



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DAS ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ROBERTA RAFAELA TORRES ALVES

**ANÁLISE DE RISCOS E PROPOSTA DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM UM ESTÁDIO DE FUTEBOL EM ALTO
SANTO - CE.**

CARAÚBAS - RN

2021

ROBERTA RAFAELA TORRES ALVES

**ANÁLISE DE RISCOS E PROPOSTA DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM UM ESTÁDIO DE FUTEBOL EM ALTO
SANTO-CE.**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Msc. Daniel Carlos de
Carvalho Crisóstomo

CARAÚBAS - RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A474a ALVES, Roberta Rafaela Torres.
ANÁLISE DE RISCOS E PROPOSTA DE UM SISTEMA DE
PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM UM
ESTÁDIO DE FUTEBOL EM ALTO SANTO-CE. / Roberta
Rafaela Torres ALVES. - 2021.
102 f. : il.

Orientador: Daniel Carlos de Carvalho
CRISÓSTOMO.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2021.

1. SPDA. 2. Estádio. 3. Ângulo de proteção.. I.
CRISÓSTOMO, Daniel Carlos de Carvalho , orient.
II. Título.

ROBERTA RAFAELA TORRES ALVES

**ANÁLISE DE RISCOS E PROPOSTA DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM UM ESTÁDIO DE FUTEBOL EM ALTO
SANTO-CE.**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

APROVADO EM: 31/05/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Meª Daniel Carlos de Carvalho Crisóstomo

1º Examinador

2º Examinador

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todas as famílias que foram acometidas pelo luto da perda de um ente querido para a COVID-19.

Dedico também aos quase 500 mil brasileiros mortos por esse vírus.

O bem há de prevalecer.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me guiar sempre pelo bom caminho, pela força e saúde que ele me proporcionou para conseguir mais essa conquista em minha vida em meio a tempos tão escuros que enfrentamos mundialmente.

Aos meus pais, Deusinha e Roberto, pela educação que me deram e me fizeram entender que o conhecimento é uma ferramenta poderosa para mudar a sociedade ao meu redor, a minha irmã por toda a ajuda e companhia necessária no cotidiano. Aos meus sogros, Dilinha e Henrique Bessa, e meu cunhado Levi Bessa, por serem a minha rede de apoio sempre que solicito, sem vocês tudo seria muito mais difícil.

A minha família linda, meu esposo Vinícius Bessa por toda força, ajuda, palavra de encorajamento, pelos puxões de orelha, pela paciência e por ser o meu ponto de apoio sempre que precisei, te amo demais, sem você eu não teria conseguido. A minha filha, Ana Cecília, por me dar a força que eu achava que não tinha e ser o meu maior foco quando nada parecia dar certo, você é a razão da minha vida, isso é por você.

Ao meu Orientador, Daniel Crisóstomo, pela confiança depositada, por dispor sua experiência e conhecimento, sempre que necessário durante essa minha trajetória de estudo, além da paciência, flexibilidade e acessibilidade sempre que foi necessário.

A minha banca por todos os ensinamentos. Além de professores, marcaram a minha jornada como grandes amigos.

Aos meus amigos que sempre estiveram presentes em momentos difíceis, que percorreram essa jornada comigo, Mara, Bigode, Teresa, Lorena, Paulinho, Anne, Rusiano pelos momentos de descontração, de conselhos, de noites acordados, de estudo. Ao meu braço direito nessa reta final, quem nunca soltou minha mão, Cícero Eduardo, pelo o apoio, por não me deixar desistir, pela amizade verdadeira, levarei vocês no coração para onde eu for.

*“...Ajudar qualquer pessoa
Pensar antes de agir
Ser otimista e seguir
Com a vida numa boa
Sonhar que um dia voa
Na sua imaginação
Só ouvir a opinião
De quem quer lhe ajudar
Porque bem sabe acatar
As razões do coração...”
(Deusinha Poetisa)*

RESUMO

O Brasil, devido a características como localização, clima e relevo, é numericamente um dos países com maior incidência de descargas atmosféricas no mundo. Ainda assim, o número de pesquisas na área em questão e as estruturas adaptadas corretamente para proteção dessas descargas ainda é pequeno. Uma análise de riscos eficaz e um projeto SPDA seguro, protegem diretamente vidas e equipamentos eletrônicos de alto valor. Assim, este trabalho objetiva diagnosticar um estádio de futebol em Alto Santo-CE, tal como, executar uma análise de risco do estudo de caso e propor uma concepção de projeto SPDA aplicado a estrutura. Os dados utilizados foram coletados a partir de uma completa inspeção visual, onde foram levantados dados técnicos, históricos e registro fotográfico para a elaboração do diagnóstico. Como resultado, notou-se que a edificação não possuía nenhum tipo de proteção contra descargas elétricas no seu entorno, gerando um risco comprovado pela análise de risco que delimitou a necessidade de um sistema SPDA no estádio. Os sistemas economicamente inviáveis, como a locação de vários minicaptos, em anel, envolvendo o estádio e o método eletrogeométrico, foram descartados, sendo escolhido o método ângulo de proteção, com SPDA classe IV, como sistema de proteção. Infere-se a necessidade de implantação do método de forma urgente no estádio, tal como a importância do custo/benefício para a viabilidade de execução do projeto proposto, proporcionando segurança para as vidas e equipamentos elétricos ali existentes.

