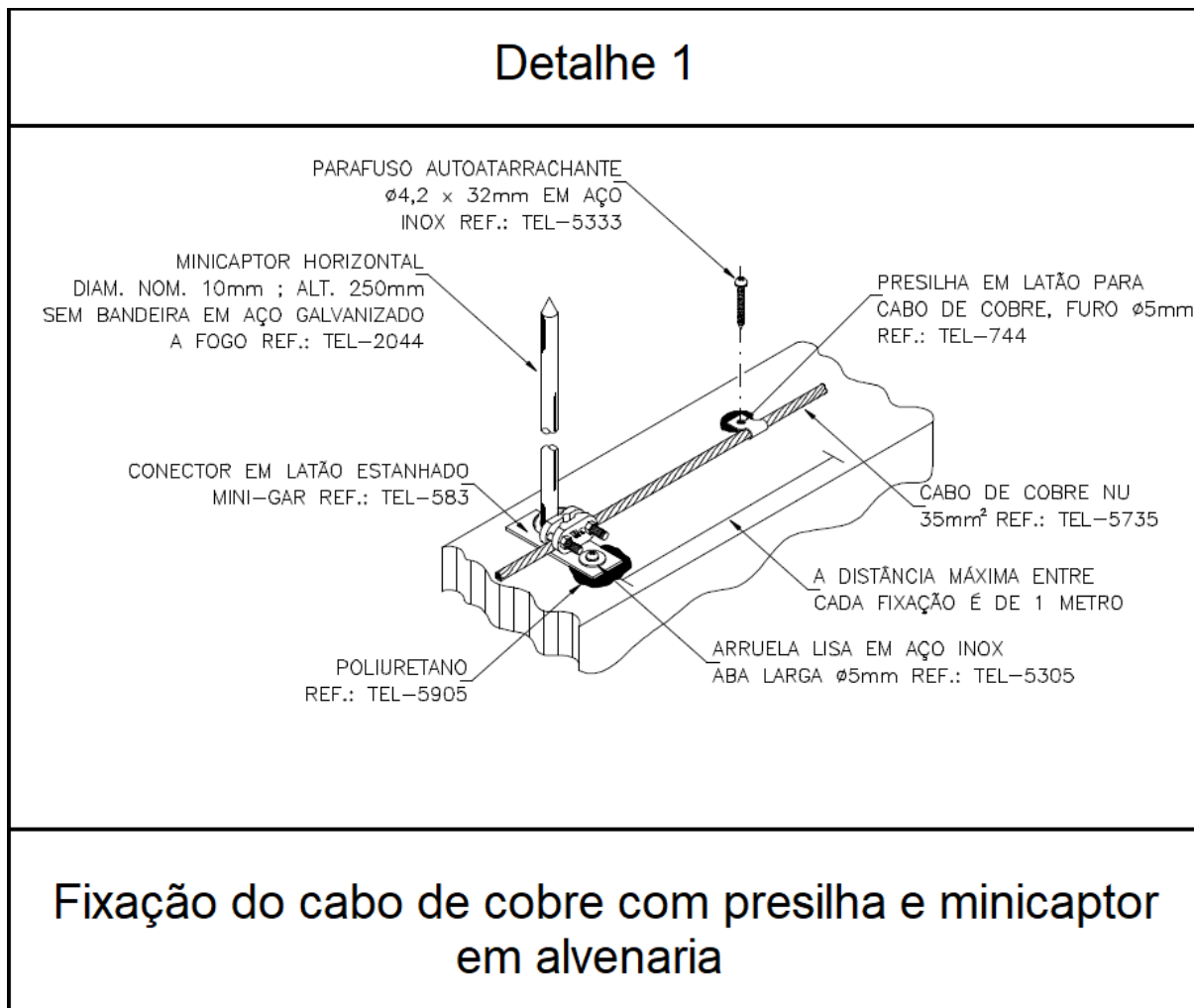
## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. L. G. **Análise e proposta de adequação da proteção contra descargas atmosféricas do IFBA – Campos de Paulo Afonso conforme a norma ABNT NBR 5419:2015**. 2017. 91 f. Monografia (Graduação), Departamento de Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Paulo Afonso. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 15 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Densidade de descarga atmosféricas para a terra (Ng)** Disponível em: <[http://www.inpe.br/webelat/ABNT\\_NBR5419\\_Ng/](http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng/)>. Acesso em: 14 out. 2018.
- MAMEDE, J. **Instalações Elétricas Industriais**. Rio de Janeiro: LTC. 2017.
- MARINHO, D. L. M. **Avaliação de risco de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas**. 2018. 112 f. Monografia (Graduação). Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2018.
- MARTINS, F. D. M. **Sistema de proteção contra descargas atmosféricas**. 2017. 86 f. Monografia (Graduação), Faculdade de Engenharia Elétrica Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2017.
- NERY, N. **Instalações Elétricas**. São Paulo: Érica, 2011.
- NISKIER, J.; MACINTYRE, A. J. **Instalações Elétricas**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- OLIVEIRA, W. S. D. **Metodologia para dimensionar um sistema de aterramento elétrico um estudo de caso**. 2018. 107 F. Monografia( Graduação), Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília. 2018.
- SANTINI, R. Q. **Comparação entre a ABNT NBR 5419 do ano de 2005 e 2015 e aplicação em projeto**. 2016. 166 f. Monografia (Graduação), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2016

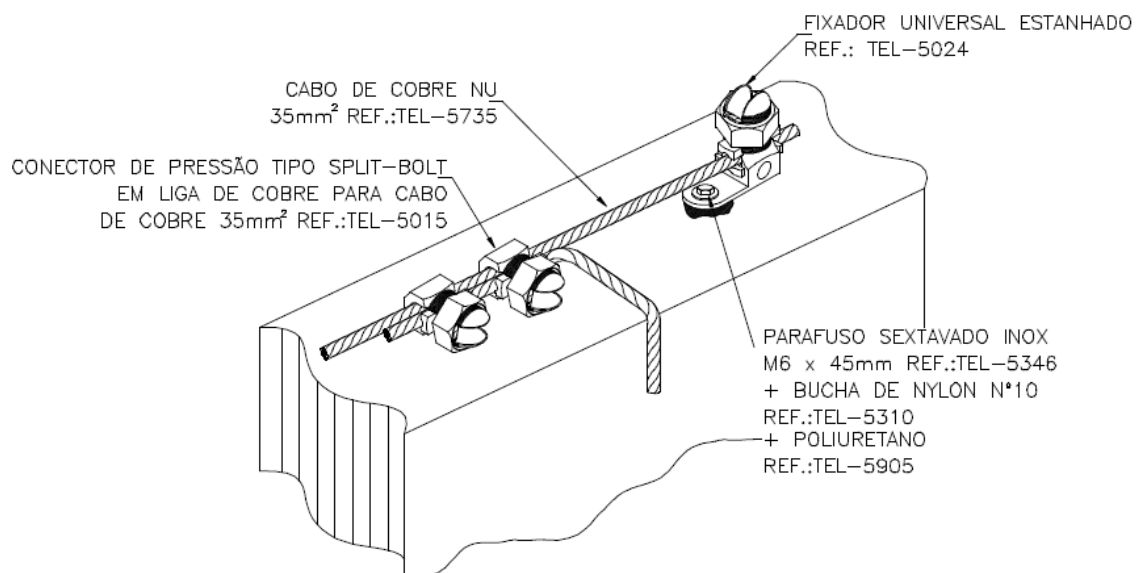


## ANEXO A

Exibição dos detalhes de instalação do projeto.

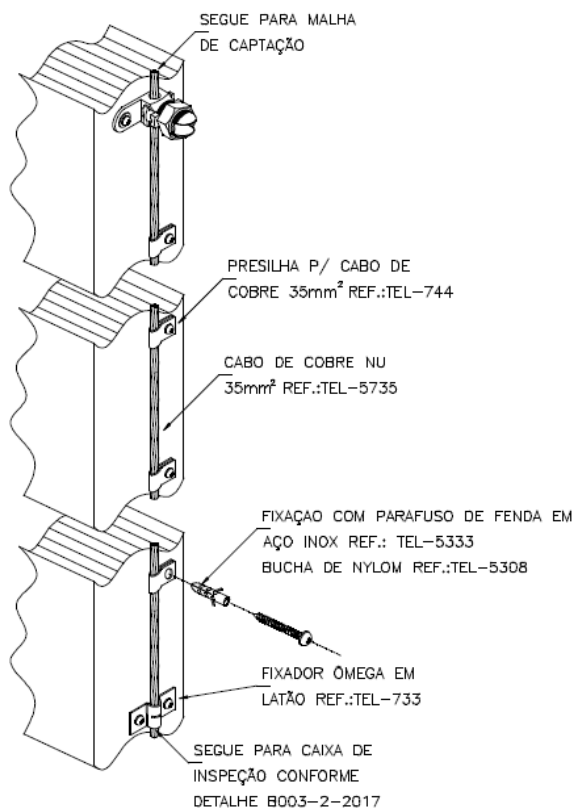


## Detalhe 2



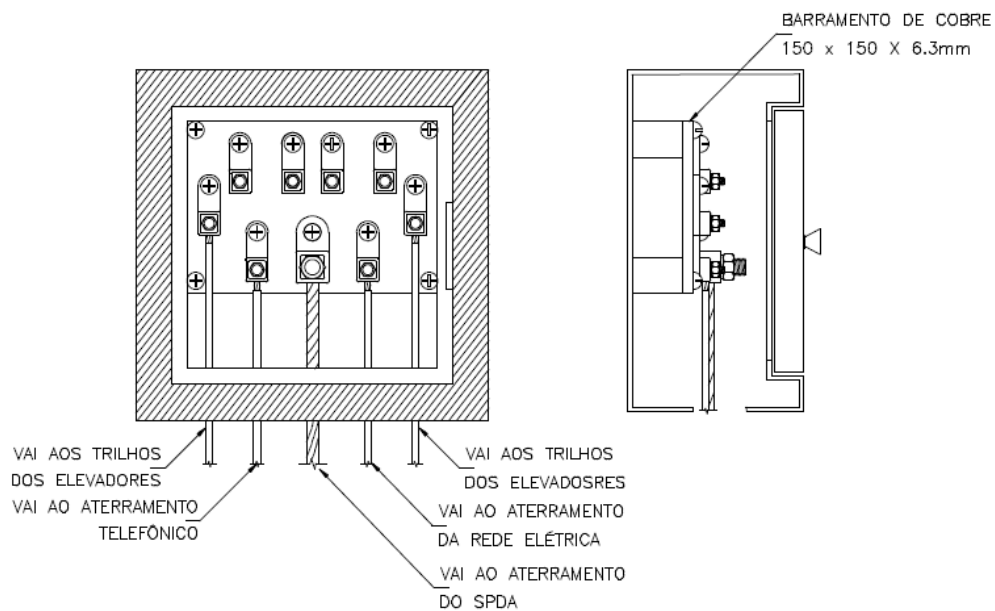
Derivação do cabo de cobre com fixador universal

### Detalhe 3



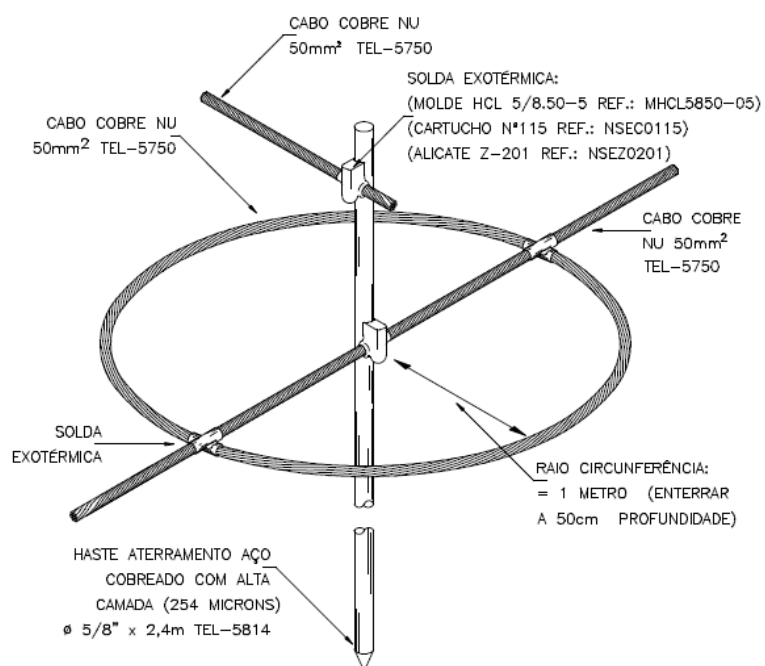
Detalhe de fixação do cabo de descida

## Detalhe 4



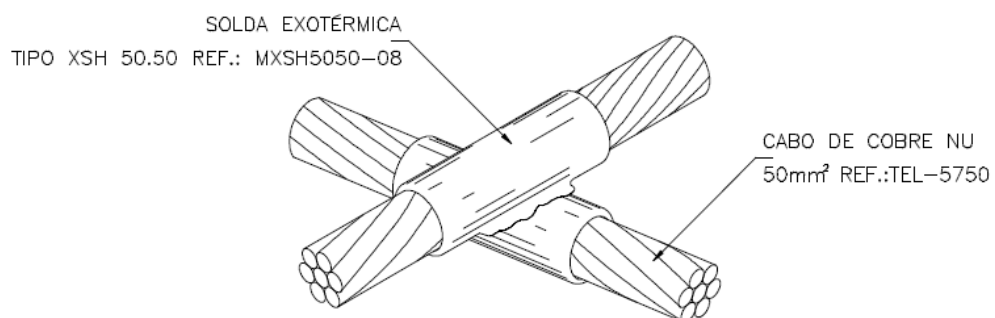
## Detalhe da caixa de equipotencialização

## Detalhe 5



Detalhe do anel de aterramento contra tensão de passo

## Detalhe 6



Detalhe de solda em cruzamento dos cabos da malha de aterramento