



**INSTITUTO
FEDERAL**
Goiás

Câmpus
Itumbiara

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ITUMBIARA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

MATHEUS MONTEIRO CABRAL

**ANÁLISE DO SPDA DO REFEITÓRIO DO IFG – CAMPUS ITUMBIARA A LUZ DA
NBR 5419/2015 – ESTUDO DE CASO**

ITUMBIARA

2021



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Matheus Monteiro Cabral

Matrícula: 20142040070310

Título do Trabalho: ANÁLISE DO SPDA DO REFEITÓRIO DO IFG – CAMPUS ITUMBIARA À LUZ DA NBR 5419/2015 – ESTUDO DE CASO

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Itumbiara-GO, 03/02/2022
Local Data

Matheus Monteiro Cabral

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

MATHEUS MONTEIRO CABRAL

**ANÁLISE DO SPDA DO REFEITÓRIO DO IFG – CAMPUS ITUMBIARA A LUZ DA
NBR 5419/2015 – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Itumbiara como parte dos requisitos necessários ao cumprimento do bacharelado em Engenharia Elétrica, sob orientação do professor Roberlam Gonçalves de Mendonça e coorientação de Glauce Ribeiro de Souza Mendonça.

ITUMBIARA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C117a	Cabral, Matheus Monteiro Análise do SPDA do refeitório do IFG - Campus Itumbiara a luz da NBR 5419/2015 - Estudo de caso. Matheus Monteiro Cabral. -- Itumbiara, 2021. 101 p. : il. color. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2021. Orientador: ProfºDrºRoberlam Gonçalves de Mendonça Coorientador: Glauce Ribeiro de Souza Mendonça 1. Descarga atmosférica. 2. Raio - Proteção. 3.Refeitório - Instalações elétricas. I. Título. II. Goulart, Simone Machado. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. CDD 621.3193
-------	--

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Biblioteca Maria Gabriela Pacheco Pardey / Câmpus Itumbiara
Bibliotecária: Rosiane Gonçalves de Lima CRB1/6184



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ITUMBIARA

Termo de Aprovação

MATHEUS MONTEIRO CABRAL

ANÁLISE DO SPDA DO REFEITÓRIO DO IFG – CAMPUS ITUMBIARA A LUZ DA NBR 5419/2015 – ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Itumbiara, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado, em 10 de dezembro de 2021, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberlam Gonçalves de Mendonça - Orientador

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara

Prof. Dr. Victor Régis Bernardeli - Membro

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara

Prof. Dr. Samuel César Mota de Paula - Membro

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Goiânia

Documento assinado eletronicamente por:

- **Victor Regis Bernardeli**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/12/2021 14:17:25.
- **Samuel Cesar Mota de Paula**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/12/2021 08:00:31.
- **Roberlam Goncalves de Mendonca**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/12/2021 11:11:45.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/12/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 228411

Código de Autenticação: 7234732a29



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Avenida Furnas, nº 55, Bairro Village Imperial, ITUMBIARA / GO, CEP 75524-010

(64) 2103-5612 (ramal: 5612)

Dedico este trabalho a todos aqueles que impactaram a minha vida e que construíram o indivíduo que sou hoje.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe Deonice Monteiro Farias e meu pai Antônio Dias Cabral por sempre me apoiarem incondicionalmente nas decisões da minha vida e participarem ativamente delas.

Ao meu orientador Roberlam Gonçalves Mendonça, pela paciência e ensinamentos.

Aos meus amigos e familiares que passaram em algum momento de minha trajetória, que me ensinaram outras formas de ver o mundo e de demonstrar que cada indivíduo é a soma de suas experiências.

RESUMO

O Brasil é o país que apresenta a maior quantidade de descargas atmosféricas no mundo, atingindo a marca de 77,8 milhões de descargas nuvem-solo por ano. Este número é consequência direta de fatores como tipo de clima, comportamento da precipitação e das massas de ar, umidade relativa do ar, altura, latitude, poluição e comportamento bianual variável. O potencial para a ocorrência de relâmpagos surge dentro das nuvens e o método de carregamento ainda é estudado pela academia. Dessa forma, duas vertentes mais prováveis são estudadas, a de carregamento por indução e a de eletrificação por atrito entre granizo, grãos e cristais de gelo. Além disso, o processo físico de início da descarga atmosférica, conceito estudado por 250 anos, ainda não foi completamente definido. No entanto, a ocorrência de relâmpagos e raios são uma realidade observável e no caso brasileiro apresenta um risco real para a vida, estrutura, equipamentos e serviços. Dessa forma, a Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da NBR 5419, padroniza ações de caráter de projeto de proteção dentro do território brasileiro. No ano de 2015 esta norma recebeu uma atualização e foram adicionados conceitos relacionados à análise de risco, bem como a características necessárias ao Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). O Refeitório instalado no IFG *Campus* Itumbiara teve o seu SPDA construído ainda com base na NBR 5419 de 2005 e, até então, não conta com sua atualização. Consequentemente, este trabalho atua sobre o estudo de caso na análise e adequação do SPDA do Refeitório considerando as características da NBR 5419 de 2015.

Palavras-chave: Descargas atmosféricas. ABNT NBR 5419-2015. SPDA. Refeitório.

ABSTRACT

Brazil is the country with the largest amount of atmospheric discharges in the world, reaching the mark of 77.8 million cloud-to-ground discharges per year. This number is a direct consequence of factors such as climate type, precipitation behavior and air masses, relative air humidity, height, latitude, pollution and biannual variable behavior. The potential for the occurrence of lightning strikes inside the clouds and its charging method is still being studied by the academy. Thus, two most probable aspects are studied, the induction charging and the electrification by the friction of hail, graupel and ice crystals. In addition, the physical process for the initiation of lightning, a concept studied for 250 years, has not yet been completely defined. However, the occurrence of lightning discharges is an observable reality and in the Brazilian case presents a real risk to life, structure, equipment and services. Thus, the Brazilian Association of Technical Standards, through NBR 5419, standardizes actions of protection within the Brazilian territory. In 2015, this standard received an update and concepts related to risk analysis were added, as well as the essential characteristics of the Lightning Protection System (LPS). The refectory installed at IFG *Campus* Itumbiara had its LPS built based on NBR 5419 of 2005 and, until then, it has not been updated. Consequently, this thesis works on the case study in the analysis and adequacy of the LPS of the refectory considering the characteristics of NBR 5419 of 2015.

Palavras-chave: Lightning discharges. ABNT NBR 5419-2015. LPS. Refectory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Convecção na formação de uma nuvem.	8
Figura 2: Nuvem detalhada.....	10
Figura 3: a) Granizo b) Grãos de gelo c) Floco de neve.....	12
Figura 4: <i>Streamer</i> positivo.	14
Figura 5: Descarga nuvem-solo. a) Líder negativo b) Líder positivo.	15
Figura 6: Descarga solo-nuvem. a) Líder positivo b) Líder negativo.	15
Figura 7: Possíveis componentes em uma descarga NS.....	17
Figura 8: Possíveis componentes em uma descarga NS, outros tipos.	17
Figura 9: Descarga ascendente, com carga de aproximadamente 405 C (A.s).	18
Figura 10: Descarga descendente.	18
Figura 11: Raio NS com ramificações.....	19
Figura 12: Tensão de passo.	19
Figura 13: Derretimento dos materiais quando sob ação das grandes correntes.	21
Figura 14: Classificação do clima do Brasil.....	23
Figura 15: Representação do comportamento da ITcZ.	24
Figura 16: BrasilDAT e o local de instalação de seus sensores.	27
Figura 17: Distribuição de descargas atmosféricas pelo território brasileiro.	28
Figura 18: Análise da região sudeste e os estados de Goiás e Paraná.	30
Figura 19: Temperatura e precipitação da cidade de Itumbiara.	32
Figura 20: Descargas NS entre os anos de 2015 e 2019 em Itumbiara.	32
Figura 21: Área do Campus Itumbiara.	34
Figura 22: Estrutura da NBR 5419-2015.....	35
Figura 23: Pontos de impacto segundo a NBR 5419-2.	36
Figura 24: Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos.	38
Figura 25: Vista lateral e superior do prédio exemplo.	39
Figura 26: Cálculo de A_D pelo método gráfico.	40
Figura 27: Linha de entrada para o prédio.....	42
Figura 28: Fluxograma das variáveis relacionadas ao cálculo da probabilidade de dano.	44
Figura 29: Fluxograma dos cálculos para os riscos R1, R2, R3 e R4.	54
Figura 30: SPDA do prédio exemplo.	57
Figura 31: Captor por método de Franklin.	59

Figura 32: Mastro com dois planos de referência.....	59
Figura 33: Mastros conectados através de um condutor.....	60
Figura 34: Curva ângulo de proteção (α) x altura da base de referência.	60
Figura 35: Exemplo da aplicação do método de Franklin para uma estrutura.	62
Figura 36: Método de captação por malhas.....	63
Figura 37: Método das esferas rolantes.	64
Figura 38: Métodos das esferas rolantes aplicado no prédio exemplo.....	65
Figura 39: Exemplo de um laço no condutor de descida.....	68
Figura 40: Exemplo dos condutores de descida.	70
Figura 41: Gráfico l_1 x p.....	73
Figura 42: Exemplo de possíveis conexões ao BEP.....	75
Figura 43: Prédio exemplo, com vista interna.	77
Figura 44: ZPR do prédio exemplo.	77
Figura 45: Zonas de proteção detalhadas no prédio exemplo.	79
Figura 46: Localização das estruturas dentro do IFG - Campus Itumbiara.....	83
Figura 47: Visualização do Refeitório e das outras estruturas do IFG - Campus Itumbiara....	86
Figura 48: Alturas do Refeitório.....	86
Figura 49: SPDA e vista aproximada do Refeitório.....	87
Figura 50: Projeto de SPDA aliado à imagem real.....	88
Figura 51: Terminal aéreo de 50cm.....	88
Figura 52: Subsistema de aterramento atual do Refeitório.....	90
Figura 53: Visão superior do SPDA do Refeitório atualizado.	95
Figura 54: Aterramento e conexão dos condutores de descida do SPDA atualizado.....	95
Figura 55: Conceito de zonas aplicados ao prédio exemplo.	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de raios entre 2015 e 2019 em Itumbiara.	33
Tabela 2: Fontes de danos, tipos de dano e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto.	37
Tabela 3: Fator de localização da estrutura C_D	41
Tabela 4: Fator de instalação da linha.	42
Tabela 5: Fator tipo de linha.	42
Tabela 6: Fator ambiental da linha.	42
Tabela 7: Valores de probabilidade de uma descarga causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas.	45
Tabela 8: Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.	45
Tabela 9: Valores de probabilidade P_{SPD} em função do NP para qual os DPS foram projetados.	46
Tabela 10: Valores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento.....	46
Tabela 11: Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas.	47
Tabela 12: Valor de probabilidade P_{EB} em função do NP para o qual os DPS foram projetados.	47
Tabela 13: Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_W do equipamento.	47
Tabela 14: Valor de fator K_{S3} dependendo da fiação interna.	48
Tabela 15: Valores da probabilidade P_{LI} dependendo do tipo de linha e tensão suportável do impulso U_W dos equipamentos.	49
Tabela 16: Tipo de perda L1 - valores da perda para cada zona.	49
Tabela 17: Tipo de perda L1 - valores médios típicos de L_T , L_F e L_O	50
Tabela 18: Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso.	50
Tabela 19: Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio.	51
Tabela 20: Fator de redução r_t em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura.	51
Tabela 21: Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial.	51

Tabela 22: Tipo de perda L2 - valores de perda para cada zona.	52
Tabela 23: Tipo de perda L2 - valores médios típicos de L_F e L_O	52
Tabela 24: Tipo de perda L3 - valores de perda.	52
Tabela 25: Tipo de perda L3 - valor médio típico de L_F	52
Tabela 26: Tipo de perda L4 - valores de perda de cada zona.	53
Tabela 27: Tipo de perda L4 - valores médios de L_T , L_F e L_O	53
Tabela 28: Valores de risco tolerável.	55
Tabela 29: Fatores que influenciam os valores de risco.	56
Tabela 30: Relação entre NP e classes do SPDA.	56
Tabela 31: Materiais para SPDA e condições de utilização.	58
Tabela 32: Valores de ângulo e distância para os cálculos relacionados ao mastro.	61
Tabela 33: Afastamento dos condutores de malha em relação à classe do SPDA.	63
Tabela 34: Classe de SPDA relacionado ao raio da esfera rolante.	64
Tabela 35: Material, configuração e áreas de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descida.	65
Tabela 36: Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistemas de captação.	66
Tabela 37: Isolação do SPDA externo - valores de coeficiente k_i	68
Tabela 38: Isolação SPDA externo - valores aproximados do coeficiente k_c	68
Tabela 39: Isolação do SPDA externo - valores do coeficiente k_m	69
Tabela 40: Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA.	69
Tabela 41: Material, configuração e dimensões mínimas do eletrodo de aterramento.	72
Tabela 42: Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento.	76
Tabela 43: Classificação das estruturas a partir do NP do PDA.	82
Tabela 44: Horários e previsão de quantidade de alunos no Refeitório.	85
Tabela 45: Número de pessoas e tempo de presença anual da estrutura.	85
Tabela 46: Características da estrutura do Refeitório.	90
Tabela 47: Características da estrutura e meio ambiente do Refeitório.	91
Tabela 48: Características da linha de energia do Refeitório.	91
Tabela 49: Características da linha de sinal do Refeitório.	91
Tabela 50: Cálculos dos parâmetros P e L da Zona interna do Refeitório.	92
Tabela 51: Cálculo de parâmetros P e L da Zona externa do Refeitório.	92

Tabela 52: Cálculo dos valores de N do Refeitório.....	93
Tabela 53: Cálculo do risco R1 do PDA atual do Refeitório.	93
Tabela 54: Valores modificados em relação à características da análise de risco.....	96
Tabela 55: Nova análise de risco para o novo PDA do Refeitório.....	96
Tabela 56: Características gerais da estrutura.	102
Tabela 57: Características da linha de energia.	103
Tabela 58: Características da linha de sinal.	103
Tabela 59: Valores de número de pessoas e tempo de presença relacionados as zonas do prédio exemplo.	104
Tabela 60: Fatores relacionados a Zona 1.	104
Tabela 61: Fatores relacionados a Zona 2.	105
Tabela 62: Fatores relacionados a Zona 3.	105
Tabela 63: Subcomponentes de N consideradas para o prédio exemplo.....	105
Tabela 64: Valores de risco para o prédio exemplo.	106
Tabela 65: Antes e depois das variáveis modificadas através da instalação de SPDA e MPS.	107
Tabela 66: Valores de risco para o prédio exemplo.	107

Sumário

1. INTRODUÇÃO	7
2. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	8
3. DENSIDADE DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NO BRASIL	22
4. CONCEITOS DA NBR 5419-2015 E NT BOMBEIROS DE GOIÁS	35
4.1. ABNT 5419-1:	36
4.2. ABNT 5419-2:	36
4.2.1. Do cálculo de N:	39
4.2.2. Do cálculo de P:	43
4.2.3. Do cálculo de L:	49
4.2.4. Componentes dos riscos:	53
4.3. ABNT 5419-3:	56
4.3.1. Subsistema de captação	58
4.3.2. Subsistema de descida	67
4.3.3. Subsistema de aterramento	71
4.3.4. Sistema interno de proteção	74
4.4. ABNT 5419-4:	76
4.5. NT 40/2019 – Corpo de Bombeiros Civil de Goiás:	79
5. ESTUDO DE CASO	83
5.1. Contextualização	83
5.2. Análise do SPDA do Refeitório e sua análise de risco	87
5.3. Proposta de um novo SPDA para o Refeitório.	93
5.4. Análise de risco do novo SPDA do Refeitório.	96
6. CONCLUSÃO	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
APENDICE A – CÁLCULO DA ANÁLISE DE RISCO DO PRÉDIO EXEMPLO	102
APENDICE B – NOVA ANÁLISE DE RISCO DO PRÉDIO EXEMPLO	107

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país continental com uma área de aproximadamente 8,5 milhões de km² (IBGE, 2021). Por toda a sua extensão existem diferentes climas, culturas e regionalidades. No entanto, um fenômeno da natureza recorrente em cada canto do território são as descargas atmosféricas.

A justificativa deste trabalho surge de o Brasil contar com a junção de fatores como tipos de clima, comportamento da precipitação, comportamento das massas de ar, umidade relativa do ar, altura, temperatura, latitude e poluição, aliado ao tamanho continental do seu território, que o levam a estatística de país com maior quantidade de descargas atmosféricas no mundo. Segundo o Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), cerca de 77,8 milhões de descargas para o solo ocorrem por ano em território brasileiro (INPE, 2021).

Como, em suma, os raios são uma corrente elétrica conduzida pelo ar, é possível criar maneiras de proteger vidas e estruturas contra esse fenômeno da natureza. No Brasil, a parametrização e definição das normas relacionadas à proteção contra descargas atmosféricas foi construída pela ABNT NBR 5419 com sua última edição atualizada em 2015.

Consequentemente, este trabalho tem como objetivo geral fazer uma análise e verificação, a luz da atualização de NBR 5419-2015, da conformidade do SPDA do Refeitório do IFG – Campus Itumbiara, incluindo nesta análise o gerenciamento de riscos. Assim, os seus objetivos gerais são:

- Estudo sobre os pontos principais de formação de nuvens com potencial para a ocorrência de descargas atmosféricas;
- Análise sobre as descargas atmosféricas dentro do território brasileiro;
- Apresentação dos conceitos da NBR 5419-2015 que serão utilizados nas análises do estudo de caso;
- Estudo de caso a partir da aplicação dos novos conceitos da NBR 5419-2015, ao Refeitório do IFG – *Campus Itumbiara*.

Portanto, através do entendimento das descargas atmosféricas, da sua densidade e distribuição pelo território brasileiro, as características da norma vigente para a proteção de estruturas e a sua aplicação em um caso real, esse trabalho demonstra a importância da NBR 5419-2015 e a sua aplicação em um caso real.

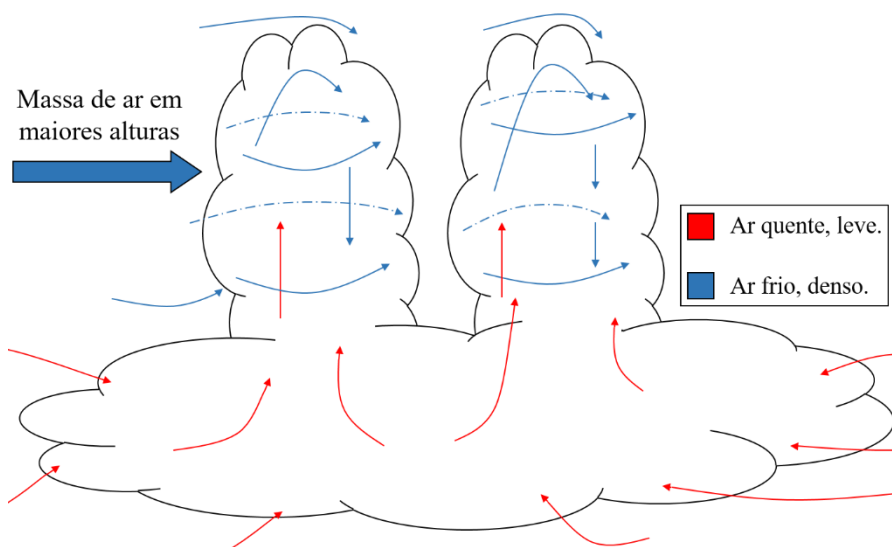
2. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

As descargas atmosféricas nuvem-solo (NS), ou solo-nuvem (SN), denominado como raios, são fenômenos que ocorrem em um curto espaço de tempo, mas que trazem consigo um grande potencial de ameaça à vida, estruturas e a sistemas eletroeletrônicos. Normalmente, podem ser avistados quando há nuvens de tempestades com alta precipitação e acompanhadas de ventos fortes.

A formação do potencial para a ocorrência de relâmpagos, denominação que engloba as descargas intra-nuvem (IN), entre-nuvem (EN), no ar (AR), SN e NS ocorre em tipos especiais de nuvens as *Cumulonimbus* (NACCARATO, 2006). Esses aglomerados de vapor d'água e cristais de gelo se formam na troposfera (até 20 km do solo), entre 200 m até 13 km de altura, crescendo verticalmente para cima (COTTON, BRYAN e VAN DEN HEEVER, 2011).

O ar quente próximo à superfície terrestre é leve e tende a ascender. Em maiores alturas, correntes de ar se colidem com a massa de ar quente e úmida ascendente, como mostrado na Figura 1. As gotículas de água começam a se condensar quando se aproximam da parte superior da nuvem, transformando-se em água super-resfriada e cristais de gelo.

Figura 1: Convecção na formação de uma nuvem.



Fonte: elaborado pelo autor.

No ambiente microscópico do ar, além de vapor d'água e sua forma cristalizada, são encontrados majoritariamente Nitrogênio (N), Oxigênio (O) e aerossóis (partículas finíssimas em suspensão) (SIMOMURA, 2020). Parte das moléculas presentes estão ionizadas (eletricamente carregadas) devido à incidência de radiação cósmica primária e secundária em maiores alturas.

Esta gama de partículas e moléculas é a responsável pela condutividade do local que, de forma sucinta, é a facilidade com que o material, neste caso o ar, tem de conduzir uma corrente elétrica. Em atmosferas superiores, entre 50 até 120 km (SIMOMURA, 2020), a alta incidência de radiação cósmica primária culmina em uma maior quantidade de moléculas ionizadas, consequentemente aumentando a condutividade.

Já nas atmosferas média e inferior (menores que 50 km), local onde as *Cumulonimbus* se desenvolvem, as moléculas têm menor índice de ionização. A radiação primária perde sua energia se chocando com moléculas em maiores alturas, se transformando em radiação secundária de menor teor energético. Portanto, a produção de íons é ligada diretamente com a altitude e latitude da localização, devido ao campo eletromagnético da terra (SIMOMURA, 2020).

Quando a nuvem chega a seu estado de maturação, a água que é esfriada em menores alturas cria uma área com baixa temperatura e, a partir disso, rajadas de ventos que elevam ainda mais o ar quente e úmido (COTTON, BRYAN e VAN DEN HEEVER, 2011). Assim, áreas de baixa e alta pressão são geradas dentro da nuvem criando um ar instável que tende a se revolver.

Segundo Cotton, Bryan e Van Den Heever (2011), a duração média da precipitação e atividade elétrica de uma nuvem de tempestade é de aproximadamente 30 min. Em *Cumulonimbus* de maior extensão a carga é gerada e separada em um volume entre -5 até -40°C com um raio de aproximadamente 2 km. As cargas negativamente carregadas se centralizam entre menores alturas com temperaturas entre -10 e -20°C com as positivas, quilômetros acima (Figura 2).

Uma quantidade suficiente de carga deve ser gerada e separada para fornecer o primeiro relâmpago entre 20 minutos desde o início da precipitação da nuvem. Além disso, de acordo com Cotton, Bryan e Van Den Heever (2011), ainda é discutido pela academia qual seria o processo de eletrificação da nuvem para no final o surgimento do relâmpago.

Várias teorias sobre esta eletrificação foram desenvolvidas com o passar do tempo sendo as duas mais aceitas na comunidade científica (1) a de eletrificação por convecção e (2) a teoria de eletrificação de partículas (NACCARATO, 2006).

Estas teorias podem ser subdivididas em cargas produzidas através da indução e no processo de eletrificação não-indutiva pelo atrito entre o granizo e o *graupel* (Grãos de gelo). Os grãos de gelo, segundo Naccarato (2006), são partículas micrométricas (entre 2 a 5 mm) formadas a partir dos cristais de gelo no processo de agregação de gotículas de água super-resfriada em sua superfície.

A teoria de carregamento por indução consiste na movimentação de elementos menores, carregados positivamente, que são elevados para porções superiores da nuvem, enquanto elementos negativamente carregados (de maiores diâmetros) se encaminham para as partes inferiores levando à uma polarização da nuvem.

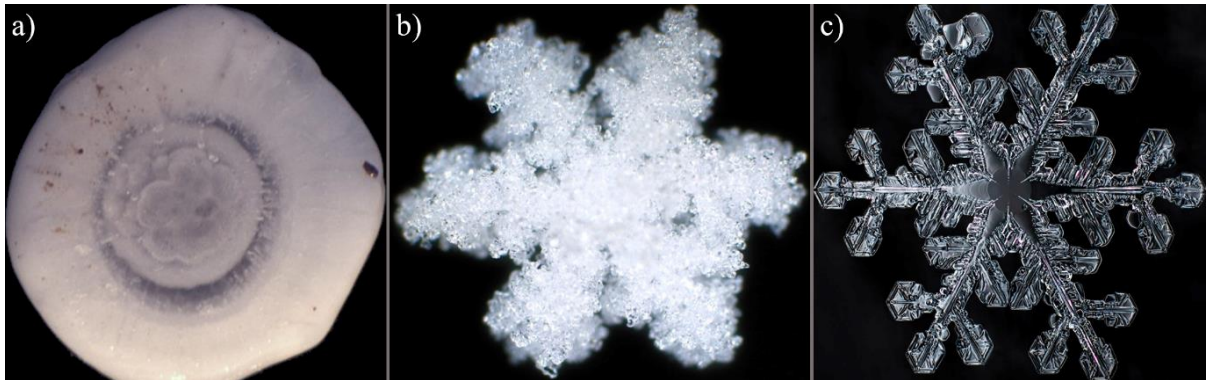
Illingworth e Lathan (1997) concluíram que este mecanismo de indução necessita de uma grande frequência de colisões entre as partículas da nuvem sendo uma condição comum para situações de choque entre partículas de gelo com gelo. Além disso, como o tempo de contato entre as partículas é reduzido há pouca promoção de movimentação de cargas (NACCARATO, 2006)

Segundo Naccarato (2006), o problema com o mecanismo indutivo é a não constatação da presença de partículas altamente carregadas nos primeiros estágios da eletrificação da nuvem. Dessa forma, o processo de eletrificação pelo meio indutivo sozinho não consegue fazer a eletrificação completa de nuvens de tempestade.

O processo não indutivo ocorre durante colisões entre partículas nas quais ocorre transferência de carga independentemente da intensidade do campo elétrico local (NACCARATO, 2006). Segundo Cotton, Bryan e Van Den Heever (2011), é possível verificar, a partir de um número considerável de evidências, que a presença de grãos de gelo esta diretamente relacionada com a ocorrência de separação entre as cargas em nuvens de tempestade.

A colisão entre o granizo (Figura 3. a), grãos de gelo (Figura 3. b) e cristais de gelo (Figura 3. c) devido ao ar instável faz com que áreas positivamente carregadas acumulem na parte superior, enquanto as negativas são repelidas para a parte inferior, produzindo relâmpagos (DEHN und SÖHNE, 2014). O processo de eletrificação, corroborada por experiências laboratoriais e de campo, depende da temperatura ambiente, da velocidade de impacto entre os elementos e também do tamanho dos cristais de gelo (NACCARATO, 2006).

Figura 3: a) Granizo b) Grãos de gelo c) Floco de neve.



Fonte: imagens da internet.

Em observações feitas por Pakiam e Maybank (1975) mostram que se a nuvem tem pouca profundidade (entre 6 a 7,5 km) esta apresentará uma baixa frequência de relâmpagos. Se a instabilidade termodinâmica da nuvem é maior a tempestade fica melhor organizada com sua parte superior (entre 7,5 a 12 km de altura) produzindo mais grãos de gelo e granizo, consequentemente, aumentando a frequência de relâmpagos.

Se a instabilidade é ainda maior há o aparecimento de uma grande incidência de tração no topo da nuvem (formação da bigorna na Figura 2) pelas massas de ar de grande altitude (maiores que 12 km) e, portanto, intensificam a formação de granizo. Com isso, a frequência de relâmpagos é aumentada, chegando em 35 relâmpagos/min em sistemas de cinco ou mais células de nuvens de tempestade. Células isoladas podem produzir cerca de 2 a 3 relâmpagos/min (COTTON, BRYAN e VAN DEN HEEVER, 2011) (PAKIAM e MAYBANK, 1975).

Por fim, segundo Cotton, Bryan e Van Den Heever (2011), as evidências observadas até agora não são conclusivas o bastante para ditar qual das duas teorias estão corretas. No entanto, sabe-se que dados observacionais e a modelagem tendem para uma teoria de carregamento por precipitação não indutiva de grãos de gelo-granizo.

Mesmo que não haja um consenso na academia de como é o processo de eletrificação das nuvens, é um fato que os relâmpagos ocorrem. Para que o meio, neste caso o ar, sirva como um condutor de corrente elétrica é necessário que as cargas tenham um potencial elétrico alto o bastante para quebrar o dielétrico do ar.

No entanto, mesmo que haja 250 anos de pesquisas dedicados a esta área, os detalhes da iniciação de um relâmpago permanecem desconhecidos (TILLES et al., 2019). A rigidez dielétrica do ar ao nível do mar exige um campo elétrico de aproximadamente 3000 kV/m para

ser rompido, enquanto em um local com 6 km de altitude este valor chega à, aproximadamente, 1600 kV/m (MARSHALL, MCCARTHY e RUST, 1995).

Os valores de campo elétrico necessários para a condução são influenciados diretamente pela temperatura e pressão do local, pela frequência em que o campo está sendo aplicado e, para este caso, a umidade relativa do ar.

Segundo Marshall e Rust (1991), o campo elétrico medido dentro de nuvens de tempestades se aproximam no máximo dos 150 kV/m. Logo, apenas com o potencial de separação das cargas seria impossível que ocorresse um relâmpago pela quebra do dielétrico do ar, independentemente da altura.

No entanto, aparentemente, a resposta para esse problema está no comportamento microscópico dos elétrons quando sob efeito do campo elétrico da nuvem. Através de dados observacionais descobriu-se que logo antes do relâmpago é possível detectar ondas de raio X (MARSHALL e RUST, 1991).

Além disso, em cálculos feitos por McCarthy e Parks (1992), foi descoberto e mensurado o campo elétrico para a ocorrência de um *breakeven*, ou seja, a intensidade necessária para que a energia de um elétron energético (1 MeV) se mantenha constante enquanto ganha energia do campo elétrico e, logo após, colida-se com outras moléculas.

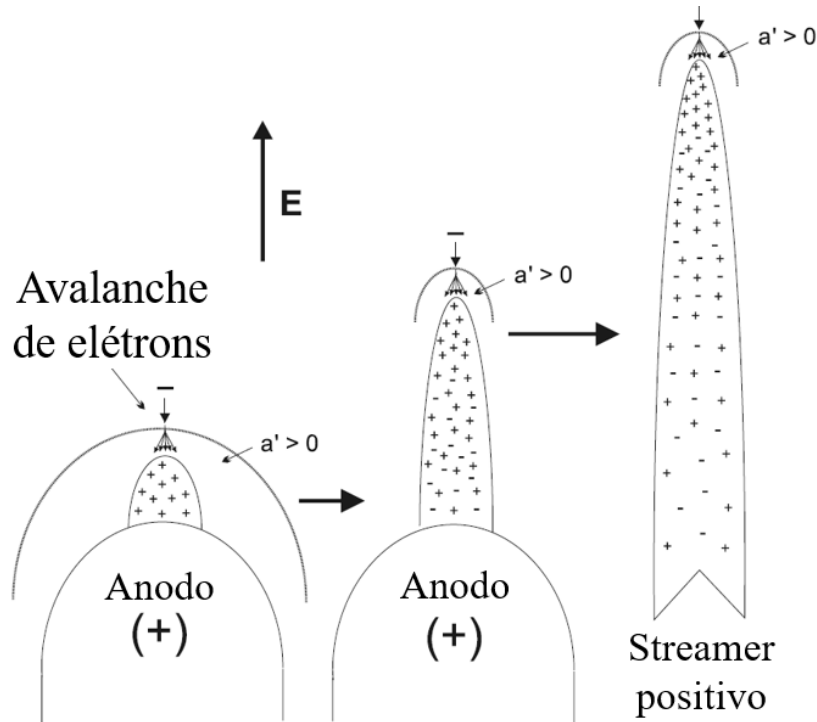
A hipótese, segundo Marshall e Rust (1991), é que eventualmente um elétron ganhe energia cinética o suficiente através do *breakeven*, para que possa se chocar com outra molécula produzindo um novo elétron energético através de colisão ionizante. Com isso, um efeito avalanche de elétrons energéticos pelo material da nuvem seria o suficiente para o início de um relâmpago. Essa avalanche é nomeada de líder da descarga atmosférica.

Por outro lado, Phelps (1974) construiu a hipótese de que líderes positivos aparecem em campos elétricos que sofrem uma intensificação, onde a carga positiva aumenta enquanto aglomera o excesso de cargas negativas em sua liberação (PETERSEN et al., 2008).

Como esta liberação ocorre em um gás (ar), quando um campo elétrico é suficientemente forte para empurrar uma densidade de cargas, este iniciará uma avalanche de elétrons. No instante da avalanche, líderes positivos atraídos pela carga negativa aparecerão e, caso esteja em um campo elétrico suficientemente forte, esse processo pode continuar sem decrescer sua intensidade (PETERSEN et al., 2008). No final, um espaço positivamente carregado se

propagará pelo *gap* do eletrodo sendo nomeado de *Streamer* positivo, como demonstrado na Figura 4.

Figura 4: *Streamer* positivo.



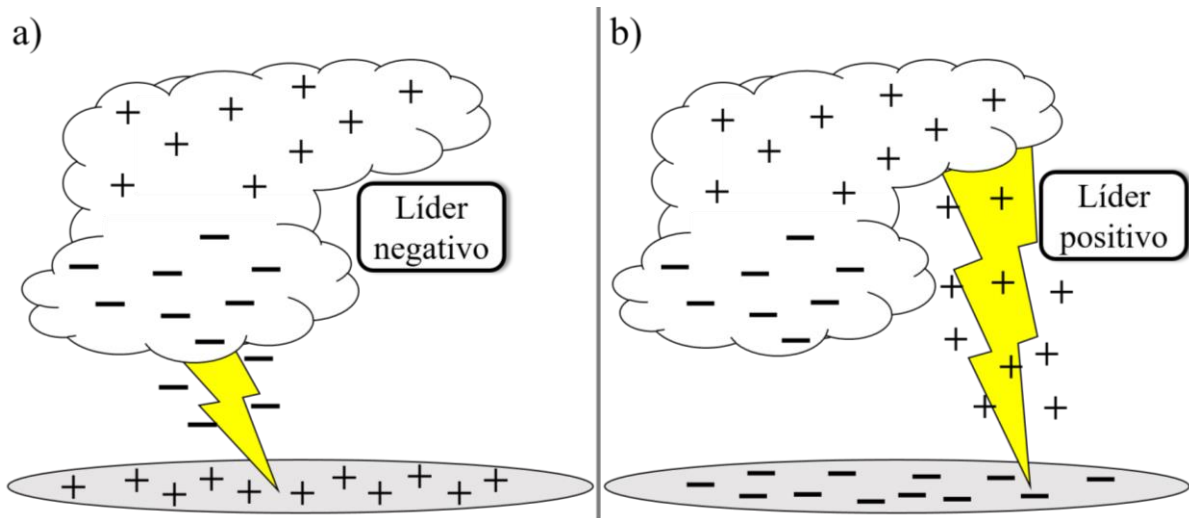
Fonte: adaptado de PETERSEN et al., 2008.

Novamente, mesmo que exista discussões na academia sobre o início de um relâmpago, é um fato observável que este fenômeno existe. O foco nesse trabalho será o raio, ou seja, a descarga atmosférica que se dá da nuvem para o solo, ou do solo para a nuvem.