Palavras-Chave: SPDA, Estádio, Ângulo de proteção.

ABSTRACT

Brazil, due to characteristics such as location, climate and relief, is numerically one of the countries with the highest incidence of lightning in the world. Even so, the number of researches in the area in question and the structures adapted correctly to protect these discharges is still small. Effective risk analysis and a safe SPDA design directly protect lives and high-value electronic equipment. Thus, this work aims to diagnose a football stadium in Alto Santo-CE, such as, perform a risk analysis of the case study and propose a design concept SPDA applied to the structure. The data used were collected from a complete visual inspection, where technical, historical and photographic data were collected for the elaboration of the diagnosis. As a result, it was noted that the building did not have any type of installation against electrical discharges in its surroundings, a danger that was confirmed by the risk analysis that defined the need for an SPDA system in the stadium. Economically unviable systems, such as the location of several mini-cables, in a ring, involving the stadium, were discarded, being chosen the angle of protection method, with SPDA class IV, as a protection system. It is inferred the need to implement the method urgently in the stadium, as well as the importance of cost / benefit for the feasibility of carrying out the proposed project, providing security for the lives and electrical equipment there.

Keywords: SPDA, Stadium, Angle of protection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Descargas Atmosféricas por Km ² no Brasil.....	19
Figura 2 - Densidade de Descarga Atmosférica na região nordeste.....	20
Figura 3 - Fluxo funcional dos subsistemas de um SPDA.	21
Figura 4 - Níveis de Proteção – Franklin.....	23
Figura 5 - Representação do método Franklin.....	24
Figura 6 – Captor do tipo Franklin.	25
Figura 7 – Representação de um sistema em Gaiola de Faraday.	26
Figura 8 – Representação do método das esferas rolantes.	27
Figura 9 -Volume de proteção de um SPDA.	28
Figura 10 – Componentes de um subsistema de descida de um SPDA.....	29
Figura 11 - Representação do sistema de aterramento.	31
Figura 12– Comprimento mínimo 1 do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA.....	34
Figura 13 – Conexões entre as partes da ABNT NBR 5419.	35
Figura 14 – Área de exposição equivalente AD de uma estrutura isolada.	43
Figura 15 -Métodos para determinar a área equivalente para cada tipo de estrutura.	44
Figura 16 -Áreas de exposição equivalente AD, AM, AI, AL, ADJ.	45
Figura 17- As ZPR definidas por MPS.....	69
Figura 18 - Caracterização da pesquisa.	71
Figura 19 - Imagem aérea da Arena Coliseu.	73
Figura 20 - Fachada da Arena Coliseu.	73
Figura 21- Procedimento da pesquisa.....	74
Figura 22 – Fluxograma para decisão da necessidade de medidas de proteção.....	75
Figura 23 – Fotos da inspeção visual no estádio.	77
Figura 24 – Quadro de distribuição do Coliseu.....	78
Figura 25 - Imagens internos do Estádio.....	78
Figura 26 - Levantamento da densidade de descargas atmosféricas.	80
Figura 27- Mapa de Proteção dos minicaptadores	87
Figura 28 - Resultado do ângulo de proteção do captor oriundo da relação altura do captor com a classe de SPDA IV.	90
Figura 29 - Mapa de Proteção dos captadores.....	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe do SPDA.....	29
Quadro 2 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento.	32
Quadro 3 - Efeitos das descargas atmosféricas.	35
Quadro 4 – Componentes de riscos para estrutura.	39
Quadro 5 - Fator de localização da estrutura CD	42
Quadro 6 -Valores de probabilidade PTA de uma descarga atmosférica sobre uma estrutura causar ferimentos a seres vivos devido as tensões de toque e passo (através de choque elétrico).	45
Quadro 7 -Valores de probabilidade PB dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.	46
Quadro 8– Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso.	47
Quadro 9– Valores médios típicos de LT, LF e LO para o tipo de perda L1.	47
Quadro 10- Valores médios típicos de LT, LF e LO para o tipo de perda L4.	48
Quadro 11-Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio.	49
Quadro 12-Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura.	50
Quadro 13– Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de perigo especial.	51
Quadro 14-- Valores médios típicos de LF e LO para o tipo de perda L2.....	51
Quadro 15 - Valores médios típicos de LF para o tipo de perda L3.....	52
Quadro 16- Valores médios típicos de LT, LF e LO para o tipo de perda L4.	53
Quadro 17 – Valores de probabilidade PSPD em função do NP para o qual os DPS foram projetados.	54
Quadro 18 – Valores dos fatores CLD e CLI dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento.....	55
Quadro 19 – Valor do fator KS3 dependendo da fiação interna.	59
Quadro 20– Fator de instalação da linha CI.	61
Quadro 21– Fator tipo de linha CT.....	61
Quadro 22– Fator ambiental da linha CE.....	61
Quadro 23 – Valores da probabilidade PTU de uma descarga atmosférica em uma linha que	

adentre a estrutura causar choques a seres vivos devido a tensão de toque perigosas.	62
Quadro 24 – Valor da probabilidade PEB em função do NP para o qual os DPS foram projetados.	63
Quadro 25 – Valores da probabilidade PLD dependendo da resistência RS da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso UW do equipamento.	63
Quadro 26 – Valores da probabilidade PLI dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso UW dos equipamentos.	67
Quadro 27 – Valores típicos de risco tolerável (RT).	67
Quadro 28 - Características das ZPR's.	68
Quadro 29 – Variáveis utilizadas na análise de riscos.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quadricula de Gaiola de Faraday.	26
Tabela 2 - Dados de Entrada.....	81
Tabela 3 – Considerações e cálculos das linhas de energia e transmissão.	81
Tabela 4 - Configuração da Zona estudada.	82
Tabela 5 - Considerações para a perda L1.....	84
Tabela 6 - Resultados dos rios toleráveis.....	86
Tabela 7 - Orçamento preliminar do modelo 01.....	88
Tabela 8 - Orçamento preliminar do modelo 02.....	91

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 Objetivo Geral.....	17
1.1.2 Objetivos Específicos.....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 INCIDÊNCIA DE RAIOS NO BRASIL	18
2.2 COMPOSIÇÃO DE UM SPDA	20
2.2.1 Substema de captação.....	21
2.2.1.1 Método ângulo de Proteção-Método Franklin.....	23
2.2.1.2 Método das Malhas-Gaiola de Faraday.....	25
2.2.1.3 Método da Esfera Rolante-Método Eletrogeométrico.....	27
2.2.2 Substema de Descidas.....	28
2.2.3 Substema de Aterramento.....	30
2.3 DESCRIÇÃO DA NORMA 5419:2015	34
2.3.1 Gerenciamento de riscos.....	38
2.3.2 Componentes de riscos para uma estrutura.....	39
2.3.2.1. Componente de risco R_A	41
2.3.2.2. Componente de risco R_B	49
2.3.2.3. Componente de risco R_C	54
2.3.2.4. Componente de risco R_M	57
2.3.2.5. Componente de risco R_U	60
2.3.2.6. Componente de risco R_V	63
2.3.2.7. Componente de risco R_W	64
2.3.2.8. Componente de risco R_Z	65
2.3.3 Risco tolerável para proteção da estrutura.....	67
2.3.4 Estudo da estrutura a ser protegida.....	68
2.4. NR 35 - TRABALHO EM ALTURA	69
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	71
3.1 CLASSIFICAÇÃO TIPOLOGICA DO ESTUDO DE CASO	71
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO	72
3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	73
3.3.1 Levantamento normativo.....	74
3.3.2 Vistoria do local/Coleta de dados.....	74

3.3.3	Análise de riscos.....	74
3.3.4	Proposição de SPDA.....	76
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	77
4.1	DIAGNÓSTICO DE INSPEÇÃO VISUAL	77
4.2	GERENCIAMENTO DE RISCO.....	79
4.3	ESCOLHA DO SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO.....	86
4.3.1	Método das malhas - Gaiola de Faraday.....	86
4.3.2	Sistema Misto – Captores Franklin e natural.....	88
5.	CONCLUSÕES	94
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
	APÊNDICE A	99
	APÊNDICE B.....	100

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Brasil apresenta o maior registro de incidências de raios. A explicação para isso deve-se a própria geografia do país, que é o maior país situado na zona tropical do planeta, onde o clima é mais quente e propício a formação de tempestades e raios (ELAT, 2016).

Dados como esses, realçam a verdadeira significância e necessidade de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), isso porque, relaciona diretamente a segurança dos usuários e os riscos de danos irreparáveis a equipamentos de alta potência, pertencentes ao sistema.

A decisão de utilizar um sistema de proteção contra descargas atmosféricas em uma estrutura pode ser uma exigência legal (em códigos de obras municipais), uma precaução do proprietário para evitar prejuízos ou ainda uma exigência das companhias de seguro, já que os raios são causas de danos físicos e incêndios. (COUTINHO; ATOÉ, 2003).

Segundo a norma ABNT NBR 5419:2015, não há dispositivos ou métodos que possam modificar os fenômenos climáticos naturais de forma que venham a prevenir o acontecimento de descargas atmosféricas. Entretanto, os riscos oriundos das descargas podem ser minimizados ou praticamente extinguidos com a adoção de medidas de proteção.

Assim, a grande problemática e relevância desse trabalho, é a análise de possíveis falhas ou não conformidades que o projeto original do Estádio de futebol Coliseu, em Alto Santo/CE possa apresentar. Trata-se de um objeto construído pelo setor público, e que detém capacidade para milhares de pessoas, assim, a problemática recai justamente na eficiência do processo e nas atribuições perfeitas de sua funcionalidade.

Relata-se que o grau de complexidade relacionado às diferenças não se restringe apenas os cálculos, mas também aos conceitos, à utilização e ao posicionamento de novos materiais. Prova disso, é a necessidade da escolha correta pelos equipamentos, que englobem segurança e técnica apurada de proteção. (MODENA, 2015).

Ainda se consta, que as normatizações vigentes precisam ser analisadas e diagnosticadas em períodos constantes de tempo, situação essa, devida as mudanças de seu conteúdo e de relevâncias de pesquisas tecnológicas para um aparato científico de maior valia. De fato, a justificativa dessa pesquisa, tem como teor principal, demonstrar a importância de um sistema de proteção para ambientes como o objeto em estudo, tal como, verificar diante ao estudo, as premissas estabelecidas pelas normativas vigentes.

Assim, o SPDA deve captar a eventual descarga atmosférica e direcionar o fluxo da

corrente associada diretamente para o solo, segundo percursos definidos, constituído pelos condutores do sistema de proteção (VISACRO FILHO, 2005).

Dessa maneira, se faz crucial estudar e analisar as implicações das variantes no processo, tal como, oferecer em um âmbito local, uma pesquisa voltada ao desenvolvimento regional na área estudada. Portanto o presente trabalho, apresentará os objetivos de desenvolvimento desse projeto, apresenta em seguida o referencial teórico que versa sobre todo o embasamento teórico onde esse estudo foi fundamentado, a metodologia aplicada, os resultados e suas discussões gerados pelo estudo de caso bem como as conclusões e toda a bibliografia consultada.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Propor um sistema de proteção contra descargas atmosféricas no estádio de futebol Coliseu, na cidade de Alto Santo/CE, correlacionando a NBR 5419:2015 e prospectando possíveis adequações.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar o levantamento de dados e informações;
- Avaliar o risco presente no local;
- Elaborar o gerenciamento de riscos das condições locais;
- Verificar a necessidade de proteção do local contra descargas atmosféricas;
- Projetar um sistema de proteção, adequado ao estudo de caso.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. INCIDÊNCIA DE RAIOS NO BRASIL

Cerca de 57 milhões de raios são registrados por ano no Brasil. A maior incidência ocorre no Norte e no Centro-Oeste, mas ao se considerar a densidade, ou seja, proporcionalmente ao território, os estados do Sul ficam à frente (INPE, 2015).

Ainda, segundo o mesmo instituto, em 2014, houveram 98 mortes no país, valores próximos a 2013. Os estados que apresentaram mais vítimas foram São Paulo (17 mortes), Maranhão (16 mortes), Piauí (7 mortes), Amazonas e Pará (com 6 mortes cada um). As principais circunstâncias de morte permanecem as mesmas de outros anos: 27% das vítimas estavam em atividades agropecuárias quando foram atingidas pelos raios e 20% estavam dentro de casa. Entre todas as vítimas, 56% viviam na zona rural (INPE, 2015).

Apesar do fenômeno das descargas atmosféricas sempre ter causado transtornos ao longo da história, somente no século XVII, foram iniciadas pesquisas tentando obter informações sobre as características elétricas dos raios. Nos EUA e na Europa, foram realizadas experiências para demonstrar o caráter elétrico dos raios, mostrando a possibilidade de captação das descargas atmosféricas (BENITEZ, 2006).

Além do prejuízo inestimável pela perda de vidas, as descargas atmosféricas ainda causam muitos prejuízos materiais. Milhões