Segundo Dehn und Söhne (2014), a descarga NS tende a ocorrer em superfícies de baixa altitude e próximas a prédios mais baixos. O tipo mais comum deste raio é com um líder negativo saindo da nuvem e indo para a terra, como na Figura 5a. Este se propaga em uma velocidade de aproximadamente 300 km/h em saltos de 10 metros.

O segundo tipo, com o líder positivo, se inicia da parte superior da nuvem como mostrado na Figura 5b, com a probabilidade de ocorrência de apenas 10% em relação a quantidade total de raios NS. A relação de 90% de líder negativo para 10% de positivo varia com a localização geográfica.

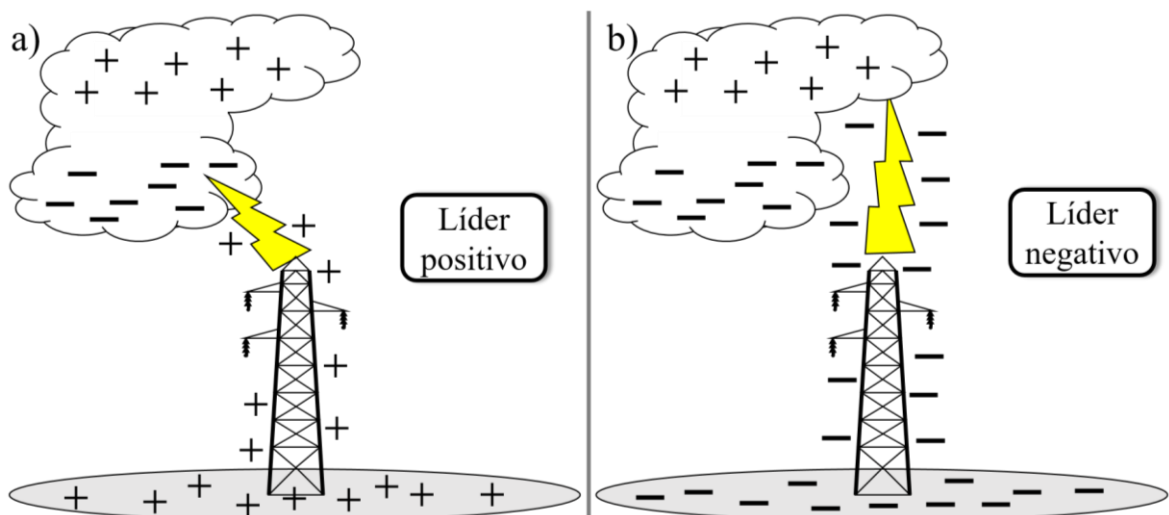
Figura 5: Descarga nuvem-solo. a) Líder negativo b) Líder positivo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Por outro lado, a descarga SN normalmente ocorre em locais de maior altitude (montanhas, torres de telecomunicação, turbinas eólicas). Segundo Dehn und Söhne (2014), o campo elétrico necessário para iniciar um líder não é alcançado na nuvem em si, mas sim em um objeto que esteja exposto e associado a este campo. Essa descarga pode ser tanto positiva (Figura 6a), como negativa (Figura 6b), partindo do solo passando pelo objeto e atingindo, finalmente, a nuvem.

Figura 6: Descarga solo-nuvem. a) Líder positivo b) Líder negativo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Quando um líder se conecta seja ele com o solo, uma estrutura, ou a nuvem, um canal condutor de elétrons é estabelecido. O ar neste caso funciona como um fio condutor, mas a condução não se dá apenas pelos portadores de elétrons, e sim por uma gama de portadores positivos, negativos e de elétrons livres (produto da radiação secundária ionizante).

Através da avalanche destes elétrons livres e portadores, elétrons que antes estavam atraídos pelos núcleos das moléculas presentes no ar (N e O) recebem energia o suficiente para romperem a força de atração com o núcleo, emitindo radiação eletromagnética visível. Este processo de ionização do ar é conhecido como um dos estados da matéria: o plasma.

A condução iônica é dada de forma rápida com uma alta liberação de energia, em poucos segundos as cargas próximas ao canal são em sua maioria neutralizadas. Além disso, com este canal aberto e o atrito dos elétrons com os núcleos das moléculas é gerado calor, atingindo temperaturas máximas de 30.000 °C em um tempo de 10 ms (SIMOMURA, 2020).

Este aquecimento repentino faz com que as moléculas presentes no ar próximas ao canal se agitem rapidamente criando uma onda de choque supersônica. A onda sonora intensa se afasta do canal em todas as direções, com frequências entre 50 a 100 Hz, sendo conhecida como trovão.

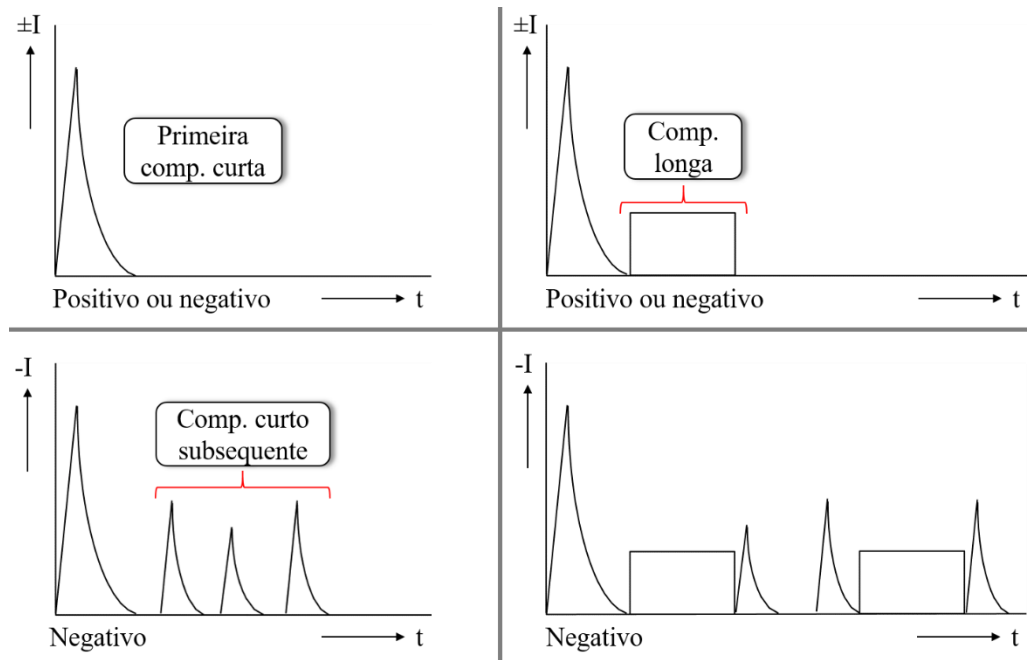
Mas, o processo de condução pelo canal e neutralização de cargas não ocorre em apenas uma única descarga. As cargas próximas ao canal saem da nuvem em “levas”, já que nem sempre a totalidade destas estão em conjunto com líder da descarga. Dessa forma, é criado uma gama de comportamentos no momento de descarga.

A distinção é feita pela classificação de componentes de curta duração (≤ 2 ms) e de longa duração (> 2 ms). Além da duração, também são feitas classificações quanto a sua polaridade e a sua posição temporal na descarga atmosférica (primeira componente, componente subsequente e superposta) (DEHN und SÖHNE, 2014).

O comportamento no objeto que foi atingido muda para cada tipo de combinação entre os tipos das descargas. As Figura 7 e 8 são uma padronização do comportamento das descargas atmosféricas. A partir destes gráficos são planejados e desenvolvidos os parâmetros dos níveis de proteção contra descargas atmosféricas.

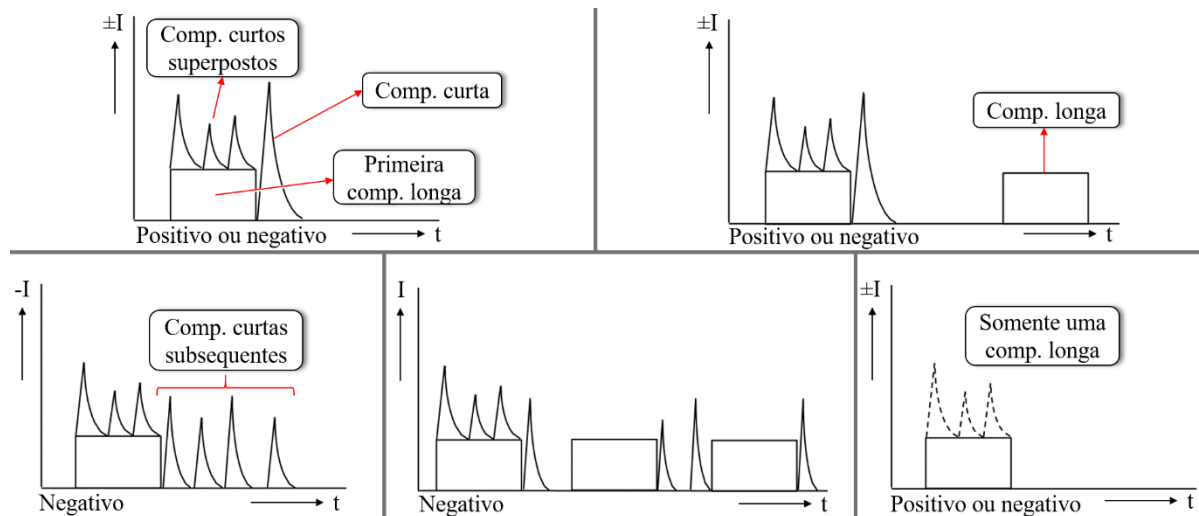
Os níveis de proteção (NP) variam de I até IV. O NP I conta com uma proteção prevista para um nível de corrente pico de 200 kA, enquanto o NP IV para 100 kA. O capítulo 4 será o responsável por detalhar os efeitos destes comportamentos sobre os equipamentos de proteção contra os raios.

Figura 7: Possíveis componentes em uma descarga NS.



Fonte: adaptado de IEC 2618/10.

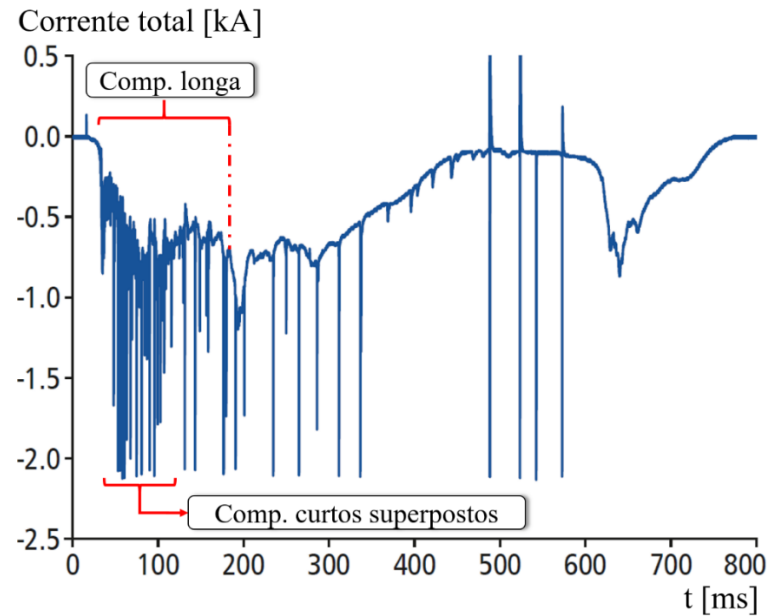
Figura 8: Possíveis componentes em uma descarga NS, outros tipos.



Fonte: adaptado de IEC 2618/10.

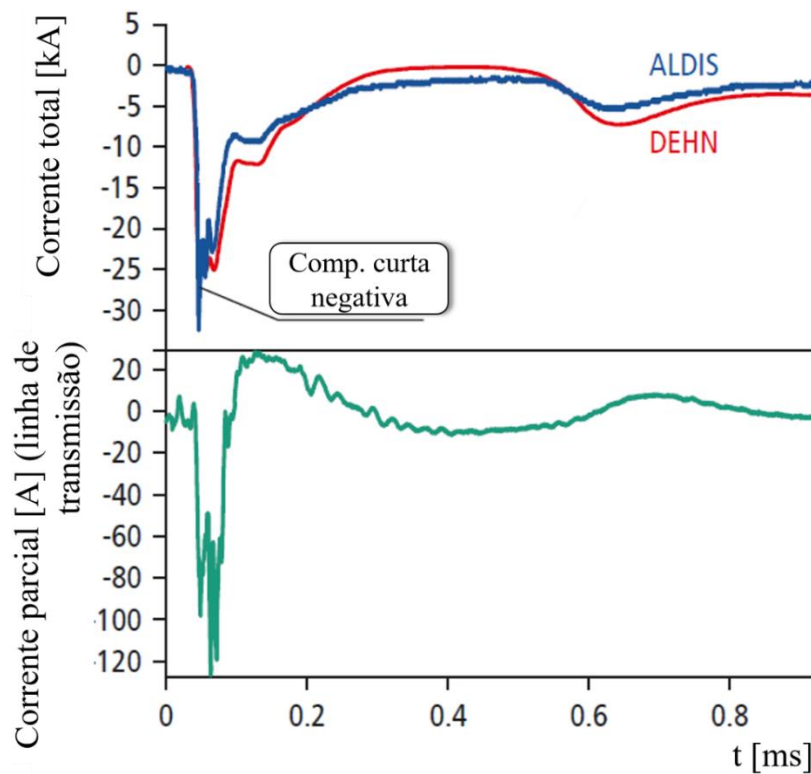
As Figuras 9 e 10 mostram o real comportamento das descargas. Estes dados são fornecidos pelo grupo de pesquisa austríaco ALDIS, que conta com uma estação de medição instalada em uma montanha próxima a Salzburg, na Áustria (DEHN und SÖHNE, 2014). Segundo Dehn und Söhne (2014), tais gráficos demonstram que o comportamento real se aproxima das correntes previamente parametrizadas propostas pela IEC.

Figura 9: Descarga ascendente, com carga de aproximadamente 405 C (A.s).



Fonte: adaptado de DEHN und SÖHNE, 2014.

Figura 10: Descarga descendente.



Fonte: adaptado de DEHN und SÖHNE, 2014.

O caminho ao qual a corrente do raio passará é aquele que fornece a menor resistência para a passagem dos elétrons. Como no ar existem áreas com diferentes condutividades, o canal condutor NS ou SN não será uma reta, portanto o plasma aparecerá em uma forma tortuosa muitas vezes com ramificações, assim como na Figura 11.

Figura 11: Raio NS com ramificações.

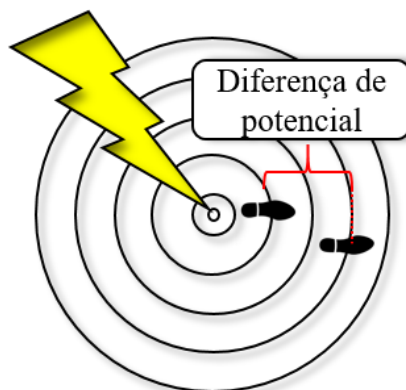


Fonte: imagem da internet.

O líder do raio NS, quando mais próximo ao chão, tende a ir ao encontro do objeto ao qual fornecerá a menor resistência para sua condução. Portanto, o canal de descarga pode ser uma árvore, uma torre de transmissão de energia elétrica, ou até o material de uma para-raio conectado a um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

Segundo Dehn und Söhne (2014), a corrente de um raio pode ser considerada como uma fonte de corrente ideal. Com isso, haverá uma queda de tensão pelo material condutor, ao qual criará um gradiente de potencial elétrico. Caso o raio atinja a terra e essa tenha um alto grau de condutividade, uma tensão de passo é formada e pode culminar em choque elétrico vindo a atingir seres vivos. Este fenômeno é nomeado de tensão de passo (Figura 12).

Figura 12: Tensão de passo.



Fonte: elaborado pelo autor.

No caso de atingir uma estrutura com SPDA, o sistema será responsável por mitigar quaisquer danos possíveis provindos de um raio, portanto, diminuirá o gradiente e fornecerá um melhor caminho para que a carga se dissipe na terra. As suas características serão melhor exploradas no Capítulo 4.

Do ponto de vista apenas do SPDA externo (para-raios, condutor de descida e aterramento) o líder da descarga tenderá a se conectar com a superfície das hastes de metal presentes no para raio. Como o comportamento do raio é variável no tempo (Figuras 7 e 8), o condutor de descida deve seguir em linha reta o máximo possível, desde o para raio até a haste de aterramento, para que não ocorra o processo de indução em componentes elétricos dentro da construção.

Além disso, a carga (Q) provinda do raio (Equação 1) pode danificar o condutor. Segundo Dehn und Söhne (2014), a carga é definida entre aquela gerada por uma corrente de componente longa (Q_{longa}) e a aquela por uma componente curta (Q_{curta}) (Figura 13), apresentando diferentes impactos no material.

$$Q = \int i \cdot dt \quad (1)$$

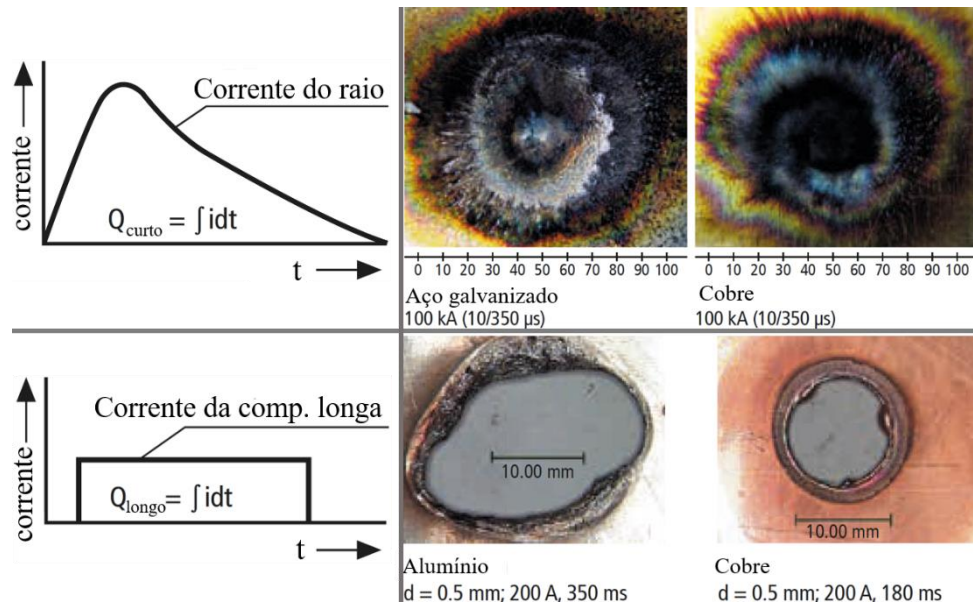
A energia (E) é o produto da carga da corrente pela diferença de potencial entre o anodo e o catodo do material (DEHN und SÖHNE, 2014), como demonstrado pela Equação 2.

$$E = Q \cdot V \quad (2)$$

Com isso, o material que é atingido pelo raio tem um aumento na temperatura pelo atrito dos elétrons fazendo com que haja derretimento (Figura 13) e, por fim, problemas relacionados ao fator de proteção nos elementos de isolação e proteção do sistema.

Portanto, os raios devem ser estudados para saber o seu comportamento e suas possíveis consequências para a vida, para estruturas e para sistemas eletrônicos. Algumas características intrínsecas a este fenômeno ainda não são conhecidas pela comunidade científica. A primeira delas é o processo da divisão das cargas dentro da nuvem, com a teoria do atrito por grãos de gelo-granizo sendo a mais aceita.

Figura 13: Derretimento dos materiais quando sob ação das grandes correntes.



Fonte: adaptado de DEHN und SÖHNE, 2014.

Além disso, também não se conhece o processo de início da descarga atmosférica, com sua provável resposta vinda de uma situação microscópica, onde elétrons submetidos ao campo elétrico dentro da nuvem ganham energia o suficiente para iniciar uma avalanche de elétrons e culminar no relâmpago.

A classificação dos raios quanto a NS e SN, sua polaridade e componentes, auxiliam na produção de sistemas de proteção. Estas estruturas devem receber visitas de rotina devido à alta energia destrutiva carregada pelos raios, podendo culminar em derretimento e rompimento dos cabos componentes da proteção.

Finalmente, como não há como prever com precisão e confiabilidade o local exato em que um raio atingirá uma área, estudos são feitos considerando a densidade de descargas atmosféricas em uma região. A partir disso, é possível saber a vulnerabilidade de objetos, animais ou estruturas quando estão dentro dessa área. O estudo sobre densidade de descargas atmosféricas é explorado no Capítulo 3.

3. DENSIDADE DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NO BRASIL

A densidade de descargas atmosféricas, como o nome sugere, é a quantidade de raios dentro de uma região específica em um espaço de tempo previamente determinado. Normalmente, os cálculos são feitos em descargas por km² em um ano. Com essa informação é possível ter uma melhor compreensão da vulnerabilidade, quanto a este fenômeno, para uma determinada área.

Como destacado no Capítulo 2, tanto a temperatura, quanto a umidade influenciam em uma maior ocorrência de relâmpagos. No Brasil, um país continental, existem diferentes tipos de clima e, conseqüentemente, diversos tipos de densidades de descargas para cada região.

Segundo Alvares (2013), a climatologia no Brasil vem sendo estudada a mais de 140 anos. No caso brasileiro, a dimensão territorial de 851.148.770 ha (1ha = 100km²) exige uma dispersão de estações meteorológicas para que se tenha precisão e para que as análises apresentem variações climáticas em um nível panorâmico.

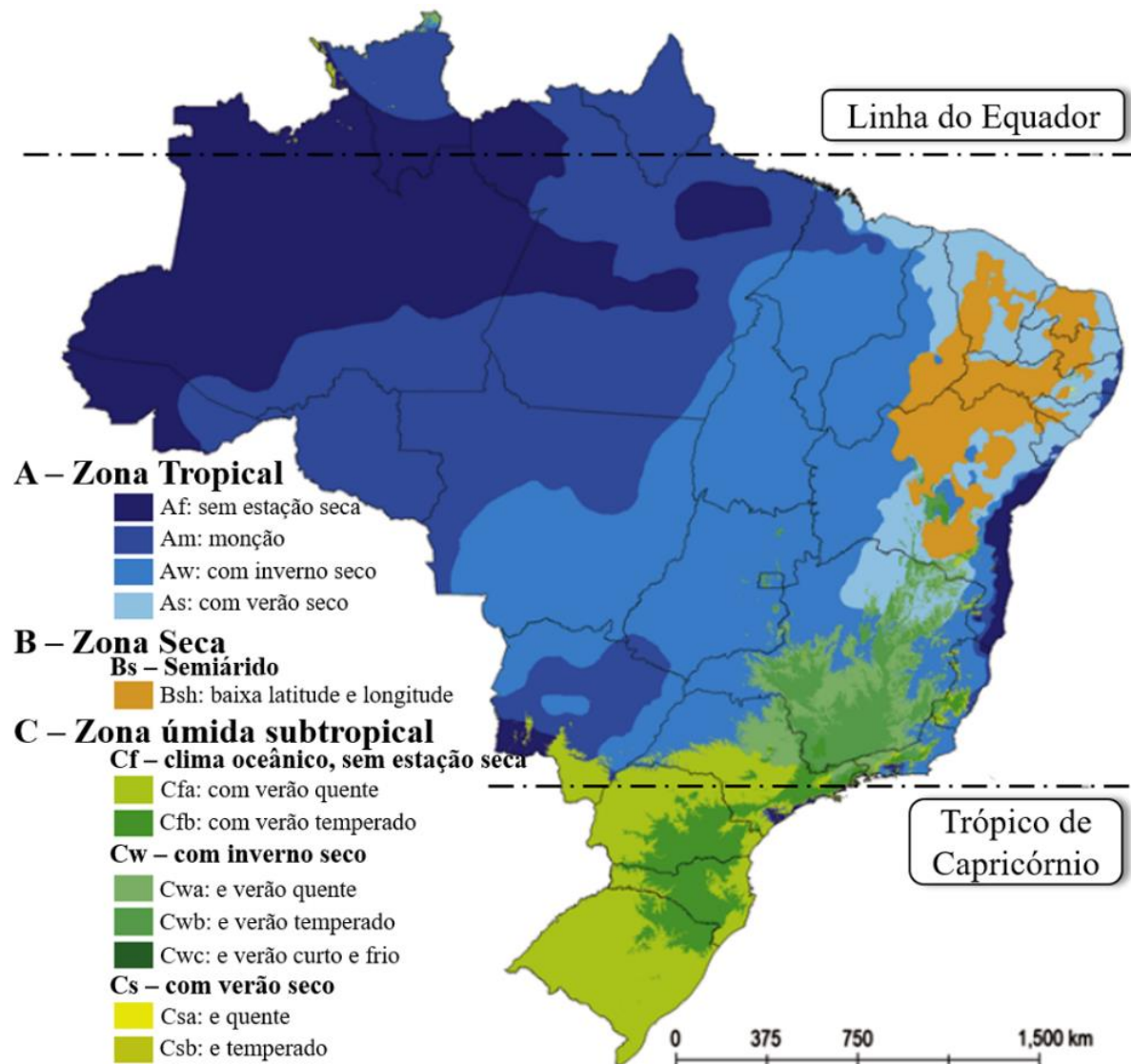
Um dos sistemas de classificação de tipos climáticos é a de Köppen-Geiger sendo uma das mais utilizadas por profissionais das áreas de climatologia e geografia. A Figura 14 mostra a classificação do clima do Brasil seguindo este sistema.

O Brasil apresenta três tipos principais de zonas de temperatura: (A) a Zona tropical, (B) a Zona Seca, especificamente o semiárido nordestino, e (C) a Zona úmida subtropical. Cada zona representa um grupo com seus respectivos subtipos, aumentando ainda mais a compreensão sobre o clima regional.

A zona tropical ocupa, segundo Alvares (2013), 81,4% do território brasileiro e ocorre em todas as regiões exceto nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e uma grande parte do Paraná. Esse clima é predominante na maioria do território, pois essas áreas não apresentam fatores limitantes como altitude, chuvas e temperatura para impor outras zonas climáticas (ALVARES, 2013).

A zona seca semiárida é típica do nordeste brasileiro, cobrindo 4,9% do território. Por último, o clima subtropical cobre 13,7% do território, majoritariamente, na região sul do Brasil nos seus platôs e montanhas (ALVARES, 2013).

Figura 14: Classificação do clima do Brasil.

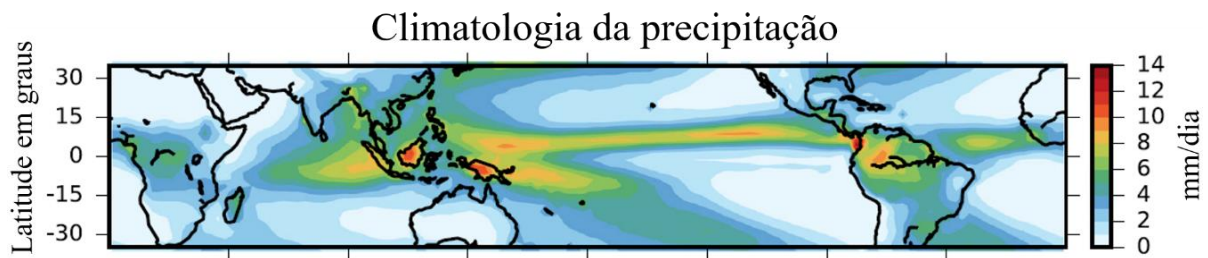


Fonte: adaptado de Alvares, 2013.

O comportamento do clima e precipitação no Brasil são impactados por três sistemas de massas de ar diferentes que tem uma abrangência tanto local, quanto global. O primeiro deles é a zona de convergência intertropical, *Intertropical Convergence Zone* (ITCZ), que segundo Byrne et al. (2018), é uma região de escala planetária de alta precipitação próxima à linha do Equador, sendo esta a responsável por 32% das chuvas globais.

De acordo com Waliser e Jiang (2015), esta é uma área de baixa pressão permanente onde os ventos contam com uma alta umidade e temperatura, convergindo para um alto grau de convecção, precipitação e nebulosidade, o último ainda contribui para o efeito albedo da Terra. A sua configuração e comportamentos são mostradas na Figura 15.

Figura 15: Representação do comportamento da ITcZ.



Fonte: adaptado de BYRNE et al., 2018.

O segundo são os sistemas convectivos de mesoescala, *Mesoscale Convective Systems* (MCS), que segundo Houze (2004) são grandes nuvens de gelo que emanam de ciclones tropicais, e extratropicais, e de grandes tempestades convectivas. Uma descrição simples das MCSs inclui os sistemas de *Cumulonimbus* que produzem precipitação em áreas de 100 km² em pelo menos uma direção, com a característica de contarem com diferentes camadas de precipitação.

A última são os comportamentos da brisa marítima. Segundo Miller et al. (2003), os sistemas de brisas marítimas (SBS) ocorrem por todas as regiões costeiras do mundo, onde o aquecimento dos continentes ocorre em um menor espaço de tempo em relação ao do mar. A partir da diferença de temperatura, uma diferença de pressão direciona massas de ar para o interior dos continentes podendo resultar em tempestades, mudanças na qualidade do tempo e amenização da temperatura local.

Das Figuras 14 e 15, e com o conhecimento sobre o comportamento dos sistemas de ar, é possível fazer análises quanto ao tema em questão: descargas atmosféricas. O estado do Amazonas, por exemplo, tem 82,3% de seu território dentro da zona tropical sem estação seca (ALVARES, 2013).

Assim, uma hipótese seria que essa região possa ter uma alta atividade de descargas atmosféricas devido à alta umidade e temperatura dessa região. Entretanto, mesmo com o conhecimento sobre a temperatura, chuvas e da classificação climática do Brasil é impossível prever com precisão a densidade real dos relâmpagos.

Para solucionar esse problema são construídas estações específicas para adquirir dados sobre descargas atmosféricas. No Brasil, as primeiras observações da atividade elétrica começaram em 1960 a partir do nível isoceráunico, que é a quantidade de dias por ano no qual o trovão foi ouvido em uma dada localização (PINTO e PINTO, 2003).

No final da década de 1980, as primeiras observações diretas dos relâmpagos foram feitas na região sudeste por meio de diferentes técnicas: sensores de campo elétrico em balões estratosféricos, torres instrumentadas e através de uma rede de detecção de relâmpagos utilizando a análise de frequências baixas, *Low Frequency* (LF), e frequências muito baixas, *Very Low Frequency* (VLF) (PINTO e PINTO, 2003).

O último método, o de análise pelas frequências, funciona devido ao relâmpago emitir uma alta quantidade de energia em uma frequência entre 1 Hz até próximo dos 300 MHz, com o pico do espectro da frequência próxima aos 5 até 10 kHz em distâncias maiores que 50 km. Além disso, a radiação eletromagnética provinda do relâmpago ainda é detectável em maiores frequências, como por exemplo o micro-ondas (300 MHz até 300 GHz) e em luz visível, próximo aos 10^{14} até 10^{15} Hz (RAKOV, 2013).

Neste escopo, existem três tipos mais comuns de técnicas de localização por rádio frequência. A primeira é o método da direção magnética, que encontra a direção do campo magnético provindo do relâmpago, *Magnetic Direction Finding* (MDF), a segunda o método por tempo de chegada, *Time of Arrival* (TOA), e a última utiliza a interferometria (RAKOV, 2013), com suas descrições detalhadas a seguir:

- MDF: composto de dois círculos, um vertical e outro ortogonal com os planos orientados Norte-Sul e Leste-Oeste (RAKOV, 2013). Cada um mede o campo magnético em uma orientação e são utilizados para obter a direção da fonte do sinal.
- TOA: este é realizado através de um sensor que capta o tempo ao qual uma porção do campo eletromagnético do relâmpago chega na antena, sendo divididos em 3 tipos. O primeiro é o sistema de linha de base muito curto que opera entre dezenas até centenas de metros, o segundo o de linha de base curto, que opera entre dezenas de quilômetros, com ambos operando em frequência muito alta, *Very High Frequency* (VHF), entre 30 Hz até 300 MHz. O último é o sistema por linha de base longa, que capta sinais entre centenas e milhares de quilômetros, operando em VLF e LF. Outro tipo de sistema de linha de base longa é conhecido como sistema de rastreamento e posicionamento de relâmpagos, *Lightning Position and Tracking System* (LPATS), que utiliza um circuito de antenas espalhadas entre 200 a 400 km para determinar o local de descarga através da diferença do tempo de chegada do sinal (RAKOV, 2013).

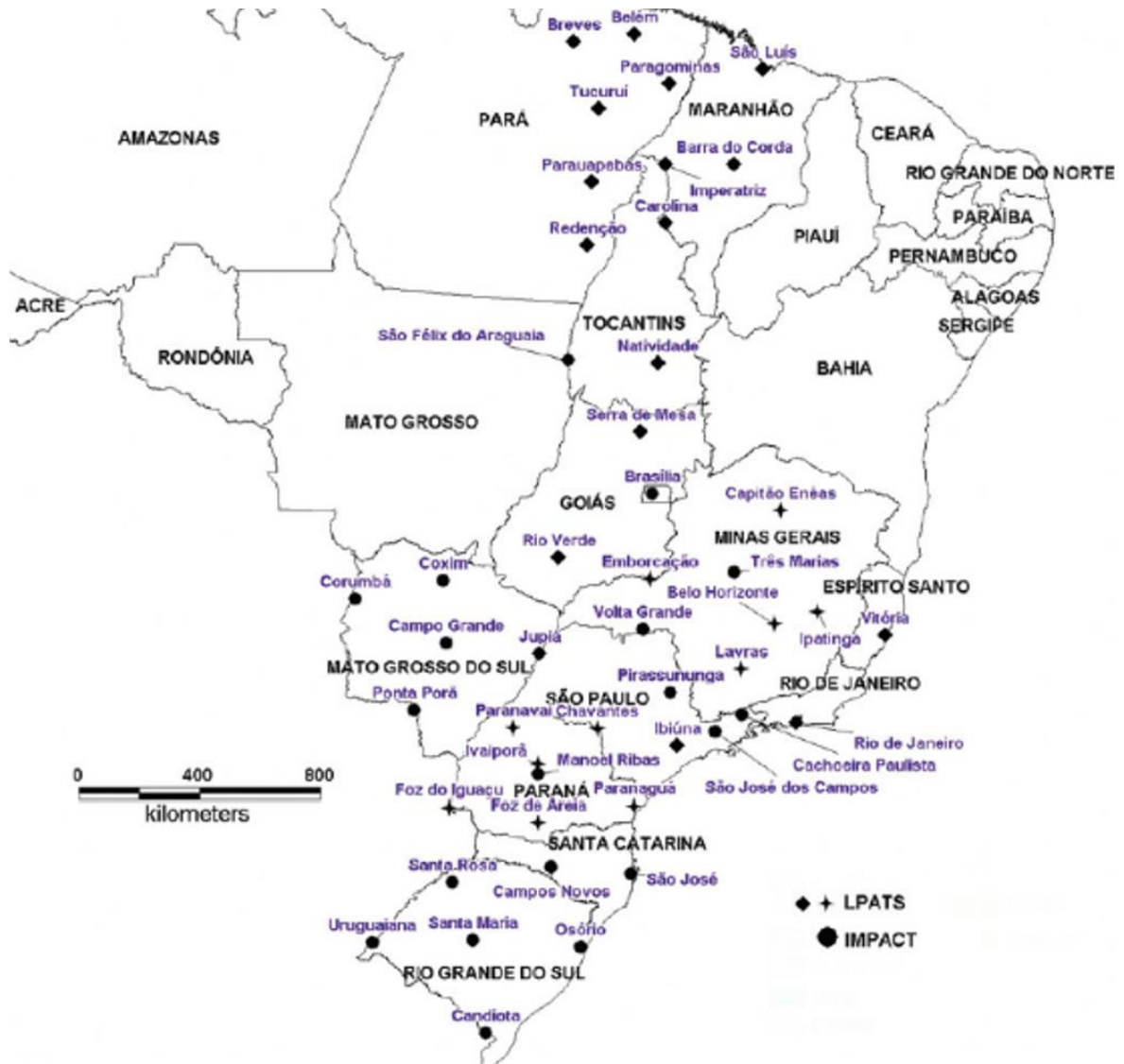
- Interferometria: além de irradiar pulsos isolados, os relâmpagos também produzem explosões de radiação eletromagnética semelhante a ruídos dificultando a ação do TOA para sua identificação. Neste caso, é utilizado um conjunto de antenas conectadas com um receptor com filtro de banda estreita para analisar a diferença de fase entre os sinais que se aparentam com ruídos, assim identificando o relâmpago (RAKOV, 2013).

A partir da década de 1990, segundo Pinto e Pinto (2003), houve uma expansão em sistemas de detecção utilizando sinais LF e VLF. Dessa forma, 23 sensores foram instalados nas regiões sul, sudeste e norte. Em 2006, segundo Pinto (2009), outras redes regionais iniciaram sua operação, com a região norte utilizando doze sensores LPATS e a região sul recebendo dez sensores que combinam as atuações do MDF e do TOA, nomeados de IMPACT *Improved Accuracy and Tracking System*, ou sistema com precisão e localização melhorada.

Segundo Pinto (2009), todas as antigas redes foram unidas em um único sistema, o BrasilDAT dataset, com seus sensores instalados em diferentes cidades e regiões do país (Figura 16). Essa é a terceira maior rede de detecção de descargas atmosféricas do mundo e, de acordo com WebRaios (2020), possui 100 sensores em todas as regiões do país sendo operada com exclusividade pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Além de todos esses sensores instalados dentro do território brasileiro, segundo Naccarato, Albercht e Pinto (2011), um satélite da missão para a medição de chuvas tropicais, *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), conta com um sensor ótico de imagem de relâmpagos conhecido como LIS, *Lightning Image Sensor*, que gera informações sobre todos os relâmpagos sobre os trópicos desde 1997.

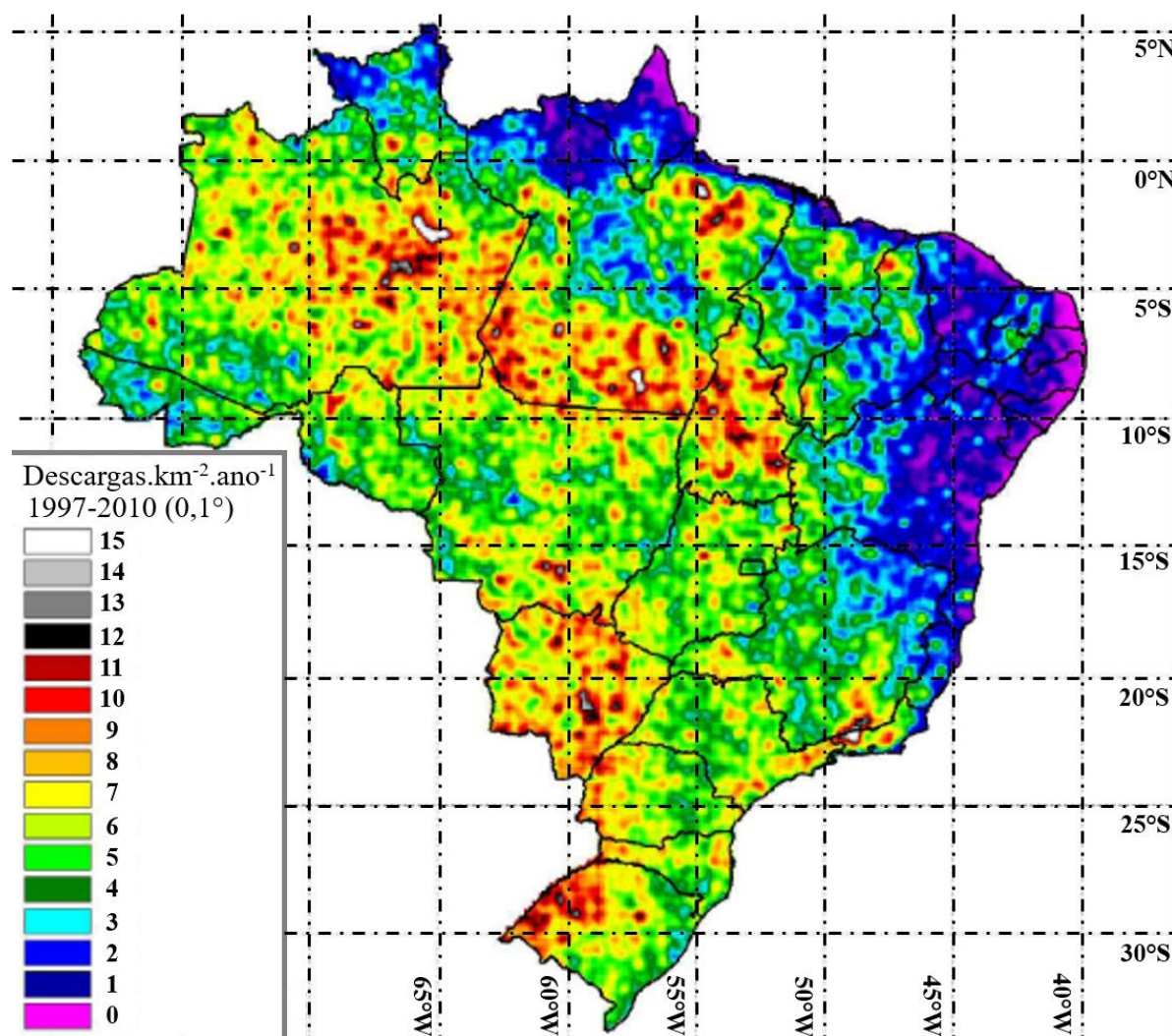
Figura 16: BrasilDAT e o local de instalação de seus sensores.



Fonte: PINTO (2009).

Através da combinação das informações dos relâmpagos, entre os anos de 1998 e 2010, provindos do satélite foi possível gerar com uma precisão de localização de aproximadamente 5 km, um mapa do Brasil com a densidade de raios por km² em um ano com precisão de 0,10° (Figura 17). Como o LIS capta informação de todos os tipos de relâmpagos, se adotou uma proporção de 65% para relâmpagos IN e 40% de raios NS e SN (NACCARATO, ALBERCHT e PINTO, 2011).

Figura 17: Distribuição de descargas atmosféricas pelo território brasileiro.



Fonte: adaptado de NACCARATO, ALBERCHT e PINTO, 2011.

Um paralelo entre as Figuras 14, 15 e 17, mostra nitidamente as influências do clima e do comportamento das massas de ar sobre a densidade de descargas atmosféricas. O clima de regiões como o estado de Mato Grosso do Sul, com Tropical de monção, sobrepõe exatamente acima de uma densidade entre 5 a 15 raios.km⁻².ano⁻¹. No outro extremo, a Zona Seca semiárida do Nordeste demonstra um dos menores corredores de descargas atmosféricas.

Através da divisão do país em 4 regiões diferentes sendo a região (1) a parte oeste do Rio Grande do Sul, (2) a porção oeste do estado do Rio de Janeiro e sul de Minas Gerais, (3) o meio da região de Mato Grosso do Sul e (4) a bacia Amazônica e parte do norte do Brasil, aliado ao conhecimento das distribuições dos sistemas de massas de ar, segundo Naccarato, Albercht e Pinto (2011), as seguintes conclusões podem ser feitas:

- Regiões (1) e (3): relacionadas aos MCS que provém da região argentina e paraguaia;

- Região (2): diretamente relacionada ao comportamento dos SBS provindos do Atlântico;
- Região (4): relacionado ao comportamento do ITcZ na região equatorial. Na região da Amazônia há ainda uma intensificação na atividade elétrica devido à sistemas próprios da região como desflorestamento, queimadas e topografia (NACCARATO, ALBERCHT e PINTO, 2011).

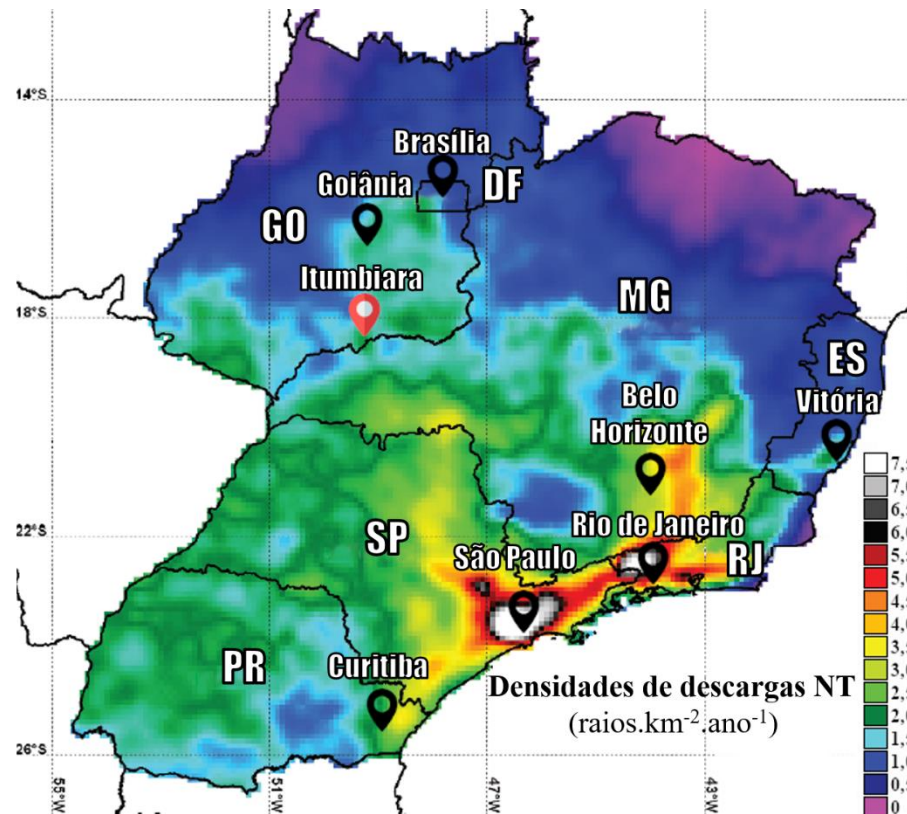
Mas, não apenas temperatura, umidade e topografia local impactam na densidade de cargas atmosféricas. Em estudos recentes pesquisadores mostram que tanto a poluição, quanto as ilhas de calor são responsáveis por intensificações de atividade elétrica, especificamente, em regiões de alta densidade populacional e atividade industrial.

A Figura 18, mostra uma vista detalhada quanto a densidade de descargas atmosféricas dos estados de Goiás, Paraná e a região sudeste brasileira. Das informações climáticas pela classificação de Köppen-Geiger, Goiás está dentro da zona tropical com verão seco, a região sudeste varia entre zona tropical, zona úmida subtropical de clima oceânico e com o inverno seco, enquanto o estado do Paraná varia nas zonas subtropical úmida com verão temperado e quente.

Apenas com os dados climáticos é impossível explicar quais são as causas das regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro demonstrarem uma densidade fora da média (cor branca). Essas duas localizações têm as maiores densidades demográficas e são as regiões mais industrializadas do Brasil.

A região metropolitana de São Paulo conta com uma densidade demográfica de 2.714 hab.km⁻² (RMSP, 2020), enquanto a de Rio de Janeiro conta com aproximadamente 2.291 hab.km⁻² (IBGE, 2020).

Figura 18: Análise da região sudeste e os estados de Goiás e Paraná.



Fonte: adaptado de PINTO, 2009.

Segundo Naccarato, Pinto e Pinto (2003), foi observado através de dados de descargas NS entre os anos 2000 e 2002, que há um aumento de 60 a 100% da densidade de relâmpagos sobre áreas urbanas em relação ao seu entorno.

Esse comportamento é produzido inicialmente por conta da intensificação de chuvas por conta das ilhas de calor (KAR, LIOU e HA, 2009), isso significa que áreas urbanas contam com uma temperatura maior do que as regiões ao seu entorno. Segundo Roth (2007), isso ocorre devido a diferentes fatores como fricção mecânica do ar com as construções, efeitos térmicos induzidos por diferença de temperatura entre edificações, efeitos de sombreamento, variação da radiação incidente nas ruas e redução latente de fluxos de calor.

Além disso, em cidades com uma grande quantidade de aerossóis no ar, que são produtos diretos da poluição, há um incremento de núcleos de condensação no ambiente interno das nuvens. As partículas aerossóis com tamanhos PM10 (diâmetro inferior a 10 μm) e de outros tamanhos, entram em contato as gotículas de água suspensas e aumentam a produção de granizo. Com isso o processo de eletrificação da nuvem é facilitado, aumentando as descargas atmosféricas.

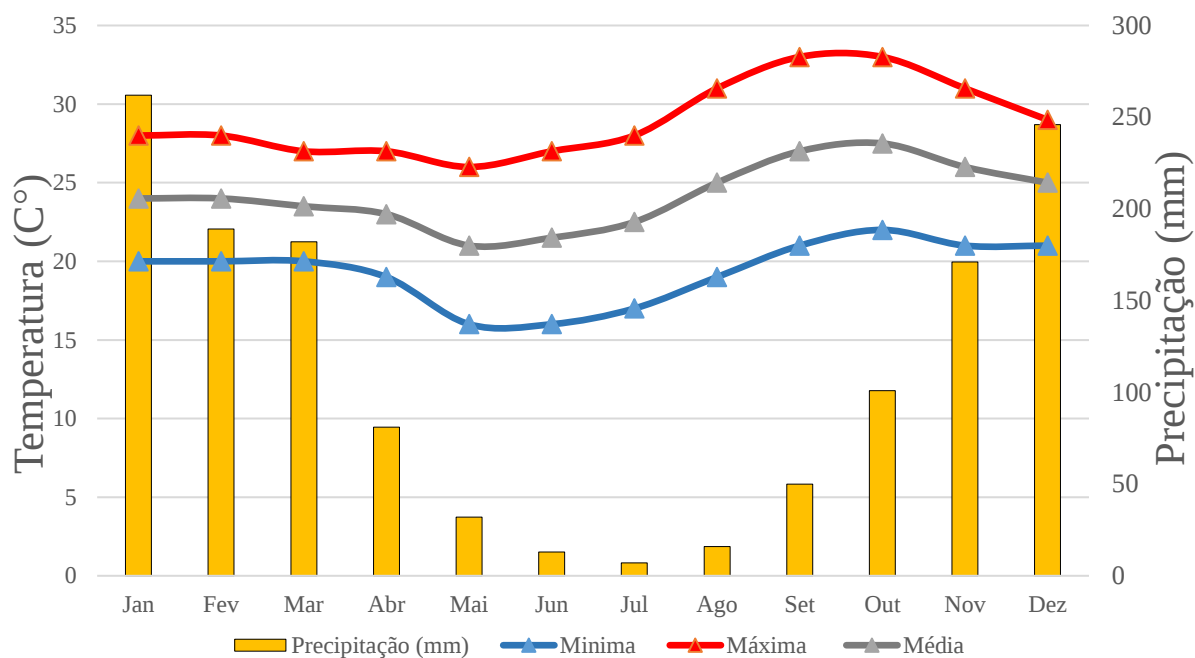
Tais fenômenos não são observados na mesma intensidade na capital do estado de Goiás. Isso é decorrente, além de fatores do ambiente, da menor industrialização em torno da capital, se comparado a metrópoles como São Paulo e Rio de Janeiro. Além disso, segundo Costa, Melo e da Cunha (2015), em 2010 a região metropolitana de Goiânia, que engloba 20 municípios, tinha uma densidade de 297,07 hab.km⁻² sendo um nível distante das outras metrópoles brasileiras.

Isso acarreta em baixa intensidade das ilhas de calor e menor poluição do ar, com esses dois fatores não influenciando exacerbadamente na produção de descargas atmosféricas. Portanto, o clima, temperatura e latitude são os maiores determinantes das densidades dentro do território goiano. Esse fato é também observado na cidade de Itumbiara, com sua posição marcada com um pino vermelho na Figura 18.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município conta com um território de 2.454 km², com uma estimativa de população de 104.742 habitantes em 2019, portanto, com uma densidade de 42,68 hab.km⁻² (IBGE, 2020). Itumbiara é um grande produtor de cana-de-açúcar, soja e milho, e conta ainda com o Distrito Agroindustrial de Itumbiara (DIAGRI) com 28 empresas em funcionamento variando entre os segmentos de metalurgia, alimentos, artefatos de cimento, química, reciclagem e prestação de serviços (CORDEIRO et al., 2018).

O território de Itumbiara se localiza entre as coordenadas 18,6464°S, 49,9781°O e 18,1040°S e 48,9590°O. A sua altura topográfica média é de 595 m, com a mínima em 399 m e a máxima em 978 m (TOPOGRAPHIC MAP, 2020). A Figura 14 mostra que a região está inserida na Zona Tropical com inverno seco, segundo a classificação de Köppen-Geiger. A temperatura média anual é de 24,6 °C com sua precipitação, temperaturas mínimas e máximas mostradas na Figura 19.

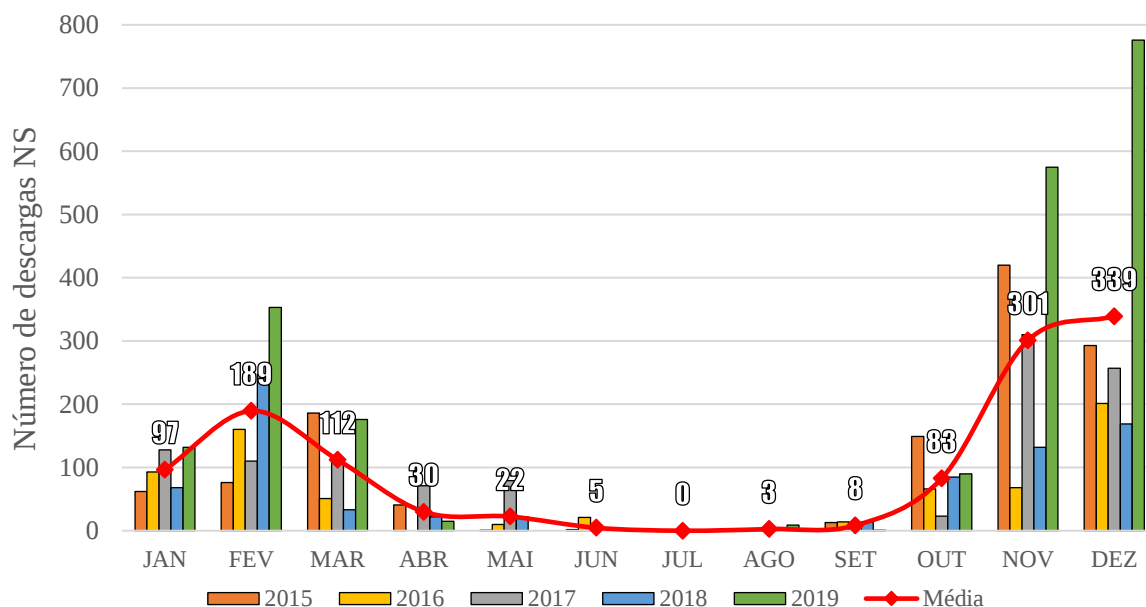
Figura 19: Temperatura e precipitação da cidade de Itumbiara.



Fonte: adaptado de CLIMATEMPO, 2020.

A Figura 20 mostra a quantidade de descargas atmosféricas NS entre os anos de 2015 a 2019, dados fornecidos pelo ELAT, CCST e INPE, 2020. Através dos dados do BrasilDAT é possível apresentar dados com a data e hora da ocorrência da descarga atmosférica, com uma precisão de 6 decimais do seu local de impacto. Neste caso, esses raios ocorreram em uma área com o raio de 10 km ($\approx 314 \text{ km}^2$) com o ponto central sendo o IFG *Campus* Itumbiara.

Figura 20: Descargas NS entre os anos de 2015 e 2019 em Itumbiara.



Fonte: adaptado de ELAT, CCST e INPE, 2020.

Tabela 1: Quantidade de raios entre 2015 e 2019 em Itumbiara.

Mês	2015	2016	2017	2018	2019	Média
Janeiro	62	93	128	68	132	97
Fevereiro	76	160	110	248	353	189
Março	186	51	115	33	176	112
Abril	41	0	71	22	15	30
Maio	1	10	79	22	0	22
Junho	2	21	0	0	0	5
Julho	0	0	0	0	0	0
Agosto	1	3	0	0	9	3
Setembro	13	14	0	14	1	8
Outubro	149	66	23	85	90	83
Novembro	420	68	310	132	575	301
Dezembro	293	201	257	169	776	339
Densidade (raios.km⁻².ano⁻¹)	12,6	7,0	11,1	8,0	21,6	12,0

Fonte: adaptado de ELAT, CCST e INPE, 2020.

A Tabela 1 mostra a quantidade de raios em cada mês durante este período. O verão ocorre no final de dezembro se estendendo até março e é marcado por altas temperaturas e elevada precipitação, consequentemente, é observado um alto grau de atividade elétrica durante esses meses.

O inverno por outro lado, tem seu início ao meio de junho contando com um baixo teor de chuvas e, portanto, apresenta quase nenhuma atividade elétrica com o destaque para o mês de julho onde a média entre os cinco anos se manteve em zero.

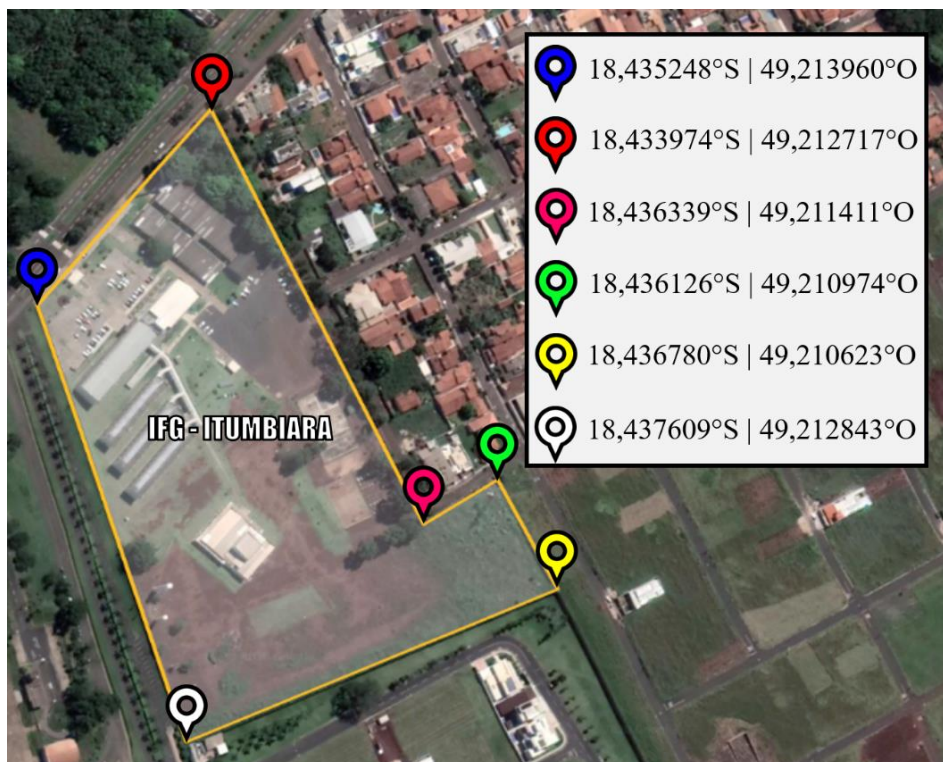
Através das Figuras 19 e 20, e as informações da Tabela 1 nota-se que os meses de novembro e dezembro, em plena primavera, são os de maior atividade elétrica. As temperaturas mais altas, aliado a uma grande quantidade de chuvas, faz com que essa seja a época do ano com maior quantidade de descargas elétricas na região de Itumbiara.

As densidades de descargas atmosféricas variam de ano para ano seguindo um comportamento bianual (NACCARATO, 2005). O ano de 2019 teve o maior número do período com 21,6 raios.km⁻².ano⁻¹ com picos acima da média nos meses de novembro e dezembro.

Como os dados informam o dia, hora, latitude e longitude exatas do momento que ocorreu uma descarga elétrica, é possível analisar quantos raios atingiriam a área do *Campus* do IFG Itumbiara. A Figura 21 mostra as latitudes e longitudes relativas ao terreno do *Campus*.

Entre os anos de 2015 e 2019 apenas um raio atingiu a área do *Campus* podendo ter atingido um dos PDAs que estão espalhados pelas construções. Esses dispositivos externos que podem ter receitado essa descarga foram os responsáveis pela proteção da estrutura que foi atingida, além dos equipamentos que estavam dentro da construção.

Figura 21: Área do Campus Itumbiara.



Fonte: adaptado de GOOGLE EARTH, 2020.

No entanto, o PDA (Proteção Contra Descarga Atmosférica) não age apenas em casos que ocorram dentro da área a ser protegida. Esses também são responsáveis pela proteção em uma situação onde uma descarga ocorra na linha de transmissão de energia, ou de rede de telefone, que adentram a planta da construção. Além disso, o SPDA age em duas áreas de proteção: externa e interna. No Brasil os sistemas de proteção seguem as normas da ABNT NBR 5419 de 2015.

Portanto, devido ao clima majoritariamente quente e úmido, o Brasil se apresenta como o país com maior quantidade de descargas atmosféricas do mundo. Esse valor varia por diversos fatores como clima, temperatura, regime de chuvas, movimento de massas de ar, ilhas de calor, poluição e em períodos bianuais. A sua detecção é feita através de estações meteorológicas específicas utilizando diferentes tipos de técnicas.

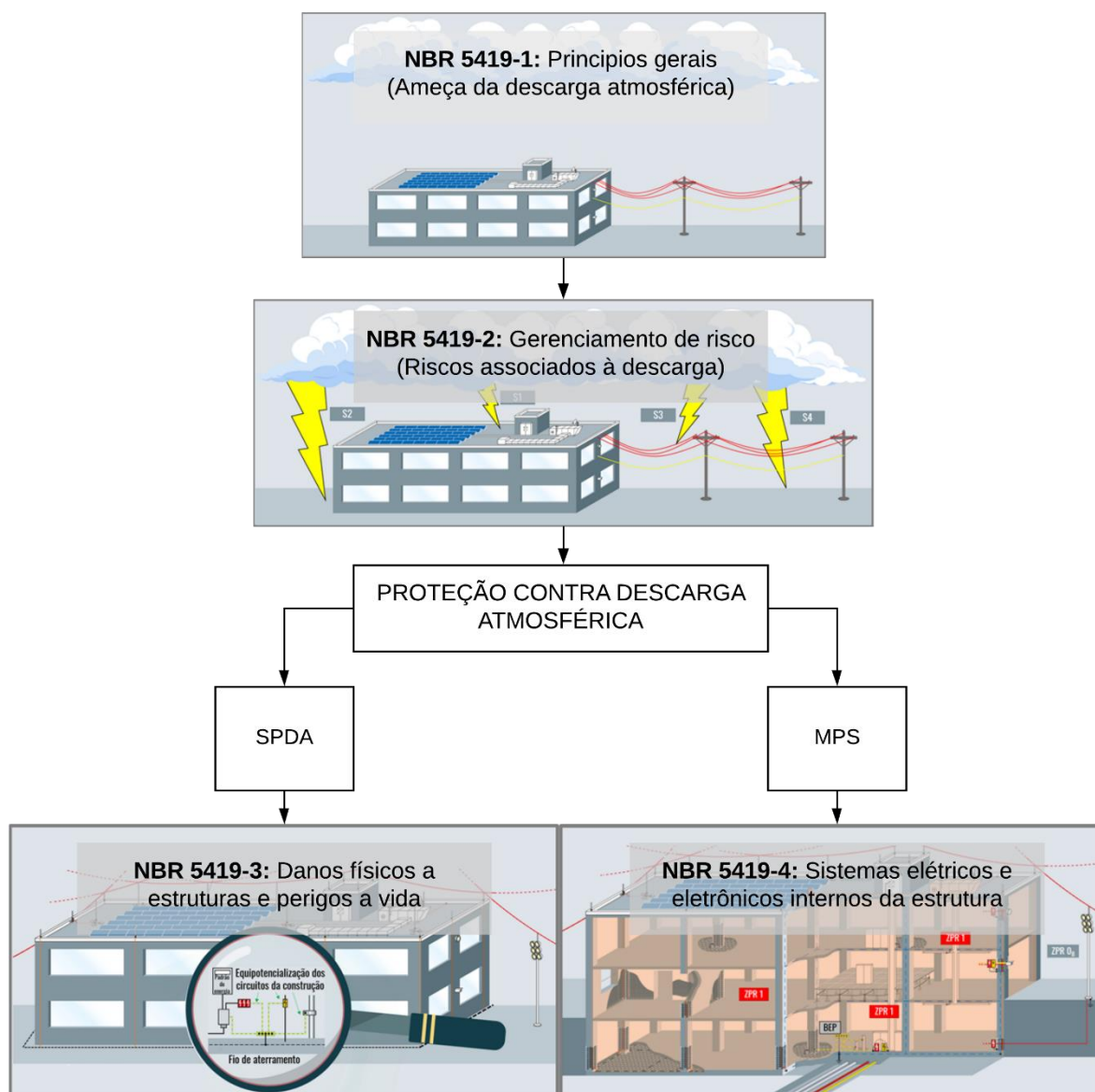
Para o caso de Itumbiara, a densidade de descargas não é influenciada por ilhas de calor e aerossóis. Por fim, é de extrema importância a instalação de PDA, para que um raio não ponha em risco a vida e tire de funcionamento eletrônicos importantes.

4. CONCEITOS DA NBR 5419-2015 E NT BOMBEIROS DE GOIÁS

O conjunto de normas relacionadas à proteção contra descargas atmosféricas, dentro do território brasileiro, é estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A ABNT NBR 5419-2015 é fracionada em 4 partes cada um com seu respectivo tema.

A explicação de cada parte utilizará um prédio exemplo, assim como mostrado na Figura 22, para que sejam evidenciados cada um dos pontos principais que podem ser utilizados para a construção do caso deste trabalho. Dessa forma, será abrangido cada um dos capítulos da ABNT NBR 5419. A Figura 22 mostra um fluxograma sobreposto com as imagens do prédio exemplo.

Figura 22: Estrutura da NBR 5419-2015



Fonte: adaptado de DEHN und SÖHNE (2014) e ABNT NBR 5419-2015 (2015).

4.1. ABNT 5419-1:

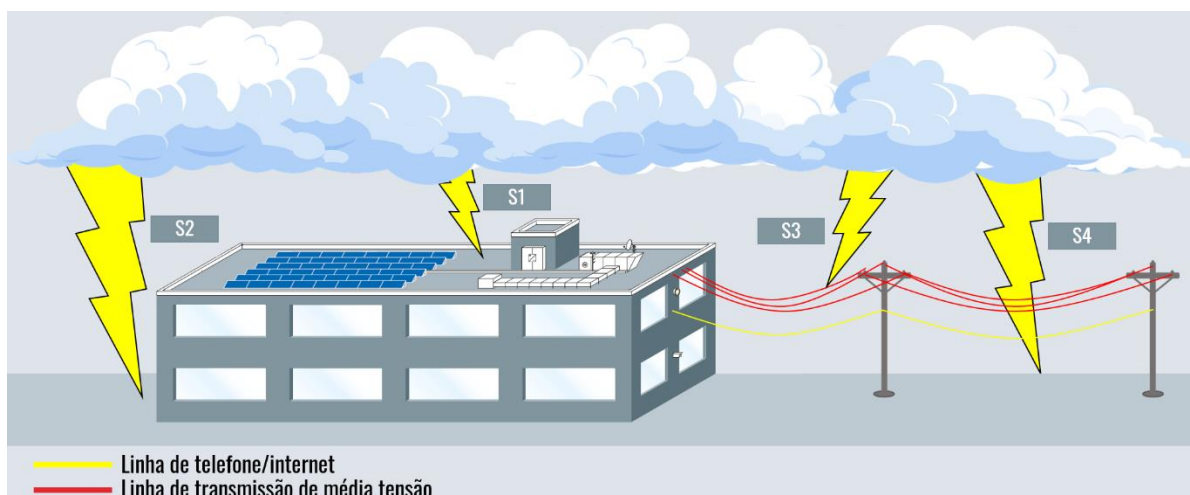
A ABNT NBR 5419-1 faz uma apresentação geral da abrangência de cada um dos outros capítulos, bem como é responsável por estabelecer uma série de definições que serão utilizadas nos capítulos que a segue. Nessa parte são informados, por meio de anexo, a parametrização das correntes de raios que já foram mostradas no Capítulo 2 (Figuras 7 e 8), além de diretrizes para a aplicação de ensaios e simulações de descarga para diferentes localizações da estrutura (ABNT NBR 5419-1, 2015).

4.2. ABNT 5419-2:

O próximo bloco do fluxograma da Figura 22 é sobre a ABNT NBR 5419-2, que explana sobre o gerenciamento de risco relacionado a vida, a estrutura e aos equipamentos nela instalados. Antes da instalação da proteção contra descargas atmosféricas é necessário analisar quais são os possíveis danos, perdas e riscos aos quais a estrutura estará submetida. A partir dessas variáveis é que se definirá caso a construção exija ou não um sistema para protegê-la de eventuais descargas atmosféricas.

A primeira classificação é relacionada aos danos e perdas da estrutura. As fontes de dano S1 e S3 da Figura 23 representam os pontos de impacto na construção e na linha, respectivamente. Além disso, as classificações S2 e S4 representam, respectivamente, os pontos de impacto próximo a construção e próximo a linha (ABNT NBR 5419-2, 2015).

Figura 23: Pontos de impacto segundo a NBR 5419-2.



Fonte: adaptado de DEHN und SÖHNE, 2014.

Caso o raio atinja uma dessas localidades este irá produzir uma série de danos diferentes. Esses danos estão relacionados à vida, à estrutura e à sistemas eletroeletrônicos sendo classificados a seguir (ABNT NBR 5419-2, 2015):

- D1: ferimentos aos seres vivos por choque elétrico;
- D2: danos físicos (à estrutura);
- D3: falhas de sistemas eletrônicos.

Esses danos podem acarretar em diferentes tipos de perdas como (ABNT NBR 5419-2, 2015):

- L1: perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- L2: perda de serviço ao público;
- L3: perda de patrimônio cultural;
- L4: perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo e perdas de atividades).

Caso a fonte de dano seja na estrutura e na linha (S1 e S3), os tipos de danos e perdas acarretados podem ser maiores se comparados aos que sejam apenas próximos destas estruturas. Essa característica é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2: Fontes de danos, tipos de dano e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto.

Descarga atmosférica	Estrutura	
Fonte de danos	Tipo de danos	Tipo de perdas
S1	D1	L1, L4 ^a
	D2	L1, L2, L3, L4
	D3	L1 ^b , L2, L4
S2	D3	L1 ^b , L2, L4
S3	D1	L1, L4 ^a
	D2	L1, L2, L3, L4
	D3	L1 ^b , L2, L4
S4	D3	L1 ^b , L2, L4
a: Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos b: Somente para estruturas com risco de explosão ou para hospitais ou outras estruturas onde sistemas internos podem imediatamente colocar em perigo a vida humana		

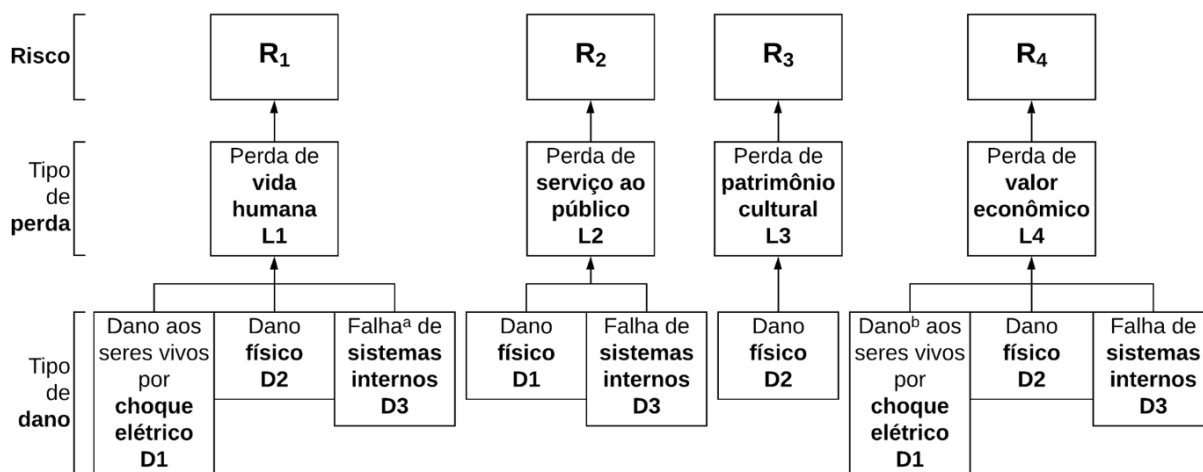
Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015.

Cada grupo de danos e perdas é aliado a um dos 4 tipos de risco. Esses valores atuam como uma ferramenta para o cálculo do risco da estrutura, para o caso desta ser atingida por uma descarga atmosférica e apresentar perdas relacionadas a vida, serviço e equipamentos, como mostrado na Figura 24.

Os riscos são classificados a seguir (ABNT NBR 5419-2, 2015):

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

Figura 24: Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos.



a: Somente para **hospitais** ou outras estruturas nas quais **falhas em sistemas internos** colocam a **vida humana** diretamente em **perigo**.

b: Somente para propriedades onde pode haver **perdas de animais**.

Fonte: adaptado de IEC 2613/10.

Como exemplo, caso a construção da Figura 23 seja utilizada como prédio comercial essa apresentará como risco inerente R₁, pois pessoas frequentarão o local e, portanto, a estrutura tem um tipo de perda L₁.

Além disso, a construção apresentará o risco R₄, pois o projetista deve prever a utilização de dispositivos eletrônicos, que são especialmente frágeis à impulsos eletromagnéticos provindos do raio, ou a surtos nas instalações elétricas da construção. O projetista pode ou não levar em consideração esse risco, e caso aplique-o analisará qual é o investimento em proteção que trará o melhor custo benefício.

Para determinar o risco total de uma construção é preciso primeiro entender os fatores que influenciam esses valores a aumentar ou diminuir. Por exemplo, se a estrutura a ser protegida for de maior altura do que as da redondeza, isso pode fazer com que essa seja mais facilmente atingida por um raio.

Além disso, caso a estrutura esteja em uma localidade dentro do território brasileiro que tenha uma alta densidade de descargas atmosféricas, o risco de ser atingida aumenta. Dessa forma, as variáveis que contabilizam essas características se modificam dependendo do contexto de instalação.

Portanto, para se fazer os cálculos de risco, a ABNT NBR 5419-2 descreve em seus anexos A, B e C os cálculos dos fatores que influenciam os riscos, como definidos a seguir (ABNT NBR 5419-2, 2015):

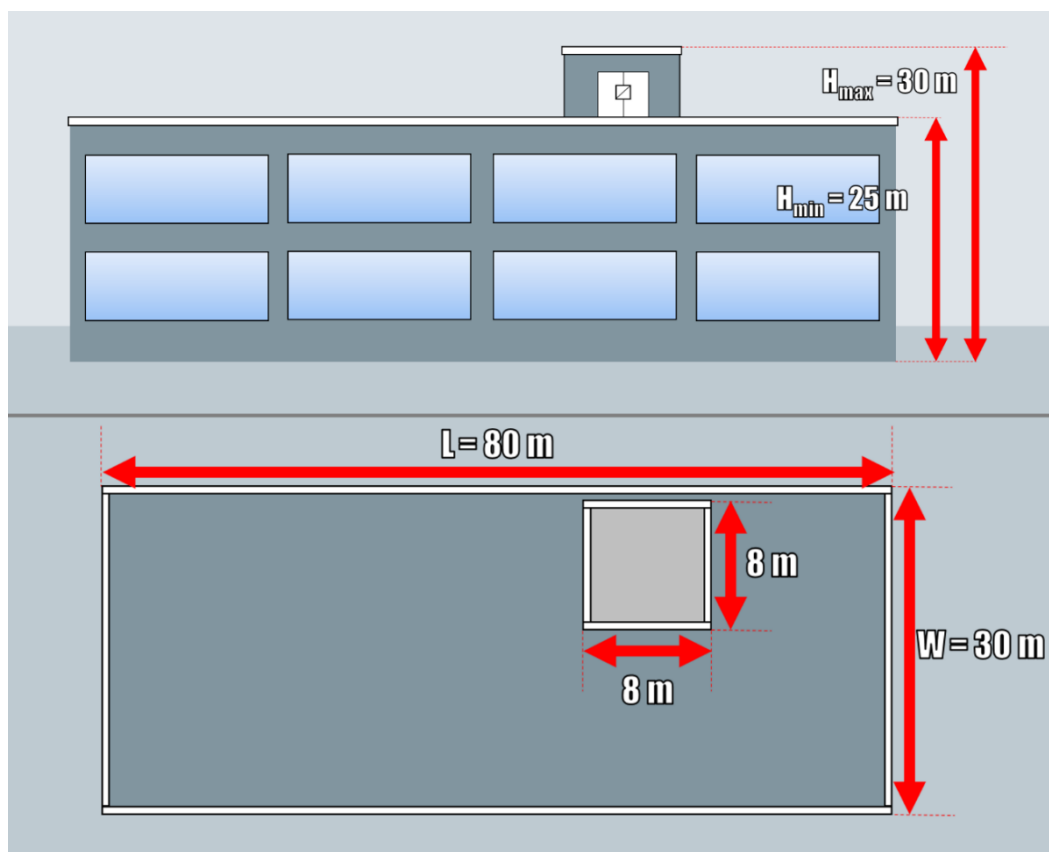
- N - Número de eventos perigosos por ano: afetada pela densidade de descargas atmosféricas e pelas características físicas da estrutura e do seu entorno;
- P - Probabilidade de dano à estrutura: afetada pelas características da estrutura, linhas conectadas e medidas de proteção existentes;
- L - Perda consequente: afetada pelo uso ao qual a estrutura foi projetada, frequência de pessoas, tipo de serviço fornecido ao público, valor dos bens afetados e medidas tomadas para limitar a quantidade de perdas.

4.2.1. Do cálculo de N:

O cálculo do valor do número de eventos perigosos por ano (N), se inicia pelas características físicas da construção, com a determinação da área de exposição equivalente (A_D) que avalia os casos onde o raio atinja a própria estrutura (S1).

O Anexo A da NBR 5419-2 apresenta diferentes formas para se fazer os cálculos para cada tipo de construção. No caso do prédio exemplo, esse pode ser classificado como uma estrutura complexa, já que existe um cômodo que se sobressai à altura média da construção, como mostrado na Figura 25.

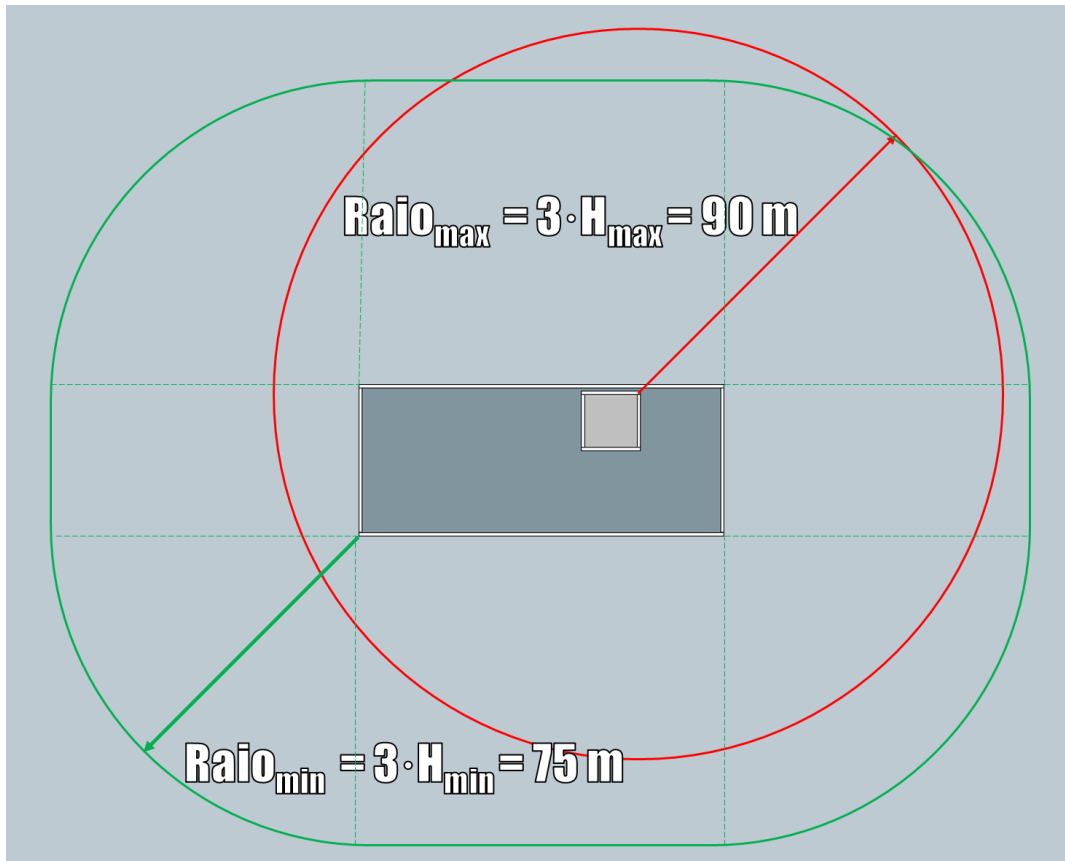
Figura 25: Vista lateral e superior do prédio exemplo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo a ABNT NBR 5419-2 (2015), como a estrutura tem uma forma complexa, há a necessidade de se utilizar um método gráfico para avaliar A_D . A Figura 26 mostra como ficam as áreas A_D em relação às alturas máxima e mínima do prédio.

Figura 26: Cálculo de A_D pelo método gráfico.



Fonte: adaptado de IEC 2639/10.

O valor de A_D da estrutura seria então a soma das áreas das figuras em vermelho e verde que não se sobrepõem. No entanto, como forma de facilitar esses cálculos é possível utilizar a Equação 3 com o valor de altura mínima ($H_{\min}$) da estrutura e compará-la com o valor da Equação 4 que utiliza a altura máxima ($H_{\max}$) escolhendo o maior valor entre os dois (ABNT NBR 5419-2, 2015).

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

$$A_D' = \pi \cdot (3 \cdot H_p)^2 \quad (4)$$

Onde, H para a estrutura complexa é o valor da altura mínima (25 metros para o caso exemplo) e H_p é o valor da altura máxima da construção.

Consequentemente, a área de exposição equivalente aproximada do prédio exemplo é de 36.571 m². O próximo fator que influencia no valor de N é a localização relativa da estrutura (C_D) relacionada ao seu entorno, com seus valores mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: Fator de localização da estrutura C_D .

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015.

Para o prédio exemplo, como as figuras não mostram nenhuma estrutura próxima, o seu valor é considerado é 1. Por último, é necessário verificar o valor da densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_G), calculado em $\text{raios.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. Como a Figura 17 do Capítulo 3 tem uma boa definição é possível utilizar valores próximos a realidade para diferentes localizações do Brasil. Para o prédio exemplo, construído na capital brasileira, seu valor é N_G de 4 $\text{raios.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$.

Portanto, o número de eventos perigosos para a estrutura (N_D) é calculado através da Equação 4 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$N_D = N_G \cdot A_D \cdot C_D \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

A ABNT NBR 5419-2, também prevê situações onde a estrutura a ser protegida faça parte de um edifício, ou seja, exista a necessidade da proteção apenas de parte da estrutura.

Além disso, caso exista uma estrutura adjacente conectada através de uma linha em relação àquela que os cálculos estão sendo feitos, essa também terá influência sobre o número de eventos perigosos, sendo representado pelo N_{DJ} (número de eventos perigosos para uma estrutura adjacente). Como esses dois casos não influenciam no prédio exemplo, não serão apresentados seus cálculos.

Para o caso onde a fonte de dano seja S3, ou seja, o raio atinja a linha que adentra a instalação, existem outros fatores que irão influenciar no valor do número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha (N_L), e seu cálculo é feito pela Equação 5 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$N_L = N_G \cdot A_L \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

Onde, A_L é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha (m^2), C_I é o fator de instalação da linha (Tabela 4), C_T é o fator tipo de linha (Tabela 5) e C_E é o fator ambiental (Tabela 6).

A área de exposição equivalente é calculada pela Equação 6.

$$A_L = 40 \cdot L_L \quad (6)$$

Onde L_L é o comprimento da seção da linha (m). Caso esse valor seja desconhecido pode se assumir L_L de 1000 m. A_L é afetado proporcionalmente pela resistividade do solo (A_L proporcional $\sqrt{\rho}$).

Tabela 4: Fator de instalação da linha.

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015.

Tabela 5: Fator tipo de linha.

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015.

Tabela 6: Fator ambiental da linha.

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015.

Para o prédio exemplo, as linhas de entrada de energia e sinal são enterradas (Figura 27). Nesse caso elas apresentarão valores iguais, no entanto, existem casos onde as linhas de energia e sinal seguem caminhos diferentes na sua entrada para a estrutura, logo devem ser feitos cálculos para cada uma das linhas.

Figura 27: Linha de entrada para o prédio.



Fonte: elaborado pelo autor.

Quando a fonte de dano é próxima a estrutura (S2), o cálculo é feito para o número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da estrutura (N_M) e segue a Equação 7 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$N_M = N_G \cdot A_M \cdot 10^{-6} \quad (7)$$

Onde, A_M é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura (em m^2) calculado pela Equação 8 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$A_M = 2 \cdot 500 \cdot (L + W) + \pi \cdot 500^2 \quad (8)$$

Para a última fonte de dano, a S4, calcula-se o número médio anual de eventos perigosos devido a descargas próximas da linha (N_l) para cada uma das linhas que adentram a estrutura, utilizando a Equação 9 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$N_l = N_G \cdot A_l \cdot C_l \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (9)$$

Onde, A_l é a área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto da linha, calculado através da Equação 10 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$A_l = 4000 \cdot L_L \quad (10)$$

Como L_L é desconhecido para o prédio exemplo, pode ser considerado com o valor de 1000 m.

Os valores de N_D , N_L , N_M e N_I estão relacionados, portanto, com as fontes de dano S1, S3, S2 e S4 respectivamente. Esses fatores irão influenciar nos valores de diferentes componentes dos riscos R1, R2, R3 e R4, explicados mais à frente no Capítulo 4. Na sequência das variáveis que influenciam os riscos está a probabilidade de danos à estrutura (P).

4.2.2. Do cálculo de P:

Para cada tipo de dano seja ele relacionado a ferimentos a seres vivos (D1), danos estruturais (D2) ou danos em sistemas eletrônicos (D3), relacionado com o local ao qual o raio atingiu (S1, S2, S3 e S4) existe uma probabilidade de dano diferente. Essas probabilidades são classificadas a seguir (ABNT NBR 5419-2, 2015):

- P_A : probabilidade de a descarga atmosférica na estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico;
- P_B : probabilidade de a descarga atmosférica na estrutura causar danos físicos;
- P_C : probabilidade de a descarga atmosférica na estrutura causar falha a sistemas internos;

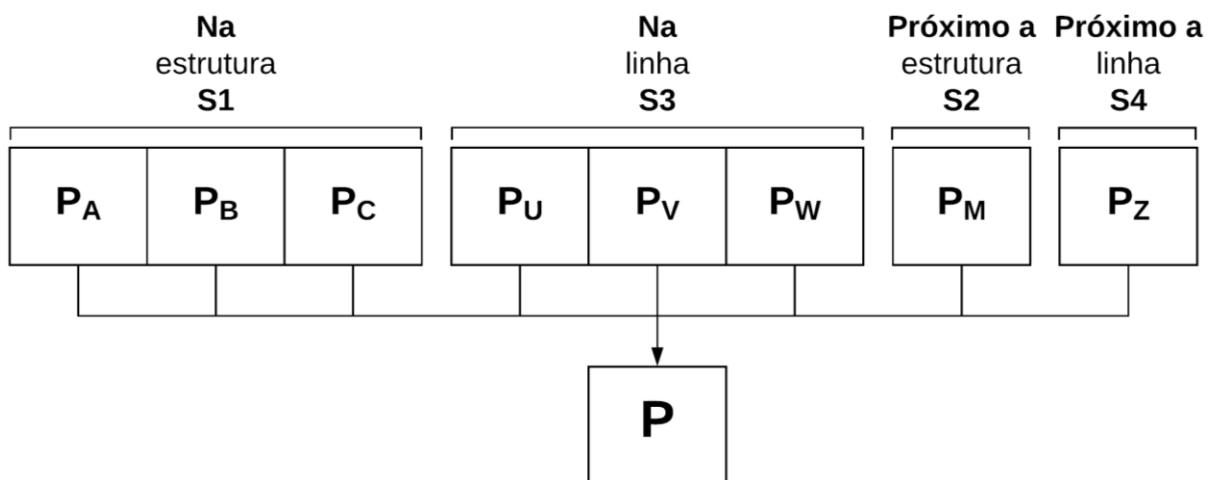
- P_U : probabilidade de a descarga atmosférica na linha causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico;
- P_V : probabilidade de a descarga atmosférica na linha causar danos físicos;
- P_W : probabilidade de a descarga atmosférica na linha causar falha a sistemas internos;
- P_M : probabilidade de a descarga atmosférica próximo a estrutura causar falha a sistemas internos;
- P_Z : probabilidade de a descarga atmosférica próximo a linha causar falha a sistemas internos.

As nomenclaturas (A, B, C, U, V, W, M e Z) se repetem e tem o mesmo significado para diferentes partes da ABNT NBR 5419-2, classificando as variáveis por local e tipo de dano.

Os valores dos fatores relacionados à probabilidade de danos levam em consideração algumas características da disponibilidade, ou não, de medidas de proteção para reduzir ferimentos a seres vivos, danos físicos (ABNT NBR 5419-3) e de proteção para reduzir falhas de sistemas internos (ABNT NBR 5419-4), que serão explicados mais à frente nesse capítulo.

A Figura 28 mostra um fluxograma das componentes relacionadas com cálculo de P.

Figura 28: Fluxograma das variáveis relacionadas ao cálculo da probabilidade de dano.



Fonte: elaborado pelo autor.

A primeira probabilidade é a P_A , calculada pela Equação 11 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$P_A = P_{TA} \cdot P_B \quad (11)$$

Onde, P_{TA} depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo (Tabela 7) e P_B depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o SPDA foi projetado (Tabela 8).

Tabela 7: Valores de probabilidade de uma descarga causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas.

Medida de proteção adicional	P_{TA}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3mm de polietileno reticulado das partes expostas, como condutores de descidas)	10^{-2}
Equipotencialização efetiva do solo	10^{-2}
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0
Nota: Se mais de uma medida for tomada, o valor de P_{TA} será o produto dos valores correspondentes	

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

Tabela 8: Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.

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

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

A frente nesse capítulo será mostrado que os cálculos da soma de N, P e L da estrutura devem respeitar um número limite. Portanto, existem diferentes formas de fazer com que esse número diminua, uma delas é a instalação de SPDA na estrutura e isso, consequentemente, diminuirá os valores de P_B podendo fazer com que sejam respeitados tais limites.

O valor de P_C é dado pela Equação 12 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$P_C = P_{SPD} \cdot C_{LD} \quad (12)$$

Onde, P_{SPD} depende do sistema coordenado dos dispositivos de proteção contra surto (DPS), seguindo a ABNT NBR 5419-4, e o nível de proteção NP ao qual os DPS foram projetados (Tabela 9). O valor de C_{LD} leva em consideração condições como blindagem, aterramento e isolamento (Tabela 10).

Tabela 9: Valores de probabilidade P_{SPD} em função do NP para qual os DPS foram projetados.

NP	P_{SPD}
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III - IV	0,05
II	0,02
I	0,01
Nota 2	0,005 - 0,001
Nota 1: um sistema de DPS coordenado é efetivo na redução de P_c somente em estruturas protegidas por um SPDA ou estruturas com colunas metálicas contínuas ou com colunas de concreto armado atuando como um SPDA natural, onde os requisitos de interligação e aterramento descritos na ABNT NBR 5419-3 forem satisfeitos.	
Nota 2: Os valores de P_{SPD} podem ser reduzidos para os DPS que tenham características melhores de proteção comparados com os requisitos definidos para NP 1 nos locais relevantes da instalação .	

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

Tabela 10: Valores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento.

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

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

Os cálculos para S3 apresentam características diferentes dos relacionados a S1, já que estes levam em consideração a linha. O cálculo deve ser feito independentemente para cada linha que adentra a estrutura, já que cada uma pode apresentar características diferentes. Para o cálculo de P_U se utiliza a Equação 13 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$P_U = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (13)$$

Onde, P_{TU} depende de medidas de proteção contra tensões de toque (Tabela 11), P_{EB} depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme ABNT NBR 5419-3 (Tabela 12), P_{LD} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica na linha conectada, que depende das características da linha (Tabela 13).

Tabela 11: Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas.

Medida de proteção	P_{TU}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica	10^{-2}
Restrições físicas	0
Nota: Se mais de uma medida for tomada, o valor de P_{TU} será o produto dos valores correspondentes	

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

Tabela 12: Valor de probabilidade P_{EB} em função do NP para o qual os DPS foram projetados.

NP	P_{EB}
Sem DPS	1
III - IV	0,05
II	0,02
I	0,01
Nota 1	0,005 - 0,001
Nota: Os valores de P_{EB} podem ser reduzidos para os DPS que tenham características melhores de proteção comparados com os requisitos definidos para NP 1 nos locais relevantes da instalação.	

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

Tabela 13: Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_W do equipamento.

Tipo de linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação		Tensão suportável U_w em kV				
			1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia ou sinal	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento		1	1	1	1	1
	Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	$5 < R_S \leq 20 \text{ } \Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1 < R_S \leq 5 \text{ } \Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_S \leq 1 \text{ } \Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02
Nota: Em áreas suburbanas/urbanas, uma linha de energia em BT utiliza tipicamente cabos não blindados enterrados enquanto que uma linha de sinal utiliza cabos blindados enterrados (com um mínimo de 20 condutores, uma resistência de blindagem de 5 ohm/km, diâmetros do fio de cobre de 0,6 mm). Em áreas rurais, uma linha de energia em BT utiliza cabos aéreos não blindados enquanto que as linhas de sinal utilizam cabos não blindados aéreos (diâmetro do fio de cobre: 1mm). Uma linha de energia de AT enterrada utiliza tipicamente um cabo blindado com uma resistência da blindagem da ordem de 1 Ω/km a 5 Ω/km .							

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

O valor da probabilidade P_V é dado pela Equação 14 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$P_V = P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (14)$$

A última probabilidade relacionada a S3 é P_W , que é calculado pela Equação 15.

$$P_W = P_{SPD} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (15)$$

Para S2, a probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos (P_M), para caso a estrutura tenha um sistema coordenado de DPS,

seguindo os requisitos da ABNT NBR 5419-4, tem seu cálculo através da Equação 16 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$P_M = P_{SPD} \cdot P_{MS} \quad (16)$$

Onde, P_{MS} é calculado pela Equação 17 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$P_{MS} = (K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot K_{S3} \cdot K_{S4})^2 \quad (17)$$

Onde, K_{S1} e K_{S2} levam em consideração as eficiências das blindagens entre as zonas de proteção (ZPR), conceito explicado mais à frente nesse capítulo, enquanto K_{S3} considera as características da fiação interna (Tabela 14) e K_{S4} a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido.

Os cálculos de K_{S1} e K_{S2} são feitos através das Equações 18 e 19 (ABNT NBR 5419-2, 2015), respectivamente.

$$K_{S1} = 0,12 \cdot w_{m1} \quad (18)$$

$$K_{S2} = 0,12 \cdot w_{m2} \quad (19)$$

Onde, w_{m1} (m) e w_{m2} (m) são as larguras da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA tipo malha, ou o espaçamento entre as colunas metálicas da estrutura, ou o espaçamento entre as estruturas de concreto armado atuando como um SPDA natural. Para blindagens metálicas contínuas com espessura não inferior a 0,1 mm $K_{S1} = K_{S2} = 10^{-4}$ sendo limitados ao valor máximo de 1.

Tabela 14: Valor de fator K_{S3} dependendo da fiação interna.

Tipo de fiação interna	K_{S3}
Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ^a	1
Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços ^b	0,2
Cabo não blindado - preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ^c	0,01
Cabo blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos ^d	0,0001
a: Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m ²) b: Condutores em laço roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10m ²) c: Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5m ²) d: Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento de equipotencialização	

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015.

O fator K_{S4} é avaliado como mostrado pela Equação 20 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$K_{S4} = \frac{1}{U_w} \quad (20)$$

Onde, U_W é a tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido, em kV. O valor de K_{S4} é limitado a 1 e caso existam equipamentos com diferentes níveis de tensão suportável a impulso, o fator K_{S4} recebe o valor do menor nível.

A última probabilidade é P_Z , relacionada a S4, dado pela Equação 21 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$P_Z = P_{SPD} \cdot P_{LI} \cdot C_{LI} \quad (21)$$

Onde, P_{LI} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica perto de uma linha conectada, dependendo da característica da linha e dos equipamentos (Tabela 15).

Tabela 15: Valores da probabilidade P_{LI} dependendo do tipo de linha e tensão suportável do impulso U_W dos equipamentos.

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015.

4.2.3. Do cálculo de L:

A próxima variável que influencia nos valores dos riscos é o valor de perdas. Os valores das perdas L se referem à quantidade relativa média de um tipo particular de dano, para um evento perigoso, causado por uma descarga atmosférica. O seu valor varia considerando cada um dos 4 tipos de perda (L1, L2, L3 e L4).

O primeiro fator tem relação com a perda de vida humana (L1), e seu valor é afetado pelas características da zona, pela quantidade, bem como o tempo em horas por ano ao qual pessoas estarão presentes na estrutura. As equações relacionadas a cada tipo de dano são mostradas na Tabela 16.

Tabela 16: Tipo de perda L1 - valores da perda para cada zona.

Tipo de dano	Perda típica
D1	$L_A = r_t \cdot L_T \cdot \frac{n_Z}{n_t} \cdot \frac{t_Z}{8760}$
D1	$L_U = r_t \cdot L_T \cdot \frac{n_Z}{n_t} \cdot \frac{t_Z}{8760}$
D2	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot h_Z \cdot L_F \cdot \frac{n_Z}{n_t} \cdot \frac{t_Z}{8760}$
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \cdot \frac{n_Z}{n_t} \cdot \frac{t_Z}{8760}$

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

As variáveis da Tabela 16 são classificadas a seguir (ABNT NBR 5419-2, 2015):

- L_T : número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (Tabela 17);
- L_F : número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (Tabela 17);
- L_O : número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos (Tabela 17);
- r_t : fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso (Tabela 18);
- r_p : fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio (Tabela 19);
- r_r : fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou risco de explosão da estrutura (Tabela 20);
- h_z : fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente (Tabela 21);
- n_z : número total de pessoas na zona;
- n_t : número total de pessoas na estrutura;
- t_z : tempo durante ao qual as pessoas estão presentes na zona (hora/ano).

Tabela 17: Tipo de perda L1 - valores médios típicos de L_T , L_F e L_O .

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015.

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

Tipo de superfície ^a	Resistência de contato $k\Omega$	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	10^{-2}
Mármore, cerâmica	1 - 10	10^{-3}
Cascalho, tapete, carpete	10 - 100	10^{-4}
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10^{-5}

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015.

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

Providências	r_p
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático ^a	0,2

a: Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015.

Tabela 20: Fator de redução r_i em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura.

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015.

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

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

Fonte ABNT NBR 5419-2, 2015.

As zonas, segundo ABNT NBR 5419-2 (2015), são principalmente definidas a partir do tipo de solo ou piso, se há compartimentos à prova de fogo e se há a instalação de blindagem especial. Casos de zonas adicionais podem provir do leiaute dos sistemas internos, medidas de proteção existentes, ou a serem instaladas, e ainda os valores de perda.

Em relação a perda L2, deve ser levado em consideração qual o tipo de serviço a estrutura fornece. O cálculo para as perdas típicas para cada tipo de dano é mostrado na Tabela 22.

Tabela 22: Tipo de perda L2 - valores de perda para cada zona.

Tipo de dano	Perda típica
D2	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot \frac{n_Z}{n_t}$
D3	$L_C = L_M = L_W = L_O \cdot \frac{n_Z}{n_t}$

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

Onde, os valores de L_F e L_O variam a partir do tipo de serviço (Tabela 23).

Tabela 23: Tipo de perda L2 - valores médios típicos de L_F e L_O .

Tipo de dano	Valor da perda	Tipo de serviço
D2	L_F	10^{-1} Gás, água, fornecimento de energia
		10^{-2} TV, linhas de sinais
D3	L_O	10^{-2} Gás, água, fornecimento de energia
		10^{-3} TV, linhas de sinais

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

Para as perdas inaceitáveis de patrimônio cultural (L3) o cálculo é feito como mostrado na tabela 24.

Tabela 24: Tipo de perda L3 - valores de perda.

Tipo de dano	Perda típica
D2	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot \frac{C_Z}{C_t}$

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

Onde, C_Z é o valor do patrimônio cultural na zona, C_t é o valor total da edificação e conteúdo da estrutura (soma de todas as zonas) e L_F varia com o tipo de estrutura ou zona (Tabela 25).

Tabela 25: Tipo de perda L3 - valor médio típico de L_F .

Tipo de dano	Valor da perda	Tipo de serviço
D2	L_F	10^{-1} Gás, água, fornecimento de energia

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015.

O último fator relacionado as perdas é o valor das perdas econômicas (L4). Essa é uma variável que dentre todas tem um alto fator de importância quando relacionado a estruturas com alta probabilidade de perdas de equipamentos que influenciem no processo destinado à estrutura, sejam eles por danos físicos ou por falha de sistemas internos.

Nessa etapa o projetista avalia a relação entre as perdas de valores econômicos e estuda até que nível se tem o melhor custo benefício com o investimento em relação à proteção. Os valores de perda típica relacionadas ao dano são calculados segundo a Tabela 26.

Tabela 26: Tipo de perda L4 - valores de perda de cada zona.

Tipo de dano	Perda típica
D1	$L_A = r_t \cdot L_T \cdot \frac{c_a}{c_t}$
D1	$L_U = r_t \cdot L_T \cdot \frac{c_a}{c_t}$
D2	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot \frac{c_a+c_b+c_c+c_s}{c_t}$
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \cdot \frac{c_s}{c_t}$

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

Onde, c_a é o valor dos animais na zona, c_b o valor da edificação relevante à zona, c_c o valor do conteúdo da zona, c_s o valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona e c_t é o valor total da estrutura (soma de todas as zonas para animais, edificação, conteúdo e sistemas internos incluindo suas atividades).

Os valores médios típicos são mostrados na Tabela 27, e podem variar caso estudos específicos sobre a estrutura a ser protegida sejam feitos.

Tabela 27: Tipo de perda L4 - valores médios de L_T , L_F e L_O .

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015.

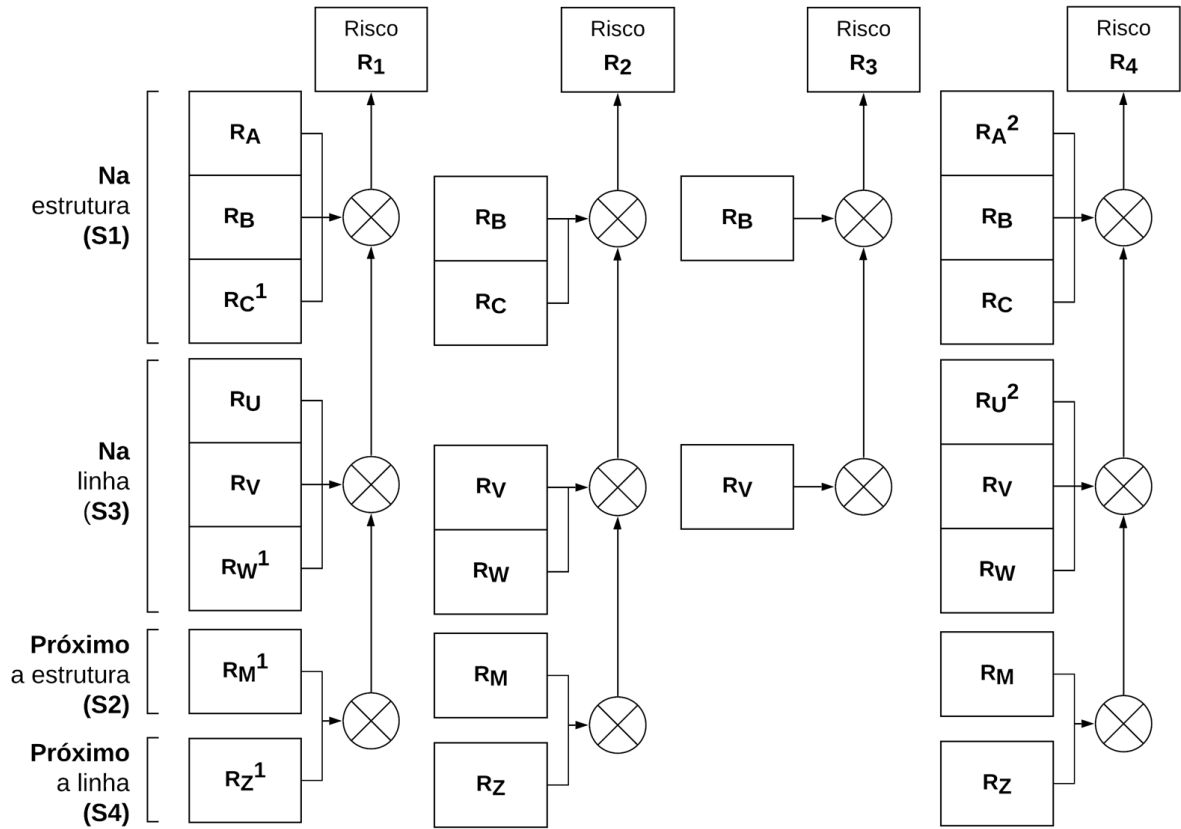
Com os valores dos cálculos das variáveis de P e de L, agora é possível voltar ao prédio exemplo e classificar suas características seguindo a ABNT NBR 5419-2, estes cálculos estão dispostos no Apêndice A.

4.2.4. Componentes dos riscos:

A partir da determinação de todos os valores das subcomponentes de N, P e L é possível calcular cada uma das componentes relacionadas aos riscos R1, R2, R3 e R4. A Figura 29 mostra o fluxograma para o cálculo de cada um desses valores.

Os cálculos relacionados às descargas atmosféricas na estrutura são dados pelas Equações 22 a 24 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

Figura 29: Fluxograma dos cálculos para os riscos R1, R2, R3 e R4.



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

2: Somente para propriedades onde **animais** possam ser **perdidos**.

Fonte: elaborado pelo autor.

$$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A \quad (22)$$

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B \quad (23)$$

$$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_C \quad (24)$$

As componentes relacionadas às descargas na linha são dadas pelas Equações 25 a 27 (ABNT NBR 5419-2, 2015). Em muitos casos o valor relacionado à estrutura adjacente N_{DJ} pode ser desprezado (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_U \cdot L_U \quad (25)$$

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_V \cdot L_V \quad (26)$$

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_W \cdot L_W \quad (27)$$

A Equação 28 é relacionada a descargas próximas à estrutura (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_M \quad (28)$$

E a Equação 29, relacionada a descargas próximas à linha (ABNT NBR 5419-2, 2015).

$$R_Z = N_l \cdot P_Z \cdot L_Z \quad (29)$$

Segundo a NBR 5419-2 (2015), se a estrutura for dividida em zonas Z_S cada componente de risco deve ser avaliado para cada zona, por exemplo Zonas interna e externa a uma estrutura, cada uma com suas características de P e L. Dessa forma, o risco total R da estrutura é a soma dos componentes de risco relevantes para as zonas Z_S que constituem a estrutura (ABNT NBR 5419-2, 2015).

O valor das somas dos riscos R1, R2, R3 e R4 de uma estrutura devem respeitar o limite de risco tolerável (R_T). Caso o valor esteja abaixo do limite, significa que a estrutura com as características atuais está suficientemente protegida de descargas atmosférica. Os valores limitantes de R_T são mostrados na Tabela 28.

Tabela 28: Valores de risco tolerável.

Tipo de perda		R_T (ano ⁻¹)
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L2	Perda de serviço ao público	10^{-3}
L3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}
Os valores para L4 seguem os cálculos do Anexo D da NBR 5419-2. Caso esses dados não estejam disponíveis, pode se utilizar $R_T = 10^{-3}$.		

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

Para o caso exemplo, os valores relacionados a perdas de valor econômico podem ser descartados, portanto, apenas R1 é calculado. A Figura 30 evidencia nas notas que certas subcomponentes são levadas em consideração apenas se a estrutura apresenta determinados pré-requisitos. Como o prédio exemplo não se encaixa nas descrições as suas influências são descartadas.

Os valores dos cálculos da análise de risco do prédio exemplo, contidas no Apêndice A, mostram que R1 é maior que R_T , portanto, a estrutura não está protegida. Os valores de maior influência nos riscos estão relacionados ao R_B e R_V das zonas 1 e 2. Isso ocorre devido à quantidade de pessoas, e frequência, elevar os valores desses indicadores.

Portanto, é necessário a aplicação de Proteção Contra Descarga Atmosférica (PDA), como o SPDA e MPS, para o caso exemplo. Caso uma mudança seja feita todo o cálculo de risco da estrutura deve ser refeito e verificado se a estrutura com a nova configuração está dentro dos limites de R_T .

Dessa forma, esse é um processo que pode ser repetido diversas vezes durante a construção do projeto de proteção de uma estrutura. No entanto, existem certas implementações que tem um peso significativo para a redução do risco.

A Tabela 29 fornece uma maneira mais fácil de analisar quais mudanças tem influência sobre os fatores de componentes de risco.

Tabela 29: Fatores que influenciam os valores de risco.

Características da estrutura ou dos sistemas internos (medidas de proteção)	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Área de exposição equivalente	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistividade da superfície do solo	X							
Resistividade do piso	X				X			
Restrições físicas, isolamento, aviso visíveis, equipotencialização do solo	X				X			
SPDA	X	X	X	X ^a	X ^b	X ^b		
Ligação ao DPS	X	X			X	X		
Interfaces isolantes			X ^c	X ^c	X	X	X	X
Sistema coordenado de DPS			X	X			X	X
Blindagem espacial			X	X				
Blindagem de linhas externas					X	X	X	X
Blindagem de linhas internas			X	X				
Precauções de roteamento			X	X				
Sistemas de equipotencialização			X					
Precauções contra incêndio		X				X		
Sensores de fogo		X				X		
Perigos especiais		X				X		
Tensão suportável de impulso			X	X	X	X	X	X
a: Somente SPDA tipo malha externa. b: Devido a ligações equipotenciais. c: Somente se eles pertencem ao equipamento								

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015.

4.3. ABNT 5419-3:

O método mais direto para a atenuação dos valores dos riscos é a aplicação da proteção contra descargas atmosféricas. A Figura 22, mostra os dois tipos possíveis: o SPDA e o MPS. A primeira abordagem será sobre as características do SPDA e a padronização de seu projeto, dadas pela ABNT NBR 5419-3, já que esse método tem influencia sobre diferentes tipos de fatores de risco (Tabela 29).

A nível de projeto, a categorização das classes de proteção do SPDA são coincidentes com os valores dos níveis de proteção (NP), assim como evidenciado na Tabela 30.

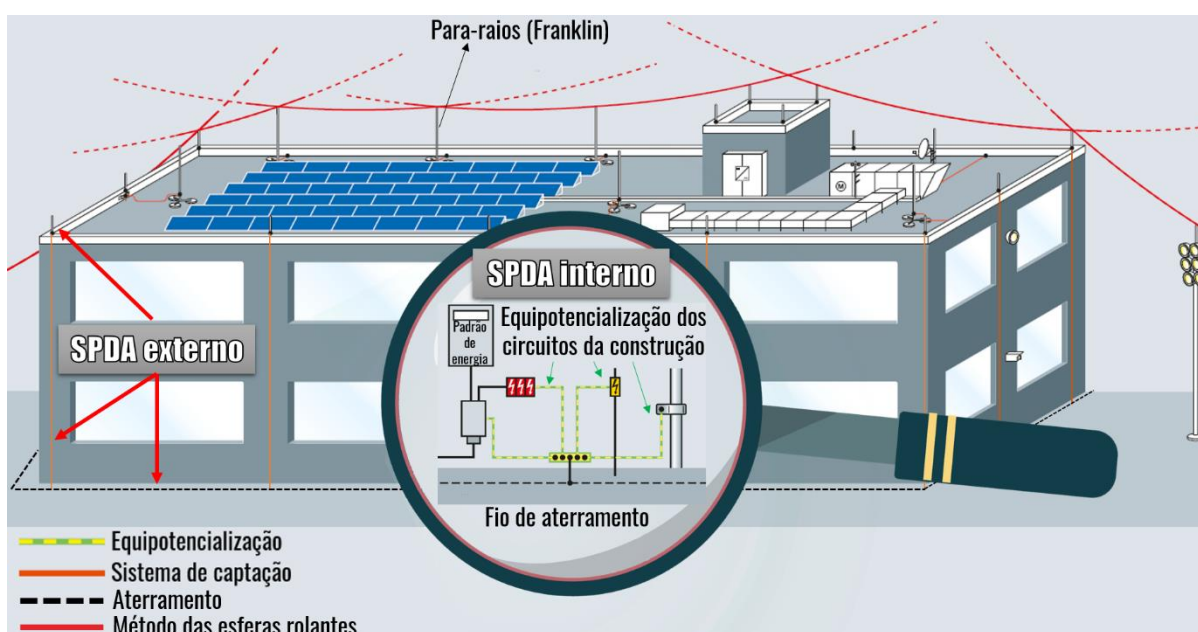
Tabela 30: Relação entre NP e classes do SPDA.

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

Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015.

A Figura 30 evidencia diferentes elementos presentes no projeto de SPDA. Na parte superior da construção existem diversos captadores (para-raios) espalhados pela estrutura, a cada um deles existe um cabo conectado que desce pela lateral da construção. Finalmente, estes cabos são conectados ao sistema de aterramento, que circunda toda a estrutura. Ainda, provindo da área interior da estrutura é possível visualizar a conexão dos circuitos elétricos, e de sinal, a estrutura metálica dos eletrodutos e o sistema de aterramento, por um barramento de equipotencialização.

Figura 30: SPDA do prédio exemplo.



Fonte: adaptado de DEHN und SÖHNE, 2014.

Todos os elementos anteriormente descritos fazem parte do sistema de SPDA externo e interno de uma estrutura. O primeiro é o responsável por redirecionar a corrente da descarga atmosférica para a terra, enquanto o segundo tem como objetivo evitar centelhamentos perigosos dentro da área de proteção da estrutura devido a corrente que passa pelo sistema do primeiro (ABNT NBR 5419-2, 2015).

O SPDA externo é dividido em 3 partes, como mostra a Figura 30. O primeiro deles é o subsistema de captação, seguido pelo de descida e, finalmente, o de aterramento. Caso uma estrutura tenha um SPDA instalado, o raio primeiro se conectará com o dispositivo de captação (ABNT NBR 5419-2, 2015).

Finalmente, todos os elementos presentes em cada parte do SPDA, externo e interno, devem levar em consideração fatores como corrosão e efeitos eletromagnéticos da descarga atmosférica. As suas configurações são mostradas na Tabela 31.

Tabela 31: Materiais para SPDA e condições de utilização.

Material	Utilização				Corrosão		
	Ao ar livre	Na terra	No concreto ou reboco	No concreto armado	Resistência	Aumentado por	Podem ser destruídos por acoplamento galvânico
Cobre	Maciço	Maciço	Maciço	Não permitido	Boa em muitos ambientes	Compostos sulfurados	-
	Encordoadado	Encordoadado	Encordoadado			Materiais orgânicos	
	Como cobertura	Como cobertura	Como cobertura			Altos conteúdos de cloretos	
Aço galvanizado a quente	Maciço	Maciço	Maciço	Maciço	Aceitável no ar, em concreto e em solos salubres	Altos conteúdos de cloretos	Cobre
	Encordoadado	Encordoadado	Encordoadado	Encordoadado			
Aço inoxidável	Maciço	Maciço	Maciço	Maciço	Boa em muitos ambientes	Altos conteúdos de cloretos	-
	Encordoadado	Encordoadado	Encordoadado	Encordoadado			
Aço revestido por cobre	Maciço	Maciço	Maciço	Maciço	Boa em muitos ambientes	Compostos sulfurados	-
	Encordoadado	Encordoadado	Encordoadado	Encordoadado			
Alumínio	Maciço	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Bom em atmosferas contendo baixas	Soluções alcalinas	Cobre
	Encordoadado						

Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015.

4.3.1. Subsistema de captação

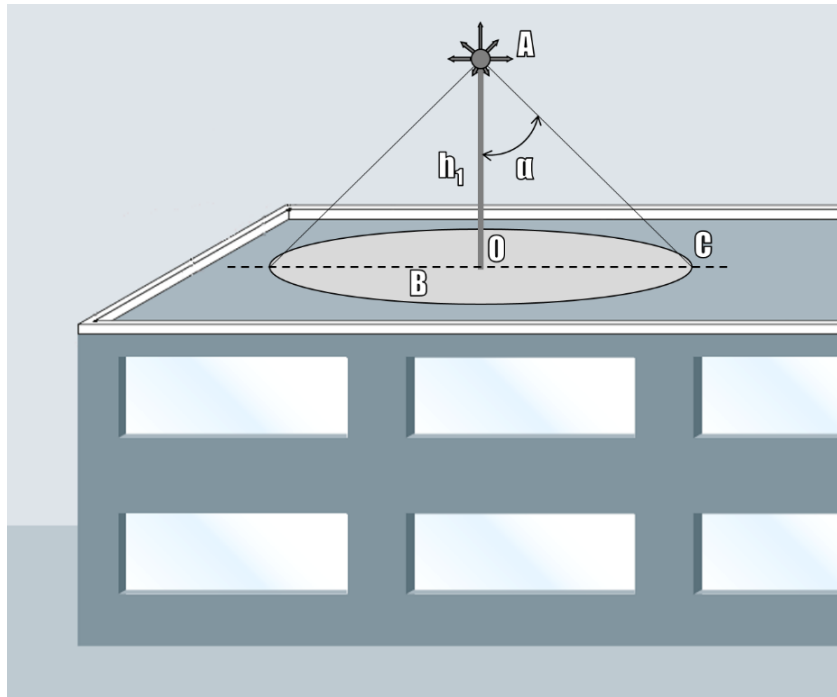
A ABNT NBR 5419-3 propõe que o subsistema de captação pode ser composto por quaisquer combinações entre hastes (incluindo mastros), condutores suspensos ou malhas. No entanto, para que o sistema de captação seja eficiente e tenha um alto volume de proteção é necessário posicioná-los corretamente na estrutura.

Os métodos de posicionamento aceitáveis são pela utilização do ângulo de proteção (método de Franklin), o método da esfera rolante e o método das malhas (método da gaiola de Faraday).

A Figura 31 mostra as características para os cálculos referentes ao método pelo ângulo de proteção (ABNT NBR 5419-3, 2015).

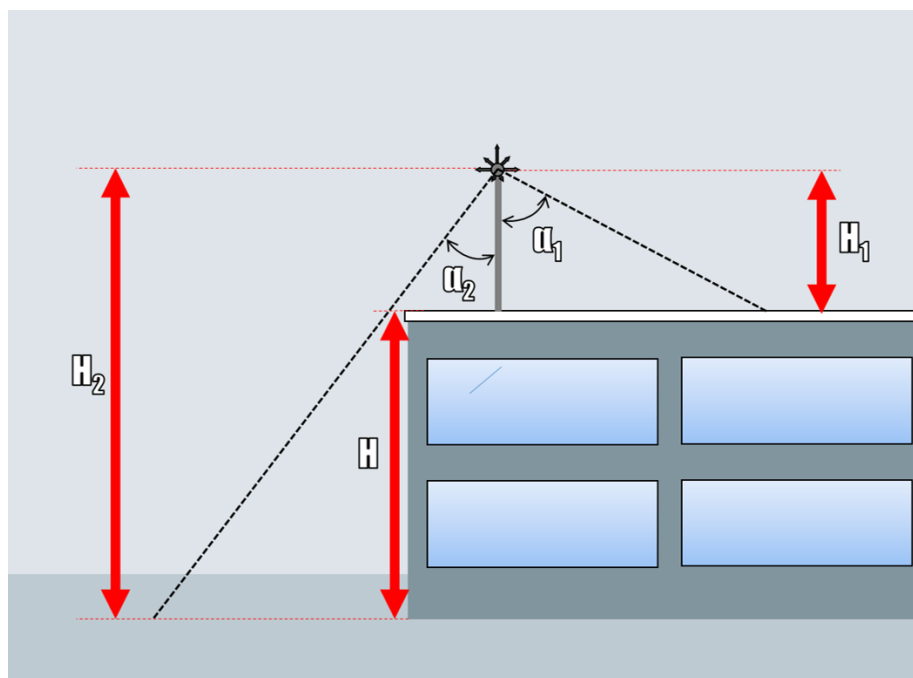
Onde, A é o ponto do topo do captor, B é o plano de referência, OC o raio da base do cone de proteção, h_1 a altura do mastro acima do plano de referência e α o ângulo de proteção (Tabela 32). Um mesmo mastro pode apresentar diferentes ângulos de proteção, desde que esse também apresente diferentes planos de referência, assim como mostrado na Figura 32.

Figura 31: Captor por método de Franklin.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 32: Mastro com dois planos de referência.

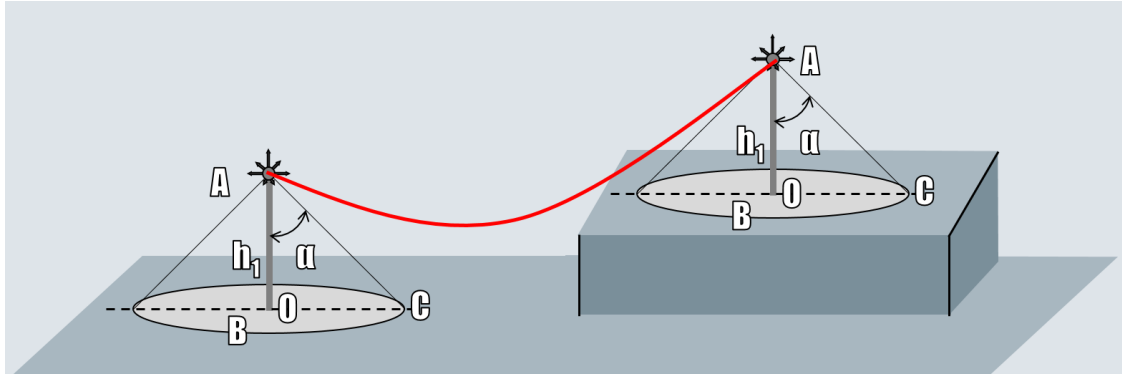


Fonte: elaborado pelo autor.

Os mastros conectados por cabos seguem a mesma configuração de mastros simples e, usualmente, são utilizados em casos de sistemas que necessitam de proteção em grandes distâncias (ex. linhas de transmissão), ou em situações onde o sistema de proteção seja proibido

de se conectar à estrutura (ex. tanques com risco de explosão). A Figura 33 mostra como é feita a conexão desses mastros.

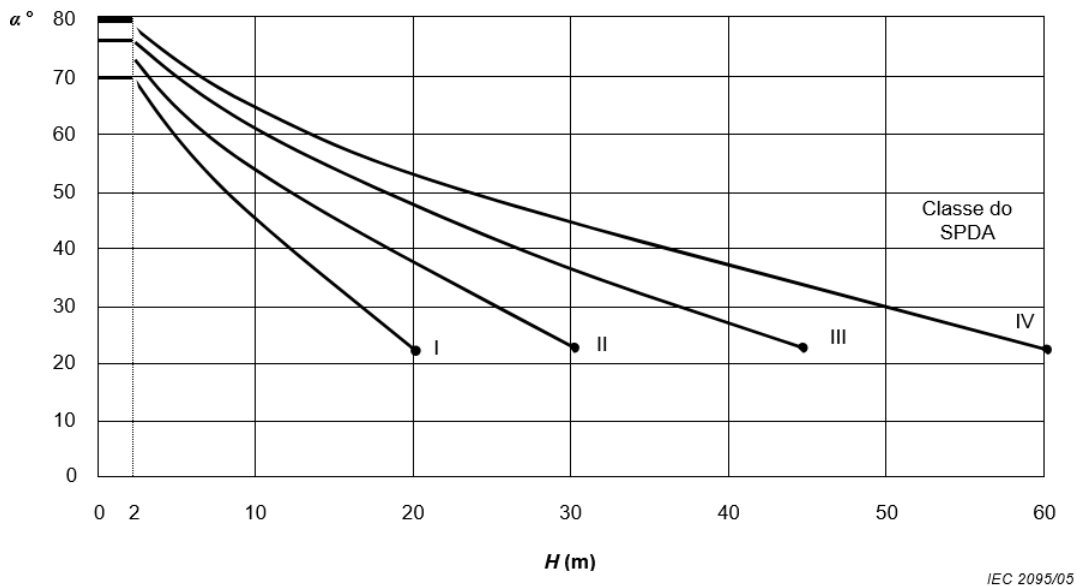
Figura 33: Mastros conectados através de um condutor.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os valores de α dos mastros são relacionados às classes de SPDA, mostrado pelas curvas da Figura 34, com seus valores evidenciados na Tabela 32.

Figura 34: Curva ângulo de proteção (α) x altura da base de referência.



Fonte: adaptado de IEC 2095/05.

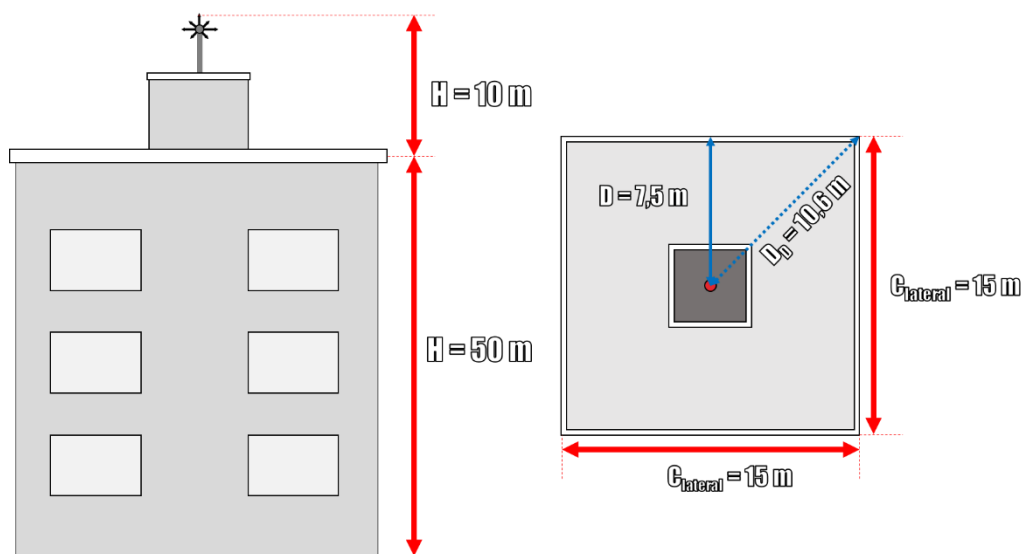
A aplicação usual do método de Franklin está relacionado à estruturas de geometria simples, assim como mostrado na Figura 35. Segundo a ABNT NBR 5419-3 (2015), estatisticamente, estruturas com alturas menores que 60 metros de altura tem baixa probabilidade de descargas laterais. Portanto, o interesse do projetista, para o caso da Figura 35, é apenas a proteção da área superior do prédio.

Tabela 32: Valores de ângulo e distância para os cálculos relacionados ao mastro.

Altura h do mastro (m)	Proteção do SPDA							
	Classe I		Classe II		Classe III		Classe IV	
	Ângulo α°	Distância OC (m)	Ângulo α°	Distância OC (m)	Ângulo α°	Distância OC (m)	Ângulo α°	Distância OC (m)
1	71	2,9	74	3,49	77	4,33	79	5,14
2	71	5,81	74	6,97	77	8,66	79	10,29
3	66	6,74	71	8,71	74	10,46	76	12,03
4	62	7,52	68	9,9	72	12,31	74	13,95
5	59	8,32	65	10,72	70	13,74	72	15,39
6	56	8,9	62	11,28	68	14,85	71	17,43
7	53	9,29	60	12,12	66	15,72	69	18,24
8	50	9,53	58	12,8	64	16,4	68	19,8
9	48	10	56	13,34	62	16,93	66	20,21
10	45	10	54	13,76	61	18,04	65	21,45
11	43	10,26	52	14,08	59	18,31	64	22,55
12	40	10,07	50	14,3	58	19,2	62	22,57
13	38	10,16	49	14,95	57	20,02	61	23,45
14	36	10,17	47	15,01	55	19,99	60	24,25
15	34	10,12	45	15	54	20,65	59	24,96
16	32	10	44	15,45	53	21,23	58	25,61
17	30	9,81	42	15,31	51	20,99	57	26,18
18	27	9,17	40	15,1	50	21,45	56	26,69
19	25	8,86	39	15,39	49	21,86	55	27,13
20	23	8,49	37	15,07	48	33,21	54	27,53
21			36	15,26	47	22,52	53	27,87
22			35	15,4	46	22,78	52	28,16
23			36	16,71	47	24,66	53	30,52
24			32	15	44	23,18	50	28,6
25			30	14,43	43	23,31	49	28,76
26			29	14,41	41	22,6	49	29,91
27			27	13,76	40	22,66	48	29,99
28			26	13,66	39	22,67	47	30,03
29			25	13,52	38	22,66	46	30,03
30			23	12,73	37	22,61	45	30
31					36	22,52	44	29,94
32					35	22,41	44	30,9
33					35	23,11	43	30,77
34					34	22,93	42	30,61
35					33	22,73	41	30,43
36					32	22,5	40	30,21
37					31	22,23	40	31,5
38					30	21,94	39	30,77
39					29	21,62	38	30,47
40					28	21,27	37	30,14
41					27	20,89	37	30,9
42					26	20,48	36	30,51
43					25	20,05	35	30,11
44					24	19,59	35	30,81
45					23	19,1	34	30,35
46							33	29,87
47							32	29,37
48							32	29,99
49							31	29,44
50							30	28,87

Fonte: adaptado de DEHN und SÖHNE, 2014.

Figura 35: Exemplo da aplicação do método de Franklin para uma estrutura.



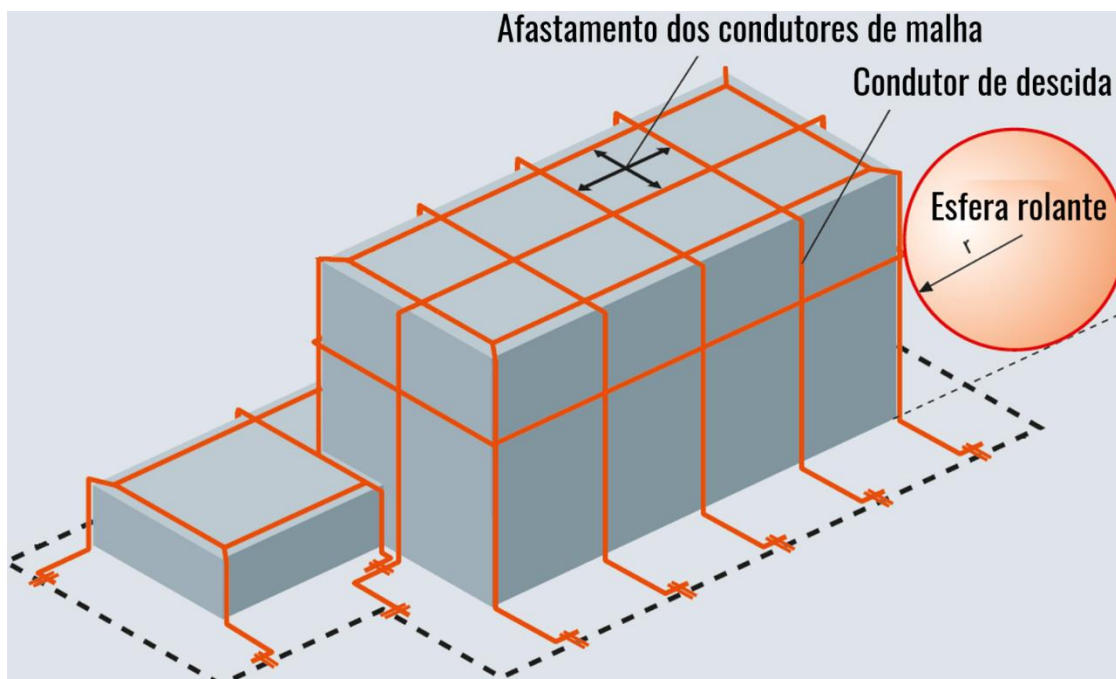
Fonte: elaborado pelo autor.

Para exemplo da Figura 35 a altura do topo do captor até o topo do prédio mede 10m. A distância do captor até a parte mais distante do topo da estrutura tem 10,6 m. Através da consulta da Tabela 32, com o valor de altura de referência do mastro ($h_{\text{mastro}} + h_{\text{comodo}}$) de 10 m, demonstra-se uma proteção do SPDA de nível II até IV. Caso o projetista necessite de um SPDA nível I, para esse caso, seria necessário o emprego de um mastro de maior altura, onde $h_{\text{mastro}} + h_{\text{comodo}}$ retornasse um valor maior ou igual a 11 m.

Outro método de posicionamento descrito pela NBR 5419-3 é o por malha (Figura 36), comumente conhecido como gaiola de Faraday. Esse método utiliza como base a característica das correntes se distribuírem igualmente pelos condutores externos, culminando em campo elétrico nulo na parte interior do sistema.

A proteção por malhas é mais utilizada para superfícies planas com telhados horizontais e inclinados sem curvaturas. Esse também é indicado para a proteção das superfícies laterais contra descargas atmosféricas laterais.

Figura 36: Método de captação por malhas.



Fonte: (DEHN und SÖHNE, 2014) modificado.

Os afastamentos das malhas são definidos pelo nível de proteção, como mostrado pela Tabela 33.

Tabela 33: Afastamento dos condutores de malha em relação à classe do SPDA.

Classe do SPDA	Máximo afastamento dos condutores de malha (m)
I	5 x 5
II	10 x 10
III	15 x 15
IV	20 x 20

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

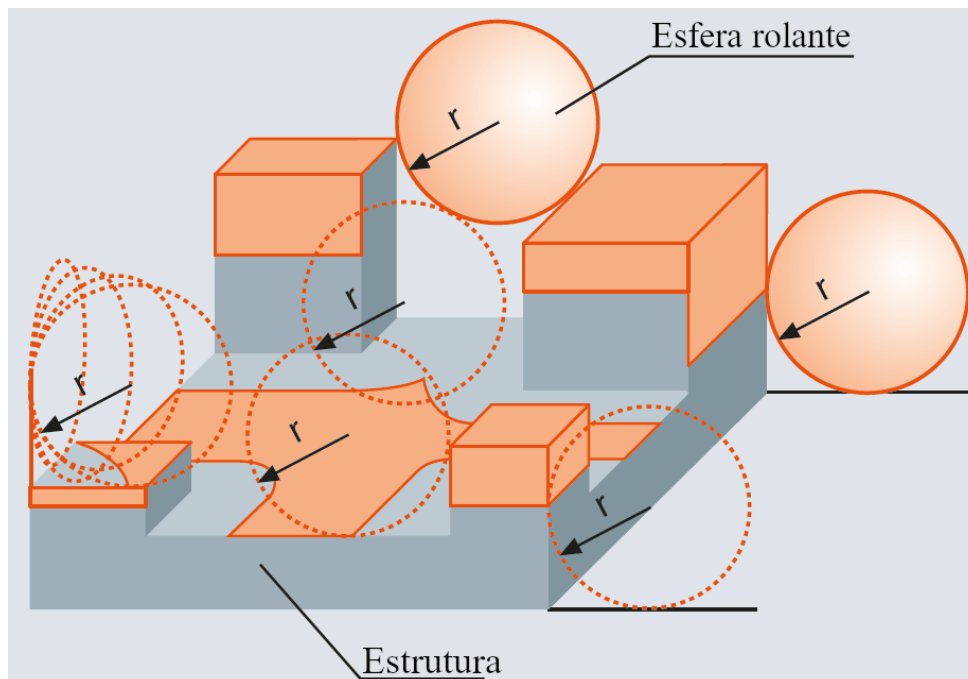
O método das malhas abre a possibilidade da utilização de captosres de menor altura e a sua instalação deve ser preferencialmente (ABNT NBR 5419-3, 2015):

- Na periferia da cobertura da estrutura;
- Nas saliências da cobertura da estrutura;
- Nas cumeeiras dos telhados, se o declive deste exceder 1/10 (um de desnível por dez de comprimento);

A Figura 36 também mostra o método da esfera rolante. Esse método tem como objetivo analisar quais superfícies da estrutura a ser protegida estarão submetidas ao risco de descarga atmosférica. Aqueles pontos ao qual a esfera toca estão desprotegidos, portanto, exigem a

instalação de um captor. A Figura 37 mostra esse método gráfico sendo aplicado em uma construção complexa, onde as áreas de cor laranja estão desprotegidas.

Figura 37: Método das esferas rolantes.



Fonte adaptado de DEHN und SÖHNE, 2014.

O valor do raio da esfera está relacionado com a classe do SPDA, como mostrado na Tabela 34.

Tabela 34: Classe de SPDA relacionado ao raio da esfera rolante.

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

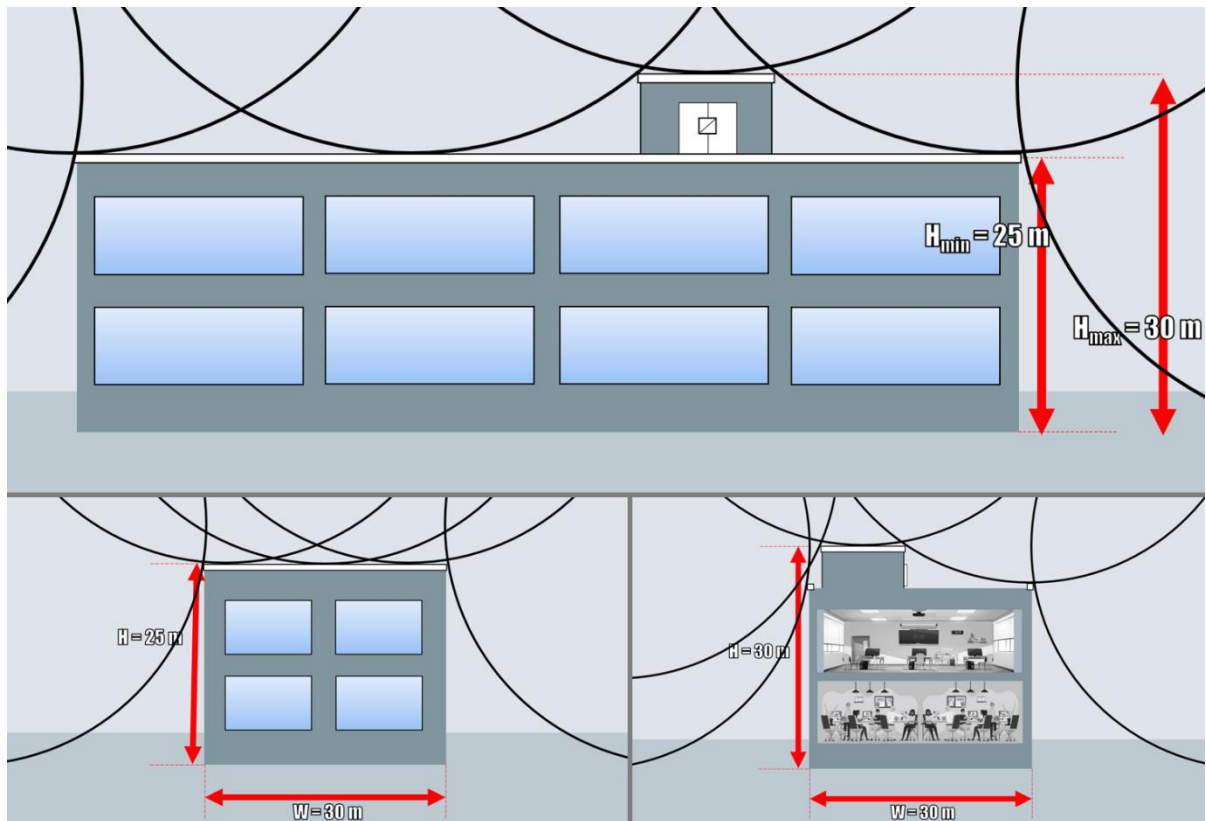
Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-3, 2015.

A Figura 38 mostra o método das esferas rolantes aplicado ao prédio exemplo.

A classe de proteção escolhida para o exemplo foi a IV, portanto, o raio das esferas rolantes da Figura 38 são de 60 m com representação em escala com as dimensões do prédio. Nesse caso, não há a necessidade de utilizar métodos de captação que atuem lateralmente na estrutura, mesmo que a esfera as toque, já que a altura do prédio é menor que 60 m.

Como a construção é complexa, a esfera deve abranjer diferentes ângulos de visão. No canto inferior esquerdo da Figura 38, as esferas rolantes passam pela área que não apresenta o cômodo, e a direita, um corte visual da estrutura no local onde se encontra o cômodo.

Figura 38: Métodos das esferas rolantes aplicado no prédio exemplo.



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir da utilização dos métodos de posicionamento anteriores, agora é possível escolher quais captadores serão utilizados. As suas características construtivas devem seguir a Tabela 35.

Tabela 35: Material, configuração e áreas de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descida.

Material	Configuração	Área da seção mínima (mm ²)	Comentários d
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75 mm
	Arredondado maciço ^d	35	Diâmetro 6 mm
	Encordoadado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura 3 mm
	Arredondado maciço	70	Diâmetro 9,5 mm
	Encordoadado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço cobreado IACS 30% ^e	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoadado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm

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

a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme ABNT NBR 6323 (ABNT NBR 5419-2, 2015).

b Aplicável somente a minicaptadores. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo, força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.

c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16%, níquel 8%, carbono 0,07%.

d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos, sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2%.

e A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30% IACS (*International Annealed Copper Standard*).

NOTA 1 Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo é importante que as prescrições da Tabela 7 sejam atendidas.

NOTA 2 Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

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

Além disso, os captadores de uma estrutura também podem ser alguns dos elementos metálicos utilizados na sua construção, denominados de componentes naturais, desde que sigam as seguintes características (ABNT NBR 5419-3, 2015):

1. Chapas metálicas que cobrem a estrutura, desde que:
 - a. A continuidade elétrica entre as diversas partes seja feita de forma duradoura (por exemplo solda forte, caldeamento, frisamento, costurado, aparafusado ou conectado com parafuso e porca);
 - b. A espessura da chapa não seja menor que o valor de t' (Tabela 36), se não for importante que se previna a perfuração da chapa ou se não for importante considerar a ignição de qualquer material inflamável abaixo da cobertura;
 - c. A espessura da folha metálica não seja menor que o valor de t (Tabela 36), se for necessárias precauções contra perfuração ou se for necessário considerar os problemas com pontos quentes;
 - d. Elas não sejam revestidas com material isolante.

Tabela 36: Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistemas de captação.

Classe do SPDA	Material	Espessura ^a t (mm)	Espessura ^b t' (mm)
I a IV	Chumbo	-	2
	Aço (inoxidável, galvanizado a quente)	4	0,5

	Titânio	4	0,5
	Cobre	5	0,5
	Alumínio	7	0,65
	Zinco	-	0,7
a: t previne perfuração, pontos quentes ou ignição b: t' somente para chapas metálicas, se não for importante prevenir a perfuração, pontos quentes ou problemas com ignição			

Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015.

2. Componentes metálicos da construção da cobertura (treliças, ganchos de ancoragem, armadura de aço da estrutura etc.), abaixo de cobertura não metálica, desde que esta possa ser excluída do volume de proteção;
3. Partes metálicas, como as ornamentações, grades, tubulações, coberturas de parapeitos etc., que estejam instaladas de forma permanente, ou seja, que sua retirada desconfigura a característica da estrutura e que tenham seções transversais não inferiores às especificadas para componentes captadores;
4. Tubulações metálicas e tanques na cobertura, desde que eles sejam construídos de material com espessuras e seções transversais (Tabela 36).
5. Tubulações metálicas e tanques contendo misturas explosivas ou prontamente combustíveis, desde que elas sejam construídas de material com espessura não inferior as da Tabela 36 e que a elevação de temperatura da superfície interna no ponto de impacto não constitua alto grau de risco.

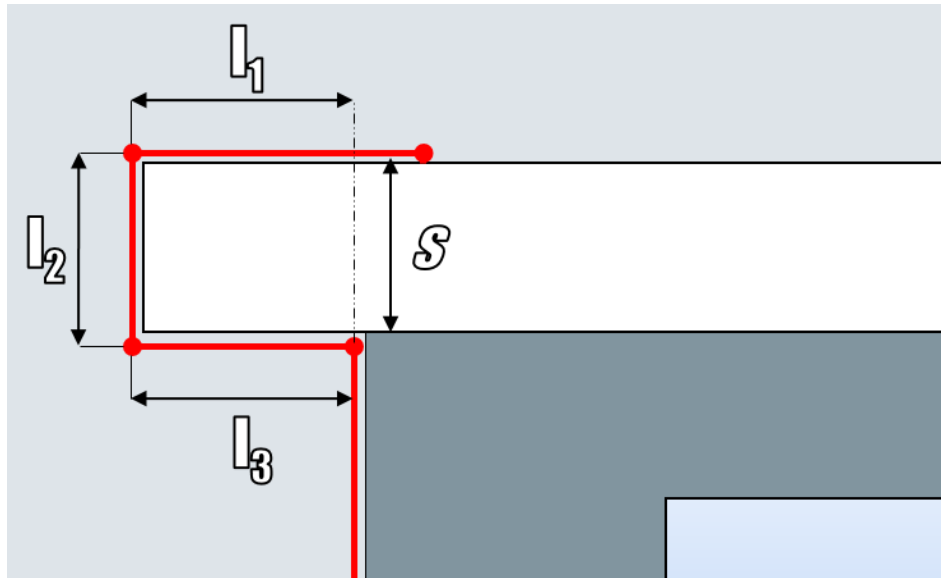
Dessa forma, caso o projeto de construção civil seja feito em conjunto com o de proteção contra descargas atmosféricas há a possibilidade da redução do custo total do sistema. No entanto, uma série de características relacionadas à consituição dos materiais componentes da estrutura devem ser considerados.

4.3.2. Subsistema de descida

Após o raio se conectar com o para-raio, ou aos condutores-captadores, esse será conduzido para a terra através do subsistema de descida. Os condutores de descida devem seguir o caminho mais retilíneo e vertical possível (ABNT NBR 5419-3, 2015), dessa forma, retirando a possibilidade de laços para que não haja a indução de campos eletromagnéticos nos equipamentos do interior da construção.

No entanto, caso não haja a possibilidade de retirar os laços, sua construção deve respeitar a distância de segurança (s), como mostrado na Figura 39.

Figura 39: Exemplo de um laço no condutor de descida.



Fonte: elaborado pelo autor.

O seu cálculo é feito através da Equação 33.

$$s = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l \quad (33)$$

Onde, k_i depende do nível de proteção do SPDA (Tabela 37), k_c depende da corrente de descarga atmosférica pelos condutores de descida (Tabela 38), k_m depende do material isolante (Tabela 39) e l é o comprimento em metros ao longo do subsistema de captação ou descida, desde o ponto onde a distância de segurança deve ser considerada até a equipotencialização mais próxima (desconsiderado caso o telhado metálico contínuo for utilizado como captação natural).

Tabela 37: Isolação do SPDA externo - valores de coeficiente k_i .

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

Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015.

Tabela 38: Isolação SPDA externo - valores aproximados do coeficiente k_c .

Número de descidas (n)	k_c
1 (somente para SPDA isolado)	1
2	0,66
3 ou mais	0,44

Nota: A abordagem simplificada gera resultados mais conservadores

Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015.

Tabela 39: Isolação do SPDA externo - valores do coeficiente k_m .

Material	k_m
Ar	1
Concreto, tijolos	0,5
Nota 1: No caso de vários materiais isolantes estarem em série é uma boa prática usar o menor valor de k_m .	
Nota 2: A utilização de outros materiais isolantes está sob consideração	

Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015.

Os condutores de descida também devem prover diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica e a equipotencialização com as partes condutoras da estrutura (ABNT NBR 5419-3, 2015).

Além disso, para a melhor distribuição de correntes pelos condutores de descida deve-se considerar interligações horizontais (aneis), saindo do anel de aterramento e se estendendo pela estrutura, com dimensões dadas pela Tabela 40. No entanto, para sistemas Frankling de, no mínimo, dois condutores de descida, deve ser decidido pelo projetista caso haja ou não a necessidade de aneis horizontais.

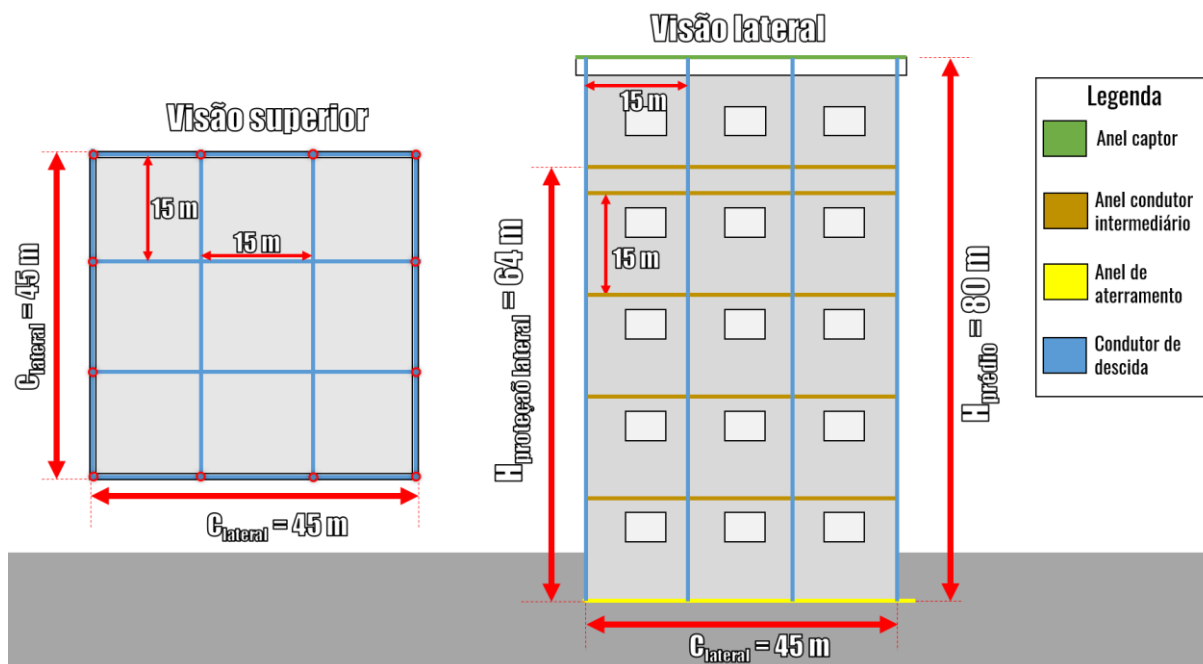
Tabela 40: Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA.

Classe do SPDA	Distâncias (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20
Nota: É aceitável que o espaçamento dos condutores de descidas tenham no máximo 20% além dos valores acima	

Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015.

A Figura 40 mostra um exemplo de como é a instalação dos condutores de descida e aneis horizontais respeitando as distâncias para uma Classe de SPDA III. O sistema de posicionamento, como evidenciado pela visão superior, é o por malhas.

Figura 40: Exemplo dos condutores de descida.



Fonte: elaborado pelo autor.

A característica e quantidade dos condutores de descida mudam caso o sistema de SPDA seja isolado ou não isolado. O SPDA é considerado isolado caso os subsistemas de descida, de mais de um captor, não estejam conectados entre si, dessa forma, não há a formação de caminhos paralelos diversos e, portanto, devem seguir as seguintes regras (ABNT NBR 5419-3, 2015):

1. Se os captores consistirem em hastes em mastros separados (ou um mastro) *não metálicos* nem interconectados às armaduras, é necessário para cada mastro pelo menos um condutor de descida. Não há necessidade de condutor de descida para mastros metálicos ou interconectados às armaduras;
2. Se os captores consistem em condutores suspensos em catenária (ou um fio), pelo menos um condutor de descida é necessário em cada suporte da estrutura;
3. Se os captores formam uma rede de condutores, é necessário pelo menos um condutor de descida em cada suporte de terminação dos condutores.

Caso o SPDA for não isolado, ou seja, há a conexão dos condutores de descida entre diferentes sistemas de captor-condutor, esses devem apresentar no mínimo dois caminhos ao qual a corrente pode passar, desde que respeite o espaçamento dado pela Tabela 40.

Um condutor de descida deve ser instalado, preferencialmente, em cada canto saliente da estrutura, além dos demais condutores impostos pela distância de segurança calculada (ABNT NBR 5419-3, 2015).

Instalações metálicas, armaduras das estruturas de concreto armado eletricamente contínua, vigamento de aço interconectado da estrutura, elementos de fachada, perfis e subconstruções metálicas das fachadas podem ser consideradas como componentes naturais, desde que sejam respeitadas as características descritas pela a ABNT NBR 5419-3.

Além disso, os materiais dos condutores devem seguir à Tabela 35 e sua fixação segue as seguintes distâncias mínimas (ABNT NBR 5419-3, 2015):

- Até 1,0 m para condutores flexíveis (cabos e cordoalhas) na horizontal;
- Até 1,5 m para condutores flexíveis (cabos e cordoalhas) na vertical/inclinado;
- Até 1,0 m para condutores rígidos (fitas e barras) na horizontal;
- Até 1,5 m para condutores rígidos (fitas e barras) na vertical/inclinado

O último fator importante para o subsistema de descida é a equipotencialização dos condutores com os elementos condutores de energia da estrutura. Como as correntes do raio são altas, há a necessidade de se diminuir a diferença de potencial entre os condutores de descida e os condutores do sistema interno.

4.3.3. Subsistema de aterramento

Após o raio se conectar com o subsistema de captação e ser conduzido pelos condutores de descida, este dissipará sua corrente através de hastes, placas, fios ou cabos, enterrados no chão seguindo as mais diversas configurações.

Dessa forma, qualquer equipamento que esteja dentro da estrutura estará devidamente protegido aos níveis destrutivos da corrente de descarga. O subsistema de aterramento, preferencialmente, deve estar conectado aos circuitos internos através de um barramento de equipotencialização (ABNT NBR 5419-3, 2015).

As ABNT NBR 5410, 7117, 15759, 16527-1, dentre outras, caracterizam o aterramento elétrico como um projeto específico, que tem como funções incrementar características como segurança e precisão de dispositivos conectados à instalação elétrica. O seu estudo é feito a partir do solo, utilizando a resistividade como elemento base para a construção e definição do melhor método de configuração do aterramento.

No entanto, há casos onde não há a necessidade de se construir um projeto específico para o aterramento, dessa forma, o subsistema de aterramento do SPDA considera apenas algumas características superficiais.

A configuração mais utilizada para o aterramento, previsto pela NBR 5419-3, é a de condutor em anel, onde um condutor gira entorno da estrutura a ser protegida sendo conectado ao subsistema de descida através de conectores (Figura 40). Outro tipo de configuração é a de malha de aterramento, mas essa exige um gasto maior e, portanto, é menos utilizada.

A ABNT NBR 5419-3 considera armaduras de aço interconectadas nas fundações de concreto e estruturas metálicas subterrâneas disponíveis como eletrodos naturais. Caso não se utilize as componentes naturais, os materiais dos eletrodos devem seguir a Tabela 41.

Tabela 41: Material, configuração e dimensões mínimas do eletrodo de aterramento.

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

a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme a ABNT NBR 6323.

b Aplicável somente a mini captores. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo: força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.

c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16%, níquel 8%, carbono 0,07%.

d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2%.

e Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo devem atender as prescrições desta tabela .

f A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30% IACS (*International Annealed Copper Standard*).

g Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

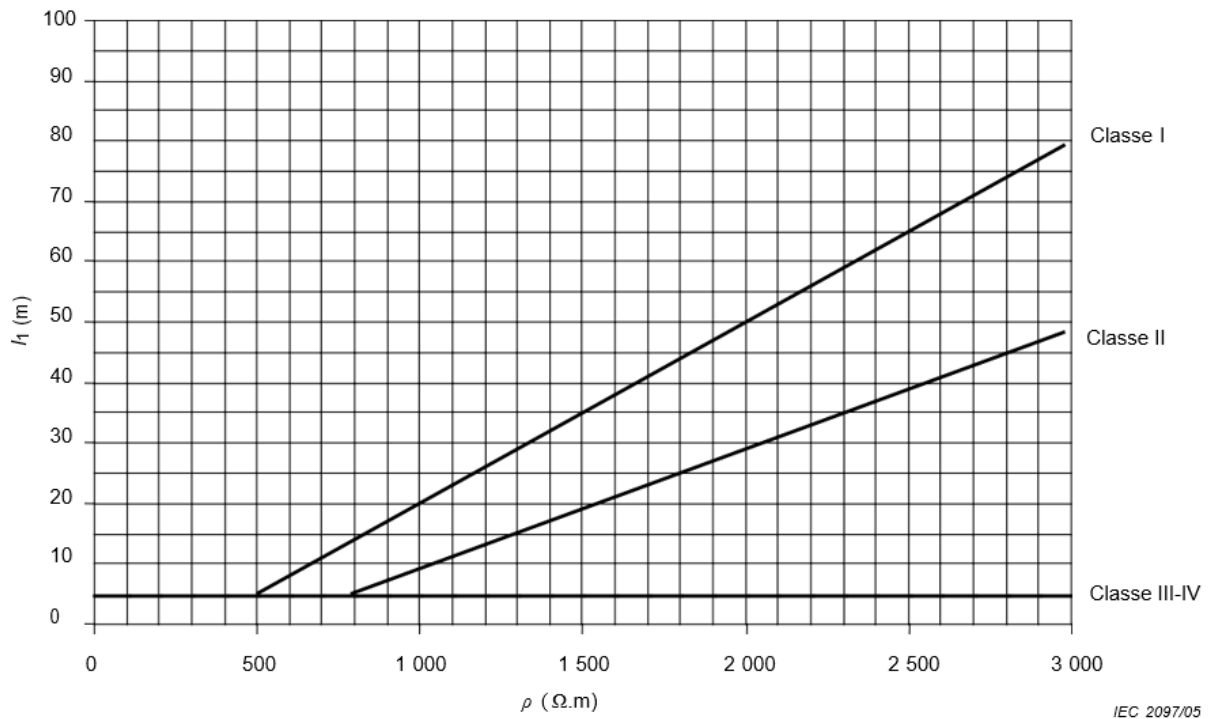
Fonte: adaptado pelo ABNT NBR 5419-3, 2015.

Para o eletrodo de aterramento em anel ou interligado a fundação descontínua, o raio médio r_e da área abrangida pelos eletrodos deve ser maior ou igual ao valor de l_1 (ABNT NBR 5419-3, 2015), mostrado pela Equação 34.

$$r_e \geq l_1 \quad (34)$$

Onde, l_1 é dado pelo gráfico da Figura 41.

Figura 41: Gráfico $l_1 \times \rho$.



Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015.

Caso a resistividade do solo seja maior que $3000 \Omega \cdot m$, os cálculos de l_1 para as classes de proteção I e II, seguem as Equações 35 e 36, respectivamente.

$$l_1 = 0,03\rho - 10 \quad (35)$$

$$l_1 = 0,02\rho - 11 \quad (36)$$

Os eletrodos devem ser enterrados em uma profundidade de no mínimo 0,5 m e estarem posicionados à 1 m de distância ao redor das paredes externas com fácil acesso para supervisões (ABNT NBR 5419-3, 2015). No entanto, caso haja a impossibilidade de se instalar ao entorno da estrutura protegida é possível fazer a sua construção abaixo do prédio, mas levando em consideração possíveis riscos de tensões superficiais.

Caso seja necessário, eletrodos adicionais podem ser conectados ao aterramento em anel estando o mais próximo possível do local onde os condutores de descida forem conectados. Quando o valor requerido de l_1 for maior do que o conveniente de r_e eletrodos adicionais

(horizontais, verticais ou inclinados) devem ser adicionados com comprimentos individuais l_r (horizontal) e l_v (vertical) dado pelas Equações 37 e 38 (ABNT NBR 5419-3, 2015).

$$l_r = l_1 - r_e \quad (37)$$

$$l_v = \frac{l_1 - r_e}{2} \quad (38)$$

Portanto, os três subsistemas do SPDA externo foram caracterizados. O subsistema de captação é o responsável pela conexão direta com o raio, enquanto o subsistema de descida e aterramento estão relacionados à condução e dissipação de sua corrente na terra. O último componente do SPDA é o sistema interno de proteção, que tem como principal objetivo evitar centelhamentos perigosos dentro do volume de proteção.

4.3.4. Sistema interno de proteção

Para que não ocorra o centelhamento perigoso nos condutores da instalação é necessário que o SPDA externo, no momento da descarga elétrica, esteja com o mesmo potencial que a instalação da estrutura protegida. A interligação pode ser feita pelos seguintes modos (ABNT NBR 5419-3, 2015):

- Direto: através de condutores de ligação, onde a continuidade elétrica não seja garantida pelas ligações naturais;
- Indireto: através de dispositivos de proteção contra surtos (DPS), onde a conexão direta por meio de condutores de ligação não possa ser realizada;
- Indireto: através de centelhadores, onde a conexão direta não é permitida.

Dessa forma, o SPDA interno discorre sobre a equipotencialização das partes metálicas, condutores externos, sistemas internos e para linhas que adentram a estrutura a ser protegida. Todas as conexões devem ser feitas através de um barramento de equipotencialização, podendo este ser o principal (BEP) ao qual recebe a conexão dos sistema internos, bem como dos externos, ou o local (BEL) que conta com ligações específicas que estejam distantes do BEP. Os BEL devem estar em coordenação com o BEP.

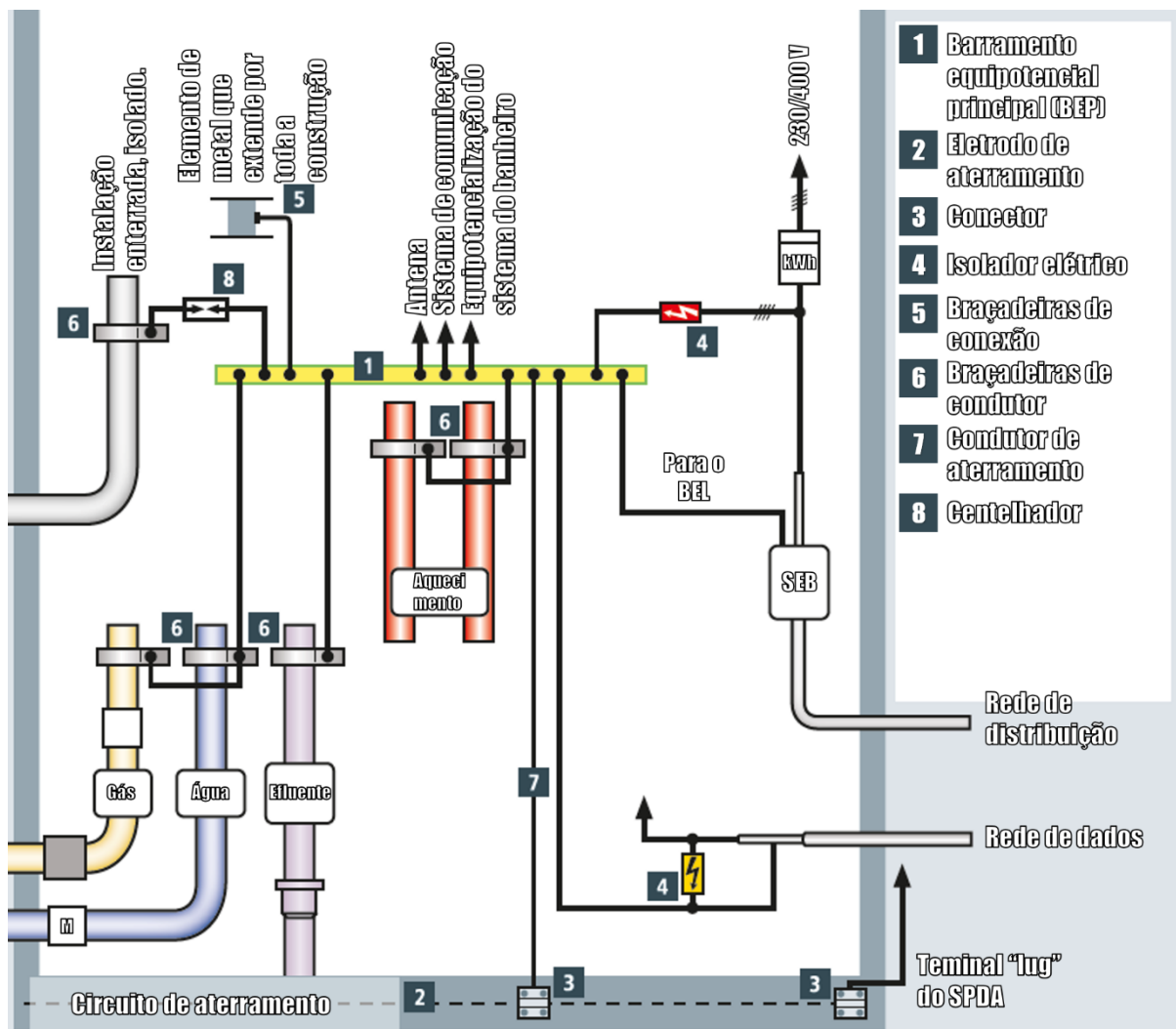
A Figura 42 mostra os principais componentes ao qual, normalmente, são feitos a equipotencialização.

A equipotencialização para o SPDA externo isolado deve ser feita apenas ao nível do solo. Já o SPDA externo conectado deve ter equipotencializações na base da estrutura, ou próximo do solo com fácil acesso para inspeção. Além disso, todas as BEL espalhadas pela

construção devem estar conectadas ao BEP e esse deve estar conectado ao aterramento. Os valores dos condutores de interligação são dados pela Tabela 42.

A equipotencialização para os sistemas internos deve ser conectada ao BEP através de DPS, sejam eles condutores vivos não blindados e que não estejam dentro de dutos metálicos. As linhas que adentram a estrutura também devem ser conectadas via DPS como mostrado pela Figura 42.

Figura 42: Exemplo de possíveis conexões ao BEP.



Fonte: adaptado de DEHN und SÖHNE, 2014.

Então, o SPDA tanto externo, quanto interno é um dos responsáveis por aumentar a proteção contra as descargas atmosféricas de uma estrutura. Através do redirecionamento da raio para o chão, pelo SPDA externo, é possível reduzir riscos à vida de pessoas que frequentam o prédio, além de diminuir danos à estrutura e o seus equipamentos internos.

Tabela 42: Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento.

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

Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015.

Já a equipotencialização por meio de barramentos, dado pelo SPDA interno, é o responsável por reduzir a ocorrência de centelhamento perigoso. No entanto, os equipamentos eletrônicos dentro da construção ainda podem ser danificados através do pulso eletromagnético criado pela descarga atmosférica (LEMP).

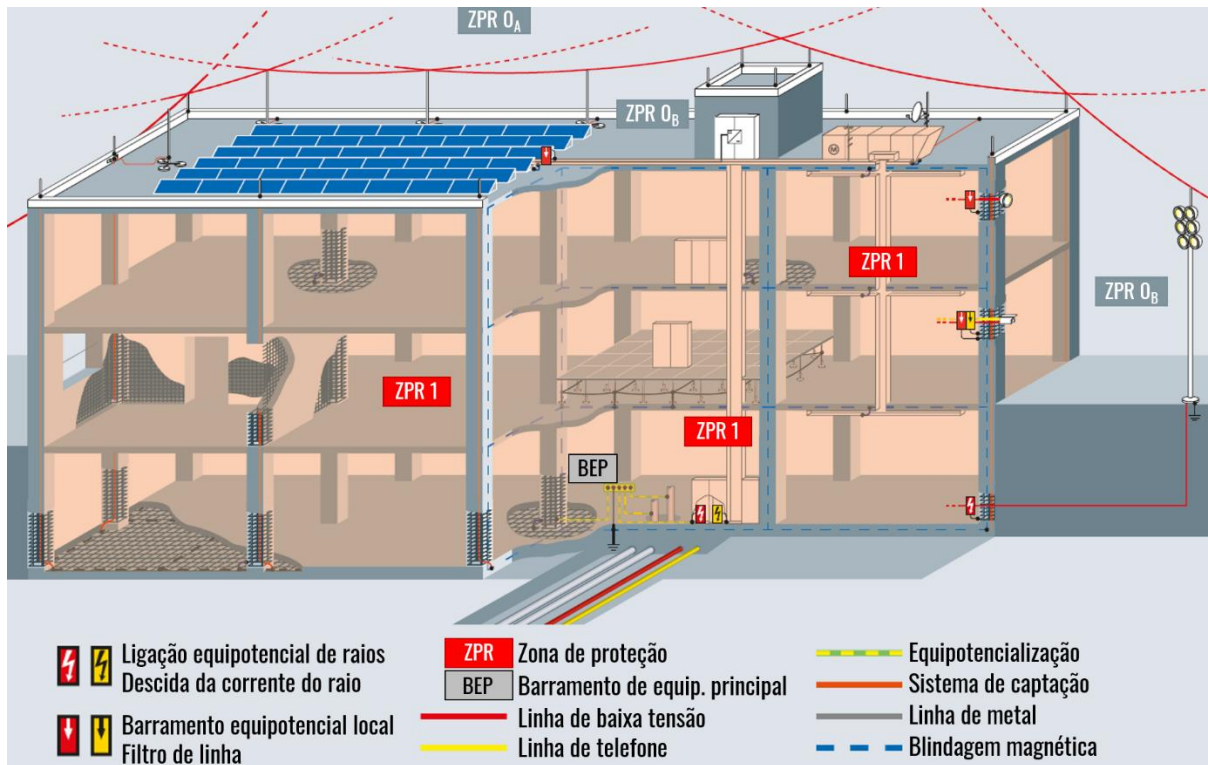
4.4. ABNT 5419-4:

A ABNT NBR 5419-4 é a responsável por padronizar as regras relacionadas a medidas de proteção contra LEMP e proteção contra surtos (MPS). Em suma, o primeiro tem como função reduzir os campos eletromagnéticos que podem danificar eletrônicos que não apresentam blindagem, enquanto o segundo dita sobre a correta conexão entre diversos circuitos de forma a promover a equipotencialidade entre os sistemas, reduzindo o risco de a corrente da descarga atmosférica atingi-los.

A Figura 43 mostra o prédio exemplo com o SPDA externo e interno detalhados, além das características de zona de proteção contra raios (ZPR) aliada a componentes como blindagem magnética.

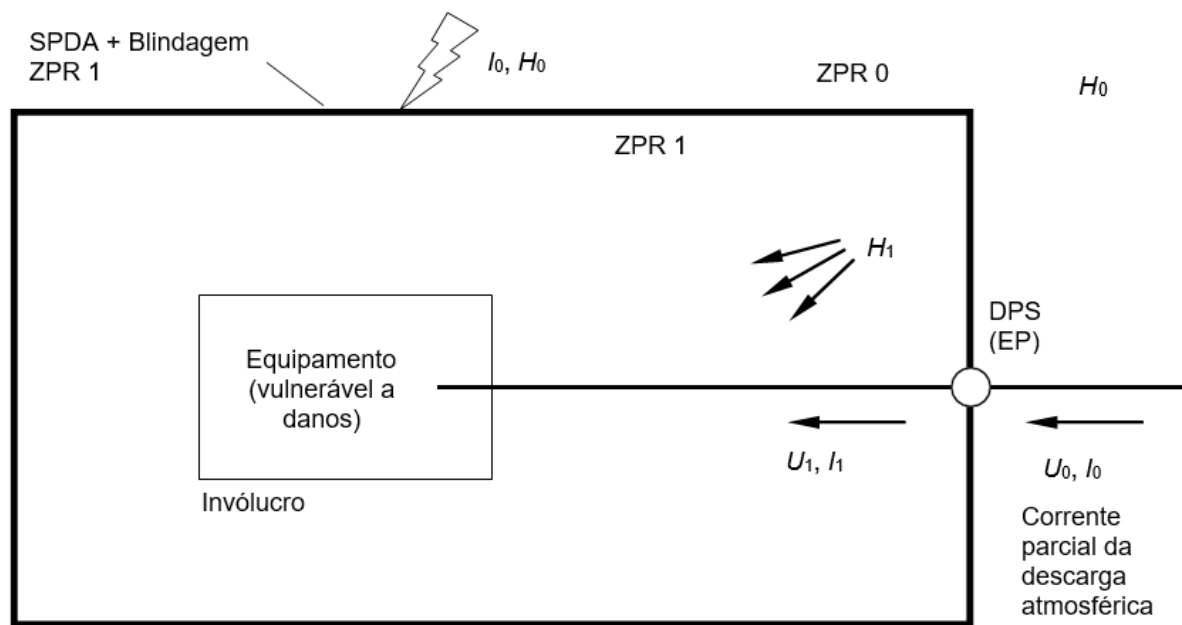
Segundo a ABNT NBR 5419-2 (2015), a proteção contra LEMP é baseada no conceito de zonas de proteção contra raios (ZPR), que são zonas teóricas associadas a um espaço onde a severidade do LEMP é compatível com a portabilidade dos sistemas internos existentes (ABNT NBR 5419-4, 2015). A Figura 44 mostra o leiaute das ZPRs relacionadas ao prédio exemplo.

Figura 43: Prédio exemplo, com vista interna.



Fonte: adaptado de DEHN und SÖHNE, 2014.

Figura 44: ZPR do prédio exemplo.



IEC 2764/10

Fonte: adaptado de IEC 2764/10.

A Figura 44 mostra que a corrente parcial que é conduzida por fora da ZPR 1 tem tensões (U_0) e correntes (I_0) diferente das U_1 , I_1 internas, bem como os campos magnéticos (H) radiados H_1 diferentes em relação à área exterior H_0 .

Essa redução de magnitude é consequência direta da instalação das blindagens na estrutura e do uso de dispositivos de proteção contra surtos. No entanto, uma estrutura pode ter maiores níveis de proteção além da ZPR1. Segundo a (ABNT NBR 5419-4, 2015) as zonas de proteção são divididas em externas e internas.

As zonas externas são classificadas como (ABNT NBR 5419-4, 2015):

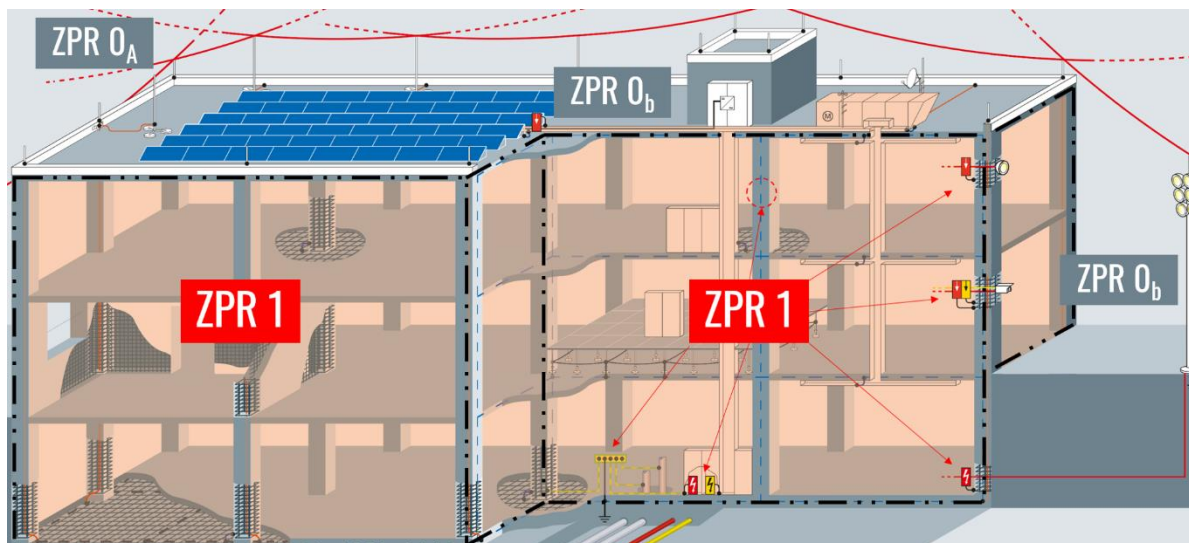
- ZPR 0_A: zona onde a ameaça é devido à descarga atmosférica direta e a totalidade do campo eletromagnético gerado por esta descarga. Os sistemas internos podem estar sujeitos à totalidade da corrente de surto;
- ZPR 0_B: zona protegida contra as descargas atmosféricas diretas, mas onde a ameaça é causada pela totalidade do campo eletromagnético. Os sistemas internos podem estar sujeitos às correntes de surto parciais.

As zonas internas, aquelas protegidas contra as descargas atmosféricas diretas, são classificadas como (ABNT NBR 5419-4, 2015):

- ZPR 1: zona onde a corrente de surto é limitada pela distribuição das correntes e interfaces isolantes e/ou por DPS ou blindagem espacial instalados nas fronteiras das zonas. Blindagens espaciais em formas de grade podem atenuar significativamente o campo eletromagnético;
- ZPR 2...n: zona onde a corrente de surto pode ser ainda mais limitada pela distribuição das correntes e interfaces isolantes e/ou por DPS adicionais nas fronteiras entre as zonas mais internas. Blindagens adicionais podem ser usadas para atenuação adicional de campo eletromagnético gerado pela descarga atmosférica.

Na Figura 45 é evidenciado a aplicação das zonas de proteção de acordo com as classificações da ABNT NBR 5419-4. A área externa aos captosres é a ZPR 0_A, enquanto a ZPR 0_B é a área abaixo dos para-raios, consequentemente, não há o risco de descarga atmosférica direta nessa área. Na zona lateral à estrutura é possível notar um poste de luz aterrado e conectado ao prédio através de uma ligação equipotencial, portanto, este pode ser considerado um captor natural. Dessa forma, a área entre o prédio e o poste é considerada uma ZPR 0_B.

Figura 45: Zonas de proteção detalhadas no prédio exemplo.



Fonte: adaptado de ABNT NBR 5419-4, 2015.

Já a parte interna da estrutura é considerada como ZPR 1, pois os elementos que adentram a estrutura estão conectados através de DPS no BEP, além do uso de BEL para equipotencialização de equipamentos distantes do barramento principal. Aliado a essas características, a própria estrutura contém blindagem em sua construção reduzindo a intensidade do campo magnético irradiado em seus sistemas internos.

Para o caso de estudo deste trabalho, apresentado no Capítulo 5, não há a necessidade da blindagem, apenas de DPS, com o foco exclusivo para a proteção de sistemas elétricos e eletrônicos na área interna da estrutura.

Dessa forma, não serão apresentados tópicos específicos da ABNT NBR 5419-4 como: diferentes configurações entre blindagens e coordenação de MPS, equipotencialização e aterramento, blindagem magnética e roteamento de linhas, dentre outros.

No entanto, para o prédio exemplo, algumas características do MPS já são o bastante para a mudança dos valores relacionados aos riscos percorridos na ABNT NBR 5419-2. Dessa forma, no Apêndice B são apresentados os seus cálculos com os valores atualizados.

4.5. NT 40/2019 – Corpo de Bombeiros Civil de Goiás:

O texto da NBR 5419-2015 padroniza as nomenclaturas, dispositivos, materiais e técnicas a serem aplicadas para a proteção contra as descargas atmosféricas. No entanto, o órgão que fiscaliza caso o projeto de SPDA esteja corretamente instalado e seguindo as regras estabelecidas é o Corpo de Bombeiros Militar. Consequentemente, o conhecimento da norma técnica dos bombeiros é essencial para o projetista.

Nesse caso, como o estudo é feito em Itumbiara (GO) foi verificada as características da NT 40/2019 dos bombeiros de Goiás. Como a função dessa NT é principalmente padronizar as inspeções técnicas do Corpo de Bombeiros, atentando para especificações técnicas a serem observadas e características da instalação de para-raios, essa se torna um resumo breve dos pontos mostrados pela NBR 5419-2015.

Como a norma técnica do Corpo de Bombeiros tem como base a NBR 5419-2015, todas as especificações explanadas no Capítulo 4 são válidas. No entanto, em alguns casos, os cálculos podem retornar valores de NP abaixo dos mínimos descritos pela NT. Por exemplo, em casos onde o SPDA IV em uma indústria é o suficiente em relação ao risco tolerável da NBR 5419, no entanto, não respeite o NP III dado pela Tabela 43, presente na NT 40.

Dessa forma, são descritos a seguir os principais pontos que podem ser utilizados como base para projetistas de SPDA dentro do território goiano.

Segundo a NT 40/2019, o cabo de descida ou escoamento de para-raios deverá passar distante no mínimo 3 m de materiais de fácil combustão e de outros em que possa causar danos. Além disso, os condutores de descida (subsistema de descida) devem seguir a tabela de espaçamento (Tabela 40). Na NT 40/2019 há diversos pontos ressaltando a necessidade de se retirar captos radioativos, e qual é o procedimento correto para sua retirada, desativação e descarte.

A partir das caixas de medição, previstas pela NBR 5419-2015, são testadas a resistência ôhmica dos condutores do SPDA através de terrômetros, aliado à inspeção visual de todos os seus componentes. Como base para os inspetores os seguintes itens devem ser verificados (ABNT NBR 5419-2, 2015 e CORPO DE BOMBEIROS MILITAR, 2019):

- Não poderá haver captos mais baixos que antenas de TV;
- Não poderá haver sistemas sem conservação (sem cabos, mastros quebrados ou isoladores danificados) e nem emendas nos condutores de descida;
- Deverá haver, *no mínimo*, dois condutores de descida;
- O Corpo de Bombeiros Militar deverá exigir que seja apresentado, pelo responsável técnico, documentação de responsabilidade técnica devidamente anotado no conselho de classe, de execução, instalação ou manutenção do SPDA, com parecer conclusivo e com resultados das resistências medidas, devendo os mesmos estarem de acordo com a NBR 5419-2015;

- Condutores de descida não naturais devem ser instalados a uma distância mínima de 0,5 m de portas, janelas e outras aberturas, e fixadas a cada metro de percurso;
- Cabos de descida devem ser protegidos contra danos mecânicos até no mínimo 2,5 m acima do nível do solo. A proteção deve ser por eletroduto rígido de PVC ou metálico, sendo que, no último caso, o cabo de descida deve ser conectado às extremidades.

Assim como na NBR 5419-2015, os casos relacionados à materiais combustíveis e com risco de explosão recebem uma maior prioridade de proteção. Dessa forma, a NT discorre sobre características a serem seguidas para tanques com teto fixo, flutuante, não-metálico e como deve ser o aterramento destes, mas não serão apresentadas nesse trabalho.

Além disso, a NT 40/2019 deixa claro algumas especificações mínimas do nível de proteção a serem seguidas para a instalação do PDA para cada tipo de estrutura, como mostrado na Tabela 43. Dessa forma, o projetista do sistema de proteção contra descargas atmosféricas consegue saber de antemão quais serão as características mínimas da proteção, podendo ser modificadas a partir do nível de proteção necessário para o cliente.

Consequentemente, através do estudo da NBR 5419 de 2015, aliado às informações de NP mínimos para a instalação de PDA no estado de Goiás, dados pela NT 40/2019, agora é possível analisar o caso estudo desse trabalho.

Tabela 43: Classificação das estruturas a partir do NP do PDA.

Classificação da estrutura	Tipo da estrutura	Efeito das descargas atmosféricas	NP
Estruturas comuns ¹	Residenciais	Perfuração da isolação de instalações elétricas, incêndio, e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos no ponto de impacto ou no caminho do raio	III
	Fazendas, estabelecimentos agropecuários	Risco direto de incêndio e tensões de passo perigosas Risco indireto devido à interrupção de energia e risco de vida para animais devido à perda de controles Eletrônicos, ventilação, suprimento de alimentação e outros	III ou IV²
	Teatros, escolas, lojas de departamentos, áreas desportivas e igrejas	Danos às instalações elétricas (por exemplo: iluminação) e possibilidade de pânico Falha do sistema de alarme contra incêndio, causando atraso no socorro	II
	Bancos, companhias de seguro, companhias comerciais e outros	Como item acima, além de efeitos indiretos com a perda de comunicações, falhas dos computadores e perda de dados	II
	Hospitais, casa de repouso e prisões	Conforme item sobre teatro e escolas, além de efeitos indiretos para pessoas em tratamento intensivo e dificuldade de resgate de pessoas imobilizadas	II
	Indústrias	Efeitos indiretos conforme o conteúdo das estruturas, variando de danos pequenos a prejuízos inaceitáveis e perda de produção	III
	Museus, locais arqueológicos	Perda de patrimônio cultural insubstituível	II
Estruturas com risco confinado	Estações de telecomunicação usinas elétricas Indústria	Interrupção inaceitável de serviços públicos por breve ou longo período de tempo Risco indireto para as imediações devido a incêndios, e outros com risco de incêndio	I
Estruturas com risco para os arredores	Refinarias, postos de combustível, fábricas de fogos, fábricas de munição	Risco de incêndio e explosão para a instalação e seus arredores	I
Estruturas com risco para o meio ambiente	Indústrias químicas, usinas nucleares, laboratórios bioquímicos	Risco de incêndio e falhas de operação, com consequências perigosas para o local e para o meio ambiente	I

¹. Os Equipamentos de Tecnologia da Informação (ETI) podem ser instalados em todos os tipos de estruturas, inclusive estruturas comuns. É impraticável a proteção total contra danos causados pelos raios dentro destas estruturas; não obstante, devem ser tomadas medidas (conforme a NBR 5410) de modo a limitar os prejuízos a níveis aceitáveis;

². Estruturas de madeira: nível III; estruturas nível IV. Estruturas contendo produtos agrícolas potencialmente combustíveis (pós de grãos) sujeitos a explosão são considerados com risco para arredores.

Fonte: adaptado de CORPO DE BOMBEIROS MILITAR, 2019.

5. ESTUDO DE CASO

Através dos conhecimentos dispostos na ABNT NBR 5419-2, NBR 5419-3, NBR 5419-4 é possível verificar as características do sistema de proteção contra descargas atmosféricas instalado no Refeitório do IFG *Campus* Itumbiara.

5.1. Contextualização

O ponto inicial do estudo de caso é o levantamento de quais são as estruturas que estão instaladas próximas de sua área. Isso é consequência direta da filosofia empregada na análise de risco apresentada no Capítulo 4.

Fatores como localização relativa, ambiente e formas aos quais os cabos de energia, e sinal, se conectam com a estrutura a ser protegida devem ser considerados. Somente dessa forma é possível calcular o nível de proteção ao qual a estrutura deve ser submetida.

A Figura 46 mostra as principais estruturas dentro do IFG - *Campus* Itumbiara. Apenas a quadra de esportes não apresenta um sistema que protege sua estrutura contra os riscos relacionados a descargas atmosféricas.

Além disso, todos os projetos de proteção para as outras estruturas foram desenvolvidos ainda com os fatores determinados pela ABNT NBR 5419 de 2005, portanto, não contam com o estudo da análise de risco prévia de cada estrutura.

Figura 46: Localização das estruturas dentro do IFG - *Campus* Itumbiara.



Fonte: elaborado pelo autor.

Dessa forma, como exemplo, no bloco antigo (Figura 46) se utiliza uma torre com SPDA tipo Franklin e se espera que todos os blocos estejam englobados pelo seu volume de proteção. Além disso, cada um dos blocos do 300 ao 500 (Figura 46) apresentam uma proteção por 3 mastros com captotes na parte superior de sua construção. Os seus sistemas de proteção não consideram o contexto do entorno de sua construção para o desenvolvimento de seus projetos.

Caso o SPDA das estruturas mostradas pela Figura 46 fosse construído seguindo a NBR 5419-2015, além da análise de risco considerando o entorno das estruturas, a parte do aterramento de cada um dos sistemas de proteção também seria diferente.

Nesse caso, seria priorizado a equipotencialização dos aterramentos, através de Barramentos de Equipotencialização Local, distribuídos pela área do *Campus*, sendo estes conectados ao Barramento de Equipotencialização Principal. Além disso, várias outras modificações poderiam ser feitas para aumentar o custo-benefício da proteção.

Para o Refeitório existem três estruturas que tem altura próxima a sua construção. Na Figura 46 são destacados árvores e estruturas que estão relativamente próximas, auxiliando na verificação do entorno. As árvores estão espaçadas em 36, 50 e 62 metros. Além disso, uma caixa d'água metálica está a 39,5 m, o bloco 500 a 43 m e, finalmente, a quadra de esportes está a 50 m.

Agora já são conhecidos algumas das estruturas ou objetos que podem influenciar nos cálculos da análise de risco do Refeitório. Além disso, é necessário verificar é qual a finalidade dada a esta estrutura, além de como se dá a frequência de sua utilização.

Segundo o site do IFG Itumbiara (2020), em 08 de maio de 2017 o Refeitório do *Campus* Itumbiara entrou em funcionamento. Dessa forma, essa estrutura começou a ter uma frequência de pessoas em determinadas horas do dia.

Do ponto de vista da análise de risco, agora é possível saber a quantidade de pessoas, bem como quantas horas os alunos e funcionários estariam dentro dessa estrutura em valores reais. No entanto, para casos onde a estrutura esteja apenas em projeto, há a possibilidade de se fazer estudos preditivos para que esses fatores sejam definidos.

A Tabela 44 mostra os horários e a previsão da quantidade de alunos para cada refeição servida.

Tabela 44: Horários e previsão de quantidade de alunos no Refeitório.

Refeição	Horários de funcionamento		Previsão de qtd. de alunos
	Entrada	Encerramento	
Café da manhã	8h20 às 8h45	9h	130
Almoço	11h30 às 13h30	14h	150
Lanche noturno	20h20 às 21h	21h15	30

Fonte: adaptado de IFG, 2020

O Refeitório pode, ao longo do tempo, ter um aumento na quantidade de pessoas que o frequenta. Dessa forma, para que os fatores levem em consideração esse aumento gradual, pode-se fazer previsões simples com uma adição percentual, ou ainda, utilizar como base o valor de lotação máxima do local.

Além disso, outro fator é o tempo de presença. O Refeitório tem o horário marcado para servir as suas refeições, no entanto, os funcionários que preparam a comida e organizam o salão permanecem por mais tempo no local. Consequentemente, tal característica é levada em consideração para o valor final do tempo de presença.

Dessa forma, os valores dos fatores em relação ao Refeitório são mostrados pela Tabela 45.

Tabela 45: Número de pessoas e tempo de presença anual da estrutura.

Zona	Número de pessoas	Dias úteis	Tempo de presença (dia)	Tempo de presença (ano)
Zona externa	20	251	8h	2008h
Zona interna	250			
Total	n_t = 270			

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 47 mostra a estrutura do Refeitório, bem como dá a perspectiva das outras estruturas que compõem o IFG *Campus* Itumbiara.

A partir da Figura 47 é possível retirar algumas conclusões. Essa é uma estrutura complexa, com uma protuberância de duas alturas lembrando um trapézio retângulo deitado. A área coberta lateral não se estende por todo o perímetro da estrutura e o seu piso externo é coberto de concreto, bem como o seu piso interno.

Além disso, as Figuras 46 e 47 não evidenciam linhas aéreas. Através da planta baixa da instalação elétrica é possível verificar que as linhas de energia chegam à estrutura pelo meio subterrâneo, através de um eletroduto em PVC.

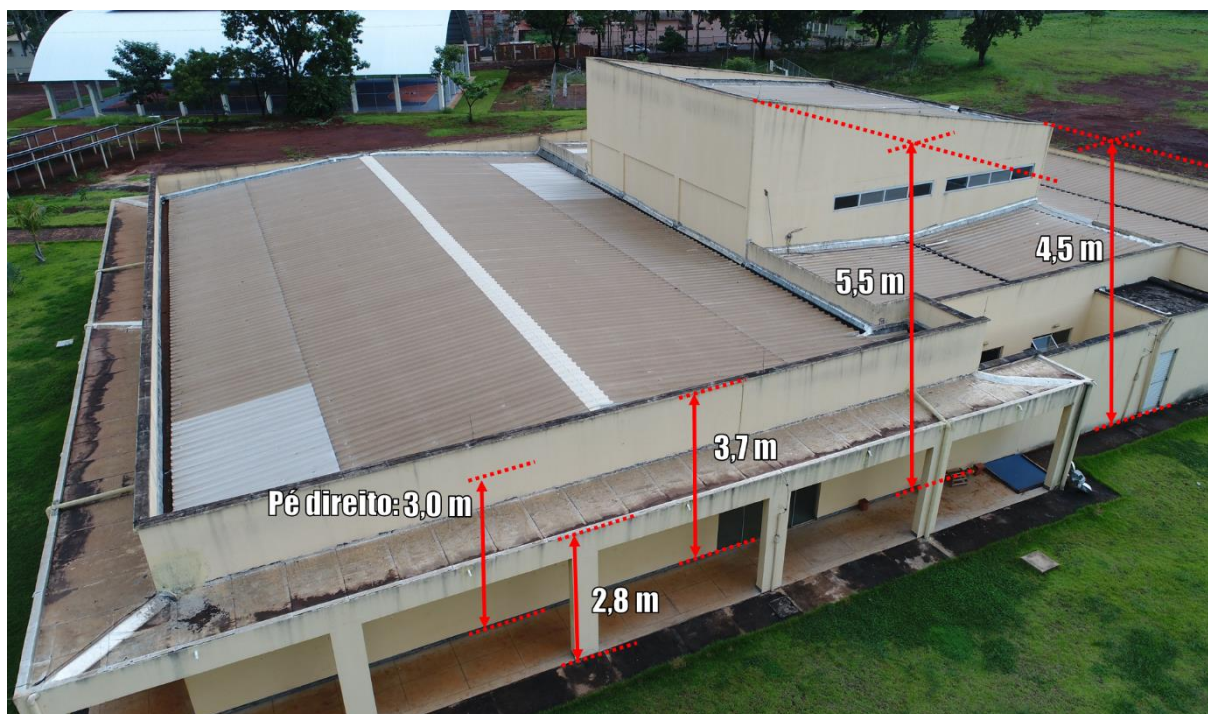
A Figura 48 mostra os valores de cada um dos pontos principais relacionadas às alturas do Refeitório. A partir desses valores é possível calcular os níveis relacionados ao valor de N (características da estrutura). A dimensão da construção é 42 x 33 x 5,5 m.

Figura 47: Visualização do Refeitório e das outras estruturas do IFG - *Campus Itumbiara*.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 48: Alturas do Refeitório.



Fonte: elaborado pelo autor.

Finalmente, essa estrutura já apresenta um sistema de proteção contra descargas atmosféricas. No entanto, todo o seu projeto foi desenvolvido ainda nos moldes da NBR 5419-

2005. Dessa forma, para classificar o seu nível de proteção, as suas características devem ser estudadas.

5.2. Análise do SPDA do Refeitório e sua análise de risco

Na Figura 49 são evidenciados especialmente a área coberta, além dos elementos componentes do SPDA externo do Refeitório, que foi projetado ainda seguindo os conceitos da NBR 5419-2005.

Figura 49: SPDA e vista aproximada do Refeitório.



Fonte: elaborado pelo autor.

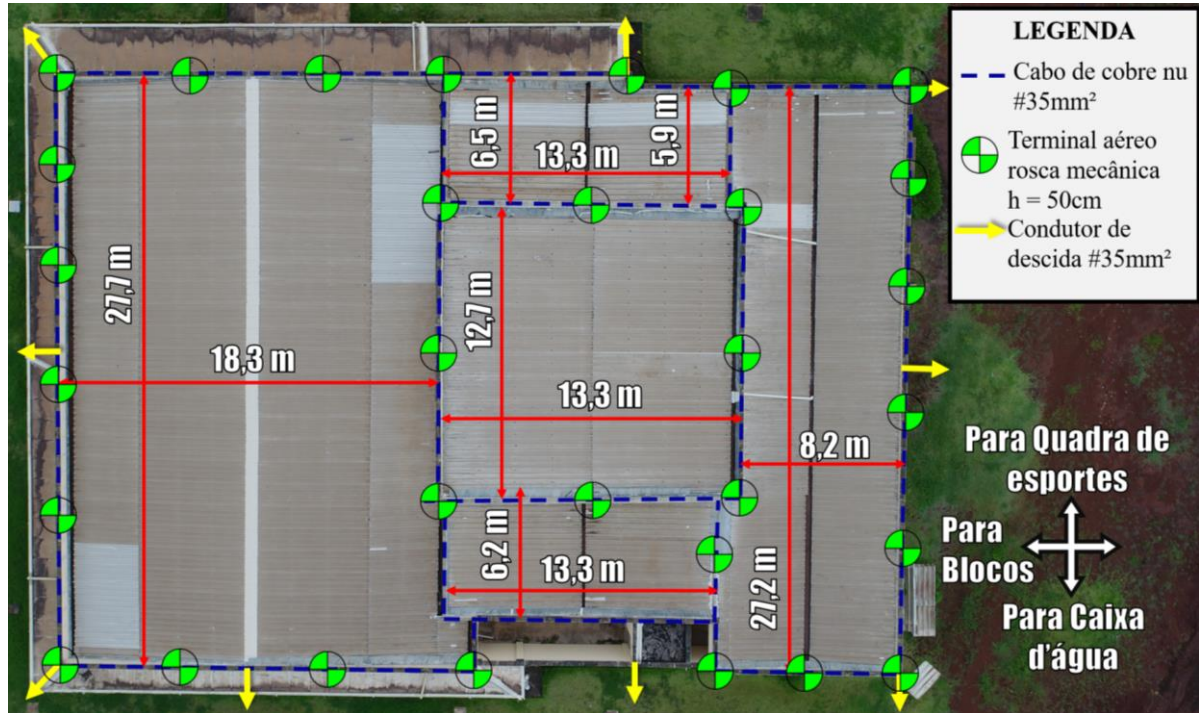
Na parte superior da estrutura são utilizados minicaptadores distribuídos pelas periferias da cobertura. Além disso, é possível verificar o subsistema de descida, que leva os cabos conectores dos captadores ao subsistema de aterramento, que conta com caixas de inspeção para a verificação da integridade da condutividade do SPDA.

A partir da Figura 49 é possível compreender que o método de posicionamento se assemelha ao da gaiola de Faraday, no entanto, não há a possibilidade de se verificar caso o distanciamento entre os minicaptadores, bem como o afastamento dos condutores de malha estão seguindo as distâncias compreendidas na NBR 5419-2015.

A Figura 50 mostra uma mescla entre o desenho do projeto do SPDA com as legendas de projeto, com uma foto superior do Refeitório. Pelo ângulo da foto, o cabeamento não segue

o mesmo desenho que no projeto arquitetônico, no entanto, é o suficiente para a análise de sua estrutura construtiva.

Figura 50: Projeto de SPDA aliado à imagem real.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os captadores do subsistema de captação recebem diversos nomes em diferentes literaturas e lojas especializadas em material de SPDA. No caso da Figura 50, este tipo de captor é comumente chamado de terminal aéreo e sua construção é dada como mostrado pela Figura 51.

Figura 51: Terminal aéreo de 50cm.



Fonte: imagem da internet.

O subsistema de captação atual contém ao todo 31 minicaptadores de 500 mm com diâmetro de 3/8" (9 mm) feitos de aço galvanizado a fogo (a quente) de acordo com as exigências da norma. Esse valor pode ser diferente da realidade, no entanto, durante a execução

deste trabalho o IFG não está recebendo visitas externas. Logo, a estimativa é feita baseado nas imagens aéreas dispostas neste trabalho.

Os captadores estão conectados uns aos outros através de cabos de cobre nu de 35 mm² de seção transversal, encordado. Ambos os materiais estão de acordo com Tabela 35 e 36 que dita a configuração dos materiais que devem ser utilizados para o subsistema de captação.

A NBR 5419-2015 não dita a quantidade de captadores para o Subsistema de Captação, por outro lado, para o caso do método de posicionamento da Gaiola de Faraday a norma destaca a importância da instalação nas extremidades da estrutura, fato que é constatado a partir da Figura 50. No entanto, o primeiro problema em relação a norma aparece no distanciamento dos cabos de captação espalhados pela estrutura.

Segundo a Tabela 33, o máximo distanciamento entre os condutores de malha para o SPDA IV, o de menor NP, deve ser de 20 x 20 m. A Figura 50 mostra o descumprimento desses valores em dois locais diferentes da estrutura.

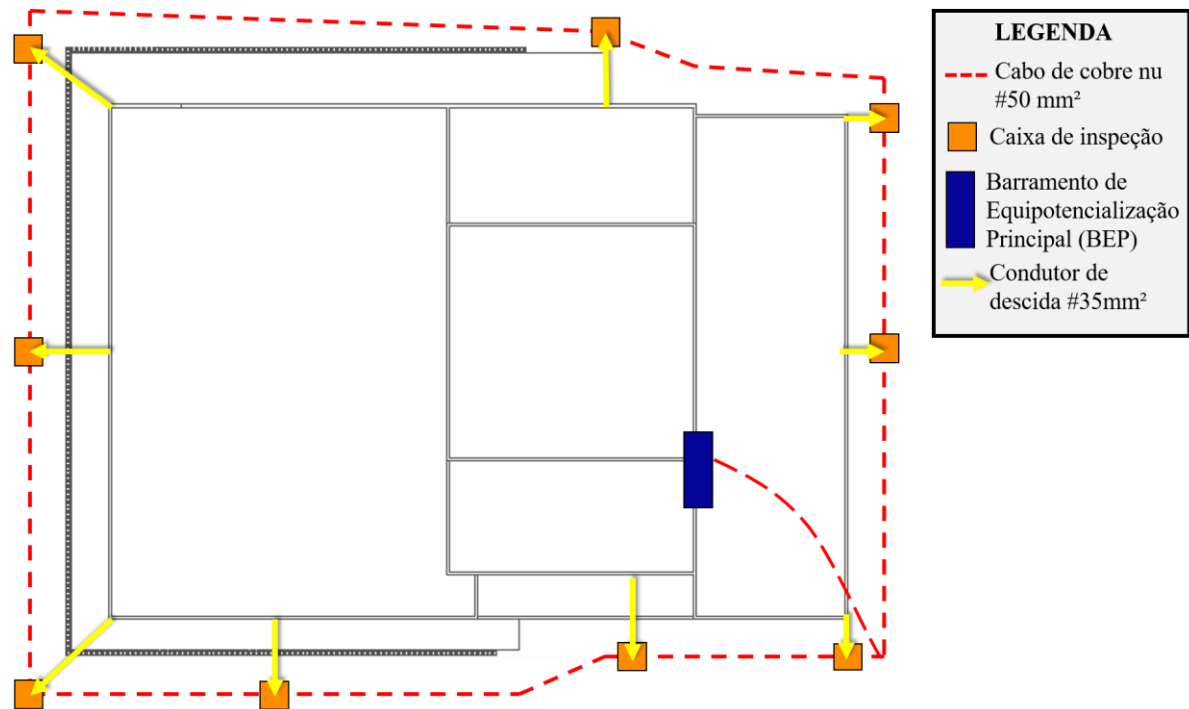
Além disso, o Subsistema de Descida também pode ser verificado. Segundo a Tabela 40, o valor máximo das distâncias entre os condutores de descida pode ser de, no máximo, 24 m (em NP IV). Esse valor é respeitado para o SPDA do Refeitório.

A Figura 52 mostra o Subsistema de Aterramento. A configuração atual instalada é a padrão em anel e respeita a distância mínima de instalação (1 m). Para reduzir ainda mais situações como tensões de passo foram instaladas hastes de cobre a fim de se diminuir a resistência Ôhmica do subsistema de aterramento.

O atual SPDA instalado no Refeitório tem uma divergência da norma em relação ao seu Subsistema de Captação, enquanto no de descida pode ser considerado NP IV e o de aterramento como NP III ou de maior nível. Dessa forma, é necessário a aplicação de mudanças estruturais para que a proteção do Refeitório atenda as exigências da NBR 5419 de 2015.

Para análise de risco, o risco tolerável para o Refeitório leva em consideração apenas a perda de vida humana ou ferimentos permanentes (L1), já que pela destinação da estrutura não há a necessidade de cálculos de perdas (L4), bem como não se encaixa nas perdas de serviço ao público (L2) e ao patrimônio cultural (L3). Além disso, ainda que o SPDA atual não respeite as características dadas pela NBR 5419-2015, é um fato que o sistema existe. Dessa forma, será considerado o SPDA com nível IV do Refeitório para os cálculos de análise de risco.

Figura 52: Subsistema de aterramento atual do Refeitório.



Fonte: elaborado pelo autor.

Dessa forma, são feitos apenas os cálculos dos riscos da estrutura, das linhas de tensão e sinal, calculados pelas equações 30 a 32 do Capítulo 4. Como as fórmulas e cálculos já foram percorridos no Capítulo 4.2, por questões de brevidade as Tabelas 46, 47, 48, 49, 50, 51 e 52 mostram os valores dos cálculos da análise de risco do Refeitório.

Tabela 46: Características da estrutura do Refeitório.

Estrutura			
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Área de exposição equivalente	-	A_D	3438
Densidade de descargas atmosféricas para terra	Em Itumbiara - GO	N_G	4
Localização relativa da estrutura	Isolada, objetos da mesma altura ou mais baixos	C_D	0,5
Área de exposição equivalente das linhas	Considerando L_L a 1000m	A_L	40000
Fator de instalação da linha	Enterrado	C_I	0,5
Fator tipo de linha	Energia ou sinal	C_T	1
Fator ambiental da linha	Urbano	C_E	0,1
Número de eventos perigosos para a estrutura	-	N_D	$6,8760 \times 10^{-3}$
Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha	Valores similares, nesse caso, para energia e sinal	N_L	0,008
Medida de proteção adicional	Isolação elétrica e equipotencialização efetiva	P_{TA}	0,0001
Probabilidade da descarga atmosférica na estrutura causar danos físicos	Considerado SPDA classe IV	P_B	0,2

Probabilidade da descarga atmosférica na estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico	-	P_A	2×10^{-5}
Fator relacionado a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial	Nível médio de pânico	h_z	5
Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico	Todos os tipos de estrutura	L_T	10^{-2}
Número relativo médio típico de vítimas feridas por dano físico	Hospital, hotel, escola, edifício cívico	L_F	10^{-1}
Número total de pessoas na estrutura	-	n_t	300

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 47: Características da estrutura e meio ambiente do Refeitório.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km ² /ano)	Itumbiara - GO	N_G	4
Fator de localização da estrutura	Isolada, objetos da mesma altura ou mais baixos	C_D	0,5
SPDA	Considerando NP IV	P_B	0,2
Ligação equipotencial	Nenhuma	P_{EB}	1
Blindagem espacial externa	Nenhuma	$KS1$	1

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 48: Características da linha de energia do Refeitório.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Comprimento (m)	Com L_L a 1000m	L_L	1000
Fator de Instalação	Enterrada	C_I	0,5
Fator tipo da linha	Linha BT	C_T	1
Fator ambiental	Urbano	C_E	0,1
Blindagem da linha	Não blindada	R_S	–
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	C_{LD}	1
		C_{LI}	1
Tensão suportável do sistema interno (kV)		U_W	2,5
-	Parametros resultantes	$KS4$	0,4
		P_{LD}	1
		P_{LI}	0,3

Tabela 49: Características da linha de sinal do Refeitório

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Comprimento (m)	Com L_L a 1000m	L_L	1000
Fator de Instalação	Enterrada	C_I	0,5
Fator tipo da linha	Linha BT	C_T	1
Fator ambiental	Urbano	C_E	0,1
Blindagem da linha	Não blindada	R_S	–
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	C_{LD}	1
		C_{LI}	1
Tensão suportável do sistema interno (kV)		U_W	1,5
-	Parametros resultantes	$KS4$	0,4
		P_{LD}	1
		P_{LI}	0,5

Tabela 50: Cálculos dos parâmetros P e L da Zona interna do Refeitório.

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor
Tipo de piso		Concreto	r_t	10^{-2}
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Isolação elétrica e equipotencialização efetiva	P_{TA}	10^{-4}
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	P_{TU}	0
Risco de incêndio		Baixo	r_f	10^{-3}
Proteção contra incêndio		Nenhuma	r_p	1
Blindagem espacial interna		Nenhuma	KS2	1
Energia	Fiação interna	Não blindada (laço dos condutores em um mesmo eletroduto)	KS3	1
	DPS coordenado	Nenhuma	P_{SPD}	1
Telecom	Fiação interna	Não blindada (laço dos condutores em um mesmo eletroduto)	KS3	1
	DPS coordenado	Nenhuma	P_{SPD}	1
L1: perda de vida humana		Nível médio de pânico	h_z	5
		D1: devido à tensão de toque e passo	L_T	10^{-2}
		D2: devido a danos físicos	L_F	10^{-1}
		D3: devido a falhas de sistemas internos	L_O	–
Fator para pessoas na zona		250 pessoas	–	0,2122
		Parâmetros resultantes	L_A	$1,0102 \times 10^{-5}$
			L_U	$1,0102 \times 10^{-5}$
			L_B	$3,8204 \times 10^{-5}$
			L_V	$3,8204 \times 10^{-5}$

Tabela 51: Cálculo de parâmetros P e L da Zona externa do Refeitório.

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor
Tipo de piso		Concreto	r_t	10^{-2}
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Isolação elétrica e equipotencialização efetiva	P_{TA}	10^{-4}
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	P_{TU}	0
Risco de incêndio		Baixo	r_f	10^{-3}
Proteção contra incêndio		Nenhuma	r_p	1
Blindagem espacial interna		Nenhuma	KS2	1
L1: perda de vida humana		Nível médio de pânico	h_z	5
		D1: devido à tensão de toque e passo	L_T	10^{-2}
		D2: devido a danos físicos	L_F	10^{-1}
		D3: devido a falhas de sistemas internos	L_O	–
Fator para pessoas na zona		20 pessoas	–	$1,6979 \times 10^{-2}$

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 52: Cálculo dos valores de N do Refeitório.

	Símbolo	Resultado (1 ano)
Estrutura	N_D	$6,8760 \times 10^{-3}$
	N_M	–
Linha de energia	$N_{L \text{ energia}}$	8×10^{-3}
	$N_{I \text{ energia}}$	0,8
Linha telecom	$N_{L \text{ telecom}}$	8×10^{-3}
	$N_{I \text{ telecom}}$	0,8

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir dos valores apresentados é possível verificar caso o SPDA atual do Refeitório esteja respeitando as normas apontadas pela NBR 5419 de 2015. A Tabela 53 mostra o cálculo dos riscos

Tabela 53: Cálculo do risco R1 do PDA atual do Refeitório.

	Símbolo	Z externo	Z interno	Estrutura
D1 Ferimentos	R_A	$2,3350 \times 10^{-13}$	$2,9182 \times 10^{-12}$	$3,1517 \times 10^{-12}$
	$R_U = R_{U \text{ energia}} + R_{U \text{ telecom}}$	0	0	0
D2 Danos físicos	R_B	$1,1675 \times 10^{-8}$	$1,4591 \times 10^{-9}$	$1,3134 \times 10^{-8}$
	$R_V = R_{V \text{ energia}} + R_{V \text{ telecom}}$	$1,3558 \times 10^{-7}$	$1,6976 \times 10^{-6}$	$1,8332 \times 10^{-6}$
Total				$1,8463 \times 10^{-6}$
Tolerável		$R1 > RT (10^{-5})$		Não

Fonte: elaborado pelo autor.

Dessa forma, de acordo com a análise de risco, considerando o SPDA atual com NP IV, o Refeitório tem um sistema que o protege a partir das suas características. No entanto, o seu subsistema de captação não cumpre as distâncias mínimas sendo necessário que se façam mudanças estruturais.

Além disso, o SPDA atual do Refeitório está em descumprimento do nível mínimo de proteção necessário para estruturas como escolas dado pela NT 40/2019 dos Bombeiros de Goiás (Tabela 43). Consequentemente, o SPDA será reformulado para que encaixe nos pré-requisitos de um NP II.

5.3. Proposta de um novo SPDA para o Refeitório.

O sistema de proteção do Refeitório está atualmente em descumprimento com as distâncias mínimas do subsistema de captação da ABNT NBR 5419-2015 e em um valor inferior em proteção como classificado pela NT 40/2019 dos Bombeiros de Goiás (Tabela 43). Esta estrutura pode ser considerada do tipo comum (escola) e, portanto, deveria apresentar uma proteção de pelo menos NP II, segundo a NT.

Este nível mínimo de proteção reduz a necessidade de cálculos excessivos em relação à análise de riscos, e dá um ponto inicial para o desenvolvimento do projeto. No entanto, como cada estrutura tem as suas características, esse nível de proteção dado pela classificação dos Bombeiros deve ser utilizado apenas como uma base inicial.

Para o Refeitório há a necessidade da modificação de algumas características do PDA para que seja alcançado um nível maior de proteção. Esse tipo de estudo é usualmente necessário para as mais diversas estruturas que tem os seus sistemas de proteção contra descargas atmosféricas ainda seguindo as exigências da NBR 5419-2005.

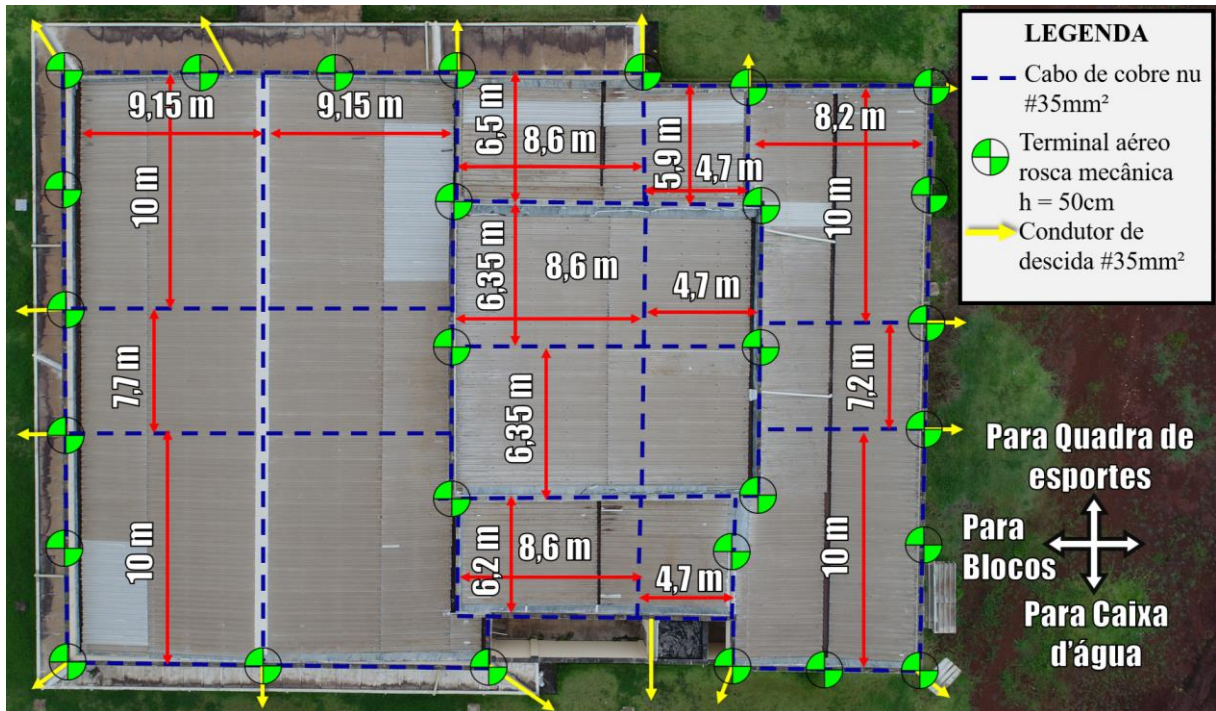
Para o estudo de caso, o método da gaiola de Faraday é bem aplicado devido as características construtivas da estrutura. Além disso, como se trata de uma adequação de norma, a aplicação de mudanças utilizando o sistema que se encontra instalado gera um alto custo-benefício. No entanto, é necessário a verificação do estado de conservação dos materiais componentes do SPDA fazendo substituição daqueles que estejam fora do padrão de manutenção.

A primeira análise se dá pelo posicionamento dos captores no Subsistema de Captação do SPDA. A indicação da localização dos captores pela norma, para o método de posicionamento da gaiola de Faraday, é a priorização das periferias, saliências e cumeeiras de telhados. A Figura 53, mostra que o atual posicionamento dos captores está de acordo com a norma e, portanto, não será necessário fazer inclusões ou retiradas dos terminais aéreos.

No entanto, no Capítulo 5 item 5.2. foi constatado o descumprimento do distanciamento mínimo dos condutores de malha utilizados no método da Gaiola de Faraday. Dessa forma, é necessário a inclusão de novas linhas com cabo de cobre nu de 35 mm² de diâmetro, para que seja respeitado o distanciamento mínimo do SPDA II de 10 x 10 metros. Esta atualização é mostrada pela Figura 53.

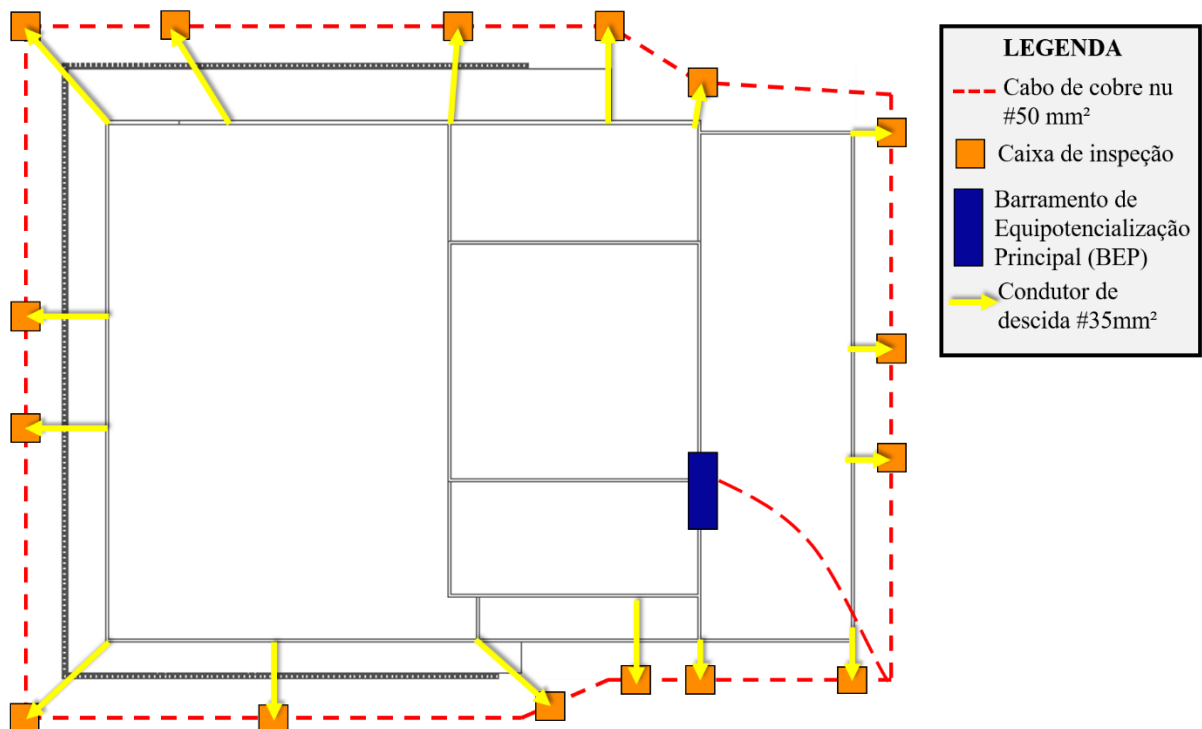
Além disso, no item 5.2. deste capítulo também foi verificado o descumprimento do Subsistema de Descida em relação a NT dos Bombeiros. Dessa forma, é necessária uma modificação da distância e, conseqüentemente, na quantidade de condutores de descidas que serão necessários para que o SPDA esteja no NP II. O número e de descidas foi de 9 para 16, sempre respeitando a distância mínima de 10 metros (com mais 2 m de limite aceitável), como mostra a Figura 53.

Figura 53: Visão superior do SPDA do Refeitório atualizado.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 54: Aterramento e conexão dos condutores de descida do SPDA atualizado.



Fonte: elaborado pelo autor.

O Subsistema de Aterramento apresenta NP III ou superior, dessa forma, não é necessário fazer nenhuma modificação estrutural. No entanto, com as modificações feitas em projeto há um aumento na quantidade de caixas de inspeção providas da atualização do

Subsistema de descida. Por fim, é previsto a instalação de um DPS para que seja criada uma ZRP interna ao Refeitório de forma a aumentar a proteção do SPDA.

5.4. Análise de risco do novo SPDA do Refeitório.

A partir das mudanças feitas no Capítulo 5.3. é possível recalcular a análise de risco e verificar se a atualização foi bem sucedida. As mudanças de maior impacto são no NP do SPDA externo e também a instalação do DPS na estrutura.

A Tabela 54 mostra os valores modificados para a análise de risco da atualização do SPDA do Refeitório.

Tabela 54: Valores modificados em relação à características da análise de risco.

Variável	Estrutura		Zona interna		Zona externa	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
P_{TA}	-	-	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
P_B	0,2	0,05	-	-	-	-
$P_{EB \text{ energia}}$	1	0,02	-	-	-	-
$P_{EB \text{ linha}}$	1	0,02	-	-	-	-
$P_{LD \text{ energia}}$	1	0,6	-	-	-	-
$P_{LD \text{ linha}}$	1	0,8	-	-	-	-

Fonte: elaborado pelo autor.

Dessa forma, os valores da análise de risco são mostrados pela Tabela 55.

Tabela 55: Nova análise de risco para o novo PDA do Refeitório.

	Símbolo	Z externo	Z interno	Estrutura
D1 Ferimentos	R_A	$5,8370 \times 10^{-14}$	$7,2854 \times 10^{-13}$	$7,8324 \times 10^{-13}$
	$R_U = R_{U \text{ energia}} + R_{U \text{ telecom}}$	0	0	0
D2 Danos físicos	R_B	$2,9187 \times 10^{-9}$	$3,6477 \cdot 10^{-9}$	$3,9396 \times 10^{-8}$
	$R_V = R_{V \text{ energia}} + R_{V \text{ telecom}}$	$1,9017 \times 10^{-9}$	$2,3766 \times 10^{-8}$	$3,5668 \times 10^{-8}$
Total				$7,5072 \times 10^{-8}$
Tolerável		$R1 > RT (10^{-5})$		Não

Fonte: elaborado pelo autor.

Dessa forma, com pequenas modificações estruturais ao PDA antigo foi possível atualizar a proteção do Refeitório de forma a respeitar os novos parâmetros dispostos pela NBR 5419 de 2015, bem como a NT 40/2019 dos Bombeiros de Goiás. Consequentemente, o público que frequenta esta estrutura, bem como os seus equipamentos, estará mais protegido contra a ação de eventuais raios que venham a colidir com o SPDA.

6. CONCLUSÃO

Através das análises da captação dos sinais providas do ELAT/CSS/INPE, no caso da cidade de Itumbiara-GO, foi possível mostrar o comportamento da quantidade de descargas NS por 5 anos. Os meses de novembro e dezembro são os que mais ocorrem descargas atmosféricas, com dezembro de 2019 registrando 776 raios em uma área com raio de 10 km, com ponto central no *Campus* Itumbiara. Durante os anos de 2015 até 2019 apenas um raio atingiu a área do IFG.

Infelizmente, não há como afirmar com certeza se que esse raio se colidiu ou não com uma estrutura. No entanto, mesmo que esse fato ocorresse a construção, as pessoas que o frequentam, bem como os seus equipamentos, estariam protegidos devido aos sistemas de proteção contra descarga atmosférica instalados nas estruturas do IFG.

No território brasileiro a responsável pelas normas e parametrizações relacionados à SPDA é a NBR 5419-2015. Em seus 4 capítulos são exploradas características para testes de equipamentos de proteção, análise de risco, SPDA externo e interno, e MPS. A partir da análise de risco é possível verificar caso uma estrutura tenha, ou não, a necessidade de instalação de proteção.

Através das características da ABNT NBR 5419-2015 foi possível analisar o atual estado do SPDA instalado no Refeitório do IFG *Campus* Itumbiara, construído ainda seguindo a NBR 5419-2005. Inicialmente, foi possível verificar o descumprimento das distâncias mínimas do subsistema de captação e em relação à proteção mínima classificada pela NT 40/2019 dos Bombeiros de Goiás.

Dessa forma, foram propostas mudanças para que esta adequação fosse possível. Consequentemente, foi proposto uma modificação da distância entre os condutores captadores a de forma a respeitar as distâncias mínimas dadas pela norma. Além disso, a quantidade de condutores de descida e de caixas de inspeção foram aumentadas. Ao final, foi verificado uma maior redução no valor de risco para o Refeitório.

Consequentemente, através do conhecimento dos comportamentos de eletrificação e descarga das nuvens, aliados à dados sobre a densidade de descargas atmosféricas, é possível atuar sobre a NBR 5419-2015 de forma a aplicar a análise de risco para uma dada estrutura. Para o caso do Refeitório do IFG *Campus* Itumbiara, o atual SPDA necessita de adequação para que siga o nível mínimo de proteção dado pela NT 40/2019 dos Bombeiros de Goiás. A partir da mudança se espera uma maior proteção quanto a vida, serviços e equipamentos na estrutura.

Quanto a sugestões de trabalhos futuros é possível inicialmente atuar sobre a execução das melhorias abordadas pela aplicação da NBR 5419-2015 e da NT 40/2019. Além disso, atuar sobre a análise e acompanhamento do subsistema de aterramento do Refeitório do IFG-*Campus Itumbiara*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. ABNT NBR 5419-1: **Proteção contra descargas atmosféricas: Parte 1: Princípios gerais**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. ABNT NBR 5419-2: **Proteção contra descargas atmosféricas: Parte 2: Gerenciamento de risco**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. ABNT NBR 5419-3: **Proteção contra descargas atmosféricas: Parte 3: Danos físicos a estrutura e perigos à vida**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. ABNT NBR 5419-4: **Proteção contra descargas atmosféricas: Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura**. Rio de Janeiro, 2015.

ALVARES, C. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BYRNE, M. et al. **Response of the Intertropical Convergence Zone to Climate Change: Location, Width, and Strength**. Current Climate Change Reports, v. 4, n. 4, p. 355-370, 2018

CHIU, C.; KLETT, J. **Convective electrification of clouds**. Journal of Geophysical Research, v. 81, n. 6, p. 1111-1124, 1976.

CLIMATEMPO, Climatologia de Itumbiara. Disponível em: <<https://www.climatepo.com.br/climatologia/727/itumbiara-go>>. Acesso em: 25 maio. 2020.

CORDEIRO, J. et al. **Polos industriais do estado de Goiás - Itumbiara**. FIEG, 2018.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR. NT 40/2019: **Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas**. 2019.

COSTA, M.; MELO, L.; DA CUNHA, D. **Governança Metropolitana do Brasil**. IPEA, 2015.

COTTON, W.; BRYAN, G.; VAN DEN HEEVER, S. **Storm and cloud dynamics**. Burlington, MA: Academic Press, 2011.

DEHN und SÖHNE. **Lightning Protection Guide**. 3. ed. Neumarkt, Alemanha, 2014.

EDENS, H. W-427-37. Disponível em: <<https://www.weatherscapes.com/photo.php?cat=miscellaneous&id=w-427-37>>. Acesso em: 11 fev. 2021.

ELAT/CCST/INPE. Dados da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas Totais. São José dos Campos – SP, 2020.

Graupel. Disponível em: <https://www.geocaching.com/geocache/GC185FZ_snow-graupel?guid=8e16c098-a839-4e75-af67-7d69080c6125>. Acesso em: 11 fev. 2021.

HOUZE, R. **Mesoscale convective systems**. Reviews of Geophysics, v. 42, n. 4, 2004.

IBGE. Brasil em síntese | dados geográficos. Disponível em: <<https://brasilensintese.ibge.gov.br/territorio/dados-geograficos.html>>. Acesso em: 29 jan. 2021.

IBGE Cidades. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/itumbiara/panorama>>. Acesso em: 20 maio. 2020.

IFG ITUMBIARA. - Refeitório do Câmpus Itumbiara entra em funcionamento. Ifg.edu.br. Disponível em: <<https://www.ifg.edu.br/aluno/170-ifg/campus/itumbiara/noticias-campus-itumbiara/2713-refeitorio-funcionamento>>. Acesso em: 1 dez. 2020.

ILLINGWORTH, A.; LATHAM, J. **Calculations of electric field growth, field structure and charge distributions in thunderstorms**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 103, n. 436, p. 281-295, 1977.

KAR, S.; LIOU, Y.; HA, K. **Aerosol effects on the enhancement of cloud-to-ground lightning over major urban areas of South Korea**. Atmospheric Research, v. 92, n. 1, p. 80-87, 2009.

- MARSHALL, T.; MCCARTHY, M.; RUST, W. **Electric field magnitudes and lightning initiation in thunderstorms**. Journal of Geophysical Research, v. 100, n. D4, p. 7097-7103, 1995.
- MARSHALL, T.; RUST, W. **Electric field soundings through thunderstorms**. Journal of Geophysical Research, v. 96, n. D12, p. 22297, 1991.
- MCCARTHY, M.; PARKS, G. **On the modulation of X ray fluxes in thunderstorms**. Journal of Geophysical Research, v. 97, n. D5, p. 5857, 1992.
- MILLER, S. et al. **Sea breeze: Structure, forecasting, and impacts**. Reviews of Geophysics, v. 41, n. 3, 2003.
- MOORE, C. **Improved configurations of lightning rods and air terminals**. Journal of the Franklin Institute, v. 315, n. 1, p. 61-85, 1983.
- NACCARATO, K. P. **Análise das características dos relâmpagos na região sudeste do Brasil**. São José dos Campos: INPE, 2005.
- NACCARATO, K.; ALBERCHT, R.; PINTO JR., O. **Cloud-to-ground lightning density over Brazil based on high-resolution lightning imaging sensor (LIS) data**. XIV International Conference on Atmospheric Electricity, 2011.
- NACCARATO, K.; PINTO, O.; PINTO, I. **Evidence of thermal and aerosol effects on the cloud-to-ground lightning density and polarity over large urban areas of Southeastern Brazil**. Geophysical Research Letters, v. 30, n. 13, 2003.
- No Copyright. Disponível em: <<https://www.no-copyright.com/stock-photo/no-copyright-image-stock-photo-15019-114462.html>>. Acesso em 11 de fev. 2021.
- PAKIAM, J.; MAYBANK, J. **The Electrical Characteristics of Some Severe Hailstorms in Alberta, Canada**. Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, v. 53, n. 6, p. 363-383, 1975.
- PETERSEN, D. et al. **A brief review of the problem of lightning initiation and a hypothesis of initial lightning leader formation**. Journal of Geophysical Research, v. 113, n. D17, 2008.
- PHELPS, C. **Positive streamer system intensification and its possible role in lightning initiation**. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, v. 36, n. 1, p. 103-111, 1974.
- PINTO, I.; PINTO, O. **Cloud-to-ground lightning distribution in Brazil**. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. v. 65, n. 6, p. 733-737, 2003.
- PINTO JR., O. et al. **Cloud-to-ground lightning observations in Brazil**. Springer, 2009. p. 209-229.
- POPULAÇÃO. Estimativas da População - IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 29 mar. 2020.
- RAKOV, V. **Electromagnetic Methods of Lightning Detection**. Surveys in Geophysics 34, 2013. p.731-753.
- Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Disponível em: <<https://emplasa.sp.gov.br/RMSP>>. Acesso em: 29 mar. 2020.
- ROTH, M. **Review of atmospheric turbulence over cities**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 126, n. 564, p. 941-990, 2007.
- SIMOMURA, C. ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/noticias/release.php?id=80>>. Acesso em: 29 jan. 2021.
- SIMOMURA, C. ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/eletricidade.atmosferica/estrutura.eletrica.da.atmosfera.php>>. Acesso em: 31 jan. 2020.
- SIMOMURA, C. ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/ondas.acusticas.php>>. Acesso em: 25 fev. 2020.

Shooting High-Resolution Macro Photos of Snowflakes. Disponível em: <<https://petapixel.com/2013/03/19/shooting-high-resolution-macro-photos-of-snowflakes/>>. Acesso em: 11 fev. 2021.

TILLES, J. et al. **Fast negative breakdown in thunderstorms**. Nature Communications, v. 10, n. 1, 2019.

TOPOGRAPHIC MAPS, **Mapa topográfico Itumbiara, altitude, relevo**. Disponível em: <<https://pt-br.topographic-map.com/maps/gieg/Itumbiara/>>. Acesso em: 21 maio. 2020.

WALISER, D. JIANG, X. **Tropical Meteorology and Climate - Intertropical Convergence Zone**. Encyclopedia of Atmospheric Sciences, v. 2, p.g. 121-131 Academic Press, 2015.

WebRaios. Disponível em: <http://www.inpe.br/webraios/wr_portal_new/ajuda.html>. Acesso em: 29 fev. 2020.

Zeus do Brasil. Terminal aéreo base vertical 500mm. Disponível em: <<https://zeusdobrasil.com.br/produtos/detalhes/terminal-aereo-base-vertical-500mm-x-3-8/>>. Acesso em: 25 maio. 2020.

APENDICE A – CÁLCULO DA ANÁLISE DE RISCO DO PRÉDIO EXEMPLO

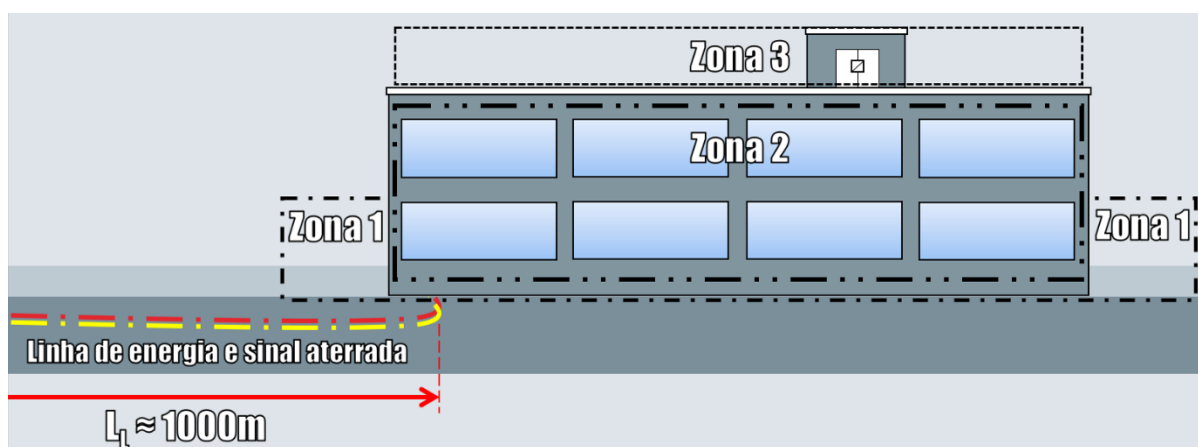
Inicialmente é importante fazer as divisões da estrutura em zonas, já que essas podem apresentar características diferentes.

As seguintes características são consideradas:

- Área exterior: superfície coberta por cascalho com extensão de 5 m para cada lado da construção;
- Área interior: superfície de cerâmica;
- Área superior: superfície de concreto.

Segundo (ABNT NBR 5419-2, 2015), as zonas são principalmente definidas a partir do tipo de solo ou piso, se há compartimentos à prova de fogo e se há a instalação de blindagem especial. Portanto, a estrutura apresentará 3 zonas como mostrado na Figura 55, nesse caso específico é considerado a área superior, já que há a possibilidade de eventuais manutenções nos módulos solares como mostrado na Figura 55.

Figura 55: Conceito de zonas aplicados ao prédio exemplo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para o caso exemplo, a Zona 1 representa a área exterior até 3m da construção, a Zona 2, o espaço interior, local onde as pessoas estarão a maior parte do tempo, e por último a Zona 3, onde existe a possibilidade de eventuais visitas.

As características da estrutura são mostradas pela Tabela 56. A estrutura, inicialmente, não apresenta SPDA, DPS e nem qualquer tipo de blindagem espacial externa.

Tabela 56: Características gerais da estrutura.

Estrutura			
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Densidade de descarga	-	N_G	4

Dimensões da estrutura (m)	-	L,W,H	80, 30, 35
Fator de localização da estrutura	Isolada	C_D	1
SPDA	-	P_B	1
Ligação equipotencial	-	P_{EB}	1
Blindagem espacial externa	-	K_{S1}	1
Fator tipo de linha	Energia ou sinal	C_T	1
Fator ambiental da linha	Urbano	C_E	0,1
Número de eventos perigosos para a estrutura	-	N_D	0,1018
Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha	Valores similares, nesse caso, para energia e sinal	N_L	0,008
Medida de proteção adicional	Nenhuma	P_{TA}	1
Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico	Todos os tipos de estrutura	L_T	10^{-2}
Número relativo médio típico de vítimas feridas por dano físico	Hospital, hotel, escola, edifício cívico	L_F	10^{-1}
Número total de pessoas na estrutura	-	n_t	300

Fonte: elaborado pelo autor

Os valores relacionados à linha de energia são mostrados pela Tabela 57. O valor de comprimento é considerado 1000 m, pois não é definido. O valor de U_W é considerado 2,5 kV já que as tensões suportadas por linhas de energia tendem a serem maiores do que a sinal, normalmente consideradas da ordem de 1,5 kV.

Tabela 57: Características da linha de energia.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Comprimento	-	L_L	1000
Fator de Instalação	Enterrado	C_I	0,5
Fator tipo de linha	Energia/sinal	C_T	1
Fator ambiental	Urbano	C_E	0,1
Blindagem da linha	Não blindada	R_S	-
Blindagem, aterramento, isolação	Nenhuma	C_{LD}	1
		C_{LI}	1
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	-
Fator de localização da estrutura	Nenhuma	C_{DJ}	-
Tensão suportável do sist. (kV)	Energia	U_W	2,5
	-	K_{S4}	0,4
	-	P_{LD}	1
	-	P_{LI}	0,3

Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 58 mostra as características relacionadas a linha de sinal. Como o local de entrada é o mesmo da linha de energia, apenas valores relacionados a características do material e da blindagem são modificados.

Tabela 58: Características da linha de sinal.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Comprimento	-	L_L	1000
Fator de Instalação	Enterrado	C_I	0,5
Fator tipo de linha	Energia/sinal	C_T	1
Fator ambiental	Urbano	C_E	0,1

Blindagem da linha	Blindada s/ conexão com barramento	R_S	0,8
Blindagem, aterramento, isolamento	Blindada s/ conexão com barramento	C_{LD}	1
		C_{LI}	0,3
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	-
Fator de localização da estrutura	Nenhuma	C_{DJ}	-
Tensão suportável do sist. (kV)	Sinal	U_W	1,5
	-	K_{S4}	0,67
	-	P_{LD}	0,8
	-	P_{LI}	0,5

Fonte: elaborado pelo autor.

Para os fatores relacionados as zonas é preciso saber qual é a destinação de cada uma, além de quais são os riscos relacionados à explosão e a incêndio. Para o caso exemplo, essas características são definidas a seguir:

- Zona 1 (área exterior): nenhum risco de incêndio e número baixo de pessoas.
- Zona 2 (escritório): baixo risco de incêndio e número médio de pessoas.
- Zona 3 (área superior exterior): nenhum risco de incêndio e número baixíssimo de pessoas.

Os números relacionados a quantidade de pessoas e o tempo de presença são apresentados na Tabela 59.

Tabela 59: Valores de número de pessoas e tempo de presença relacionados as zonas do prédio exemplo.

Zona	Número de pessoas	Tempo da presença (ano)
Z1	5	2640h
Z2	605	2640h
Z3	1	500h
Total	$n_t = 611$	

Fonte: elaborado pelo autor.

Como os valores de R_4 não são considerados, consequentemente, as perdas L_4 não serão consideradas. Assim os parâmetros relacionados às zonas ficam como mostrados nas Tabelas 60, 61 e 62.

Tabela 60: Fatores relacionados a Zona 1.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Superfície do piso	Cascalho	r_t	10^{-4}
Proteção contra choque	Nenhuma	P_{TA}	1
Medida de proteção	Restrições físicas	P_{TU}	0
Risco de incêndio	Nenhum	r_f	0
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1
Blindagem espacial interna	Nenhuma	K_{S2}	1
L1: perda de vida humana	Sem perigo especial	h_Z	1
	D1	L_T	10^{-2}

	D2	L_F	10^{-1}
	D3	L_O	-
Fator para pessoas na zona	$\frac{n_Z}{n_t} \cdot \frac{t_Z}{8760}$	-	0,0025

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 61: Fatores relacionados a Zona 2.

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor
Superfície do piso		Cerâmica	r_t	10^{-3}
Proteção contra choque		Nenhum	P_{TA}	1
Medida de proteção		Restrições físicas	P_{TU}	0
Risco de incêndio		Baixo	r_f	10^{-3}
Proteção contra incêndio		Nenhuma	r_p	1
Blindagem espacial interna		Nenhuma	K_{S2}	1
Energia	Fiação interna	Não blindado – roteamento sem grandes laços	K_{S3}	0,2
	DPS coordenado	Não	P_{SPD}	1
Sinal	Fiação interna	Não blindado – roteamento sem grandes laços	K_{S3}	0,2
	DPS coordenado	Não	P_{SPD}	1
L1: perda de vida humana		Nível médio de pânico	h_Z	5
		D1	L_T	10^{-2}
		D2	L_F	10^{-1}
		D3	L_O	-
Fator para pessoas na zona		$\frac{n_Z}{n_t} \cdot \frac{t_Z}{8760}$	-	0,2984

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 62: Fatores relacionados a Zona 3.

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor
Superfície do piso		Concreto	r_t	10^{-4}
Proteção contra choque		Nenhum	P_{TA}	1
Medida de proteção		Restrições físicas	P_{TU}	0
Risco de incêndio		Nenhum	r_f	0
Proteção contra incêndio		Nenhuma	r_p	1
Blindagem espacial interna		Nenhuma	K_{S2}	1
L1: perda de vida humana		Sem perigo especial	h_Z	1
		D1	L_T	10^{-2}
		D2	L_F	10^{-1}
		D3	L_O	-
Fator para pessoas na zona		$\frac{n_Z}{n_t} \cdot \frac{t_Z}{8760}$	-	$9,3417 \cdot 10^{-5}$

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 63: Subcomponentes de N consideradas para o prédio exemplo.

	Símbolo	Resultado m²
Estrutura	N_D	0,1463
	N_M	-
Linha de energia	N_L	0,008
	N_I	-
Linha de sinal	N_L	0,008
	N_I	-

Fonte: elaborado pelo autor.

Portanto, o R1 do prédio exemplo leva em consideração apenas as subcomponentes R_A , R_B , R_U e R_V , e a soma desses valores deve ser maior que 10^{-5} como mostrado na Tabela 64. A Tabela 63 mostra que alguns valores das subcomponentes não necessariamente serão utilizados, logo apenas N_D e N_L da linha de energia e de sinal terão seus valores utilizados. Os cálculos para cada zona e para a estrutura são mostrados na Tabela 64.

Tabela 64: Valores de risco para o prédio exemplo.

	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Estrutura
D1 Ferimentos	R_A	$2,5450 \times 10^{-10}$	$3,3038 \times 10^{-7}$	$9,5098 \times 10^{-12}$	$3,0403 \times 10^{-7}$
	$R_U = R_{U \text{ energia}} + R_{U \text{ telecom}}$	0	0	0	0
D2 Danos físicos	R_B	0	$2,1829 \times 10^{-5}$	0	$2,1829 \times 10^{-5}$
	$R_V = R_{V \text{ energia}} + R_{V \text{ telecom}}$	0	$2,1485 \times 10^{-5}$	0	$2,1485 \times 10^{-5}$
Total					$4,3618 \times 10^{-5}$
Tolerável		$R1 > RT (10^{-5})$			<i>Sim</i>

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir da Tabela 64 é possível verificar que o prédio exemplo não está protegido. Dessa forma, será necessário a instalação de componentes do PDA para que os seus níveis de risco se encaixem dentro do valor tolerável.

APENDICE B – NOVA ANÁLISE DE RISCO DO PRÉDIO EXEMPLO

O prédio exemplo inicial, não contava com nenhum PDA. Ao discorrer do capítulo 4 e do Apêndice A tais características foram modificadas. Em suma, a estrutura agora contém SPDA externo e interno. Em relação ao MPS, o prédio contém blindagem e DPS conectado aos BEL e BEP. Para os cálculos serão utilizados os valores de SPDA e MPS IV.

O único risco que foi considerado é o R1, relacionado a perda de vida humana L1. Dessa forma, apenas as subcomponentes de R_A , R_B , R_U e R_V foram modificadas. A Tabela 65 mostra as subcomponentes que foram modificadas.

Tabela 65: Antes e depois das variáveis modificadas através da instalação de SPDA e MPS.

Variável	Estrutura		ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
P_{TA}	-	-	1	10^{-2}	1	10^{-4}	1	10^{-1}
P_B	1	0,2	-	-	-	-	-	-
P_{TU}	-	-	0	0	0	0	0	0
$P_{EB \text{ energia}}$	1	0,05	-	-	-	-	-	-
$P_{EB \text{ linha}}$	1	0,05	-	-	-	-	-	-
$P_{LD \text{ energia}}$	1	0,6	-	-	-	-	-	-
$P_{LD \text{ linha}}$	0,8	0,8	-	-	-	-	-	-
$C_{LD \text{ energia}}$	1	1	-	-	-	-	-	-
$C_{LD \text{ linha}}$	1	1	-	-	-	-	-	-

Fonte: elaborado pelo autor.

Dessa forma, os cálculos relacionados a R1 ficam como mostrados na Tabela 66.

Tabela 66: Valores de risco para o prédio exemplo.

	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Estrutura
D1 Ferimentos	R_A	$7,3150 \times 10^{-13}$	$8,7312 \times 10^{-12}$	$2,7334 \times 10^{-13}$	$9,7360 \times 10^{-12}$
	$R_U = R_{U \text{ energia}} + R_{U \text{ telecom}}$	0	0	0	0
D2 Danos físicos	R_B	0	$4,3656 \times 10^{-6}$	0	$4,3656 \times 10^{-6}$
	$R_V = R_{V \text{ energia}} + R_{V \text{ telecom}}$	0	$8,3552 \times 10^{-7}$	0	$8,3552 \times 10^{-7}$
Total					$5,2011 \times 10^{-6}$
Tolerável		$R1 > R_T (10^{-5})$			Não

Fonte: elaborado pelo autor.

Finalmente, a Tabela 66 mostra que com a adoção de SPDA e MPS, mesmo que nesse caso ambos estejam considerados com o NP IV, já é o suficiente para que seus valores estejam inferiores ao R_T dadas as diversas características da estrutura e sua localização.

As mudanças específicas tanto no sistema de proteção contra descargas atmosféricas, quanto nas medidas de proteção contra surto devem ser melhor analisadas caso a estrutura necessite de maiores níveis de proteção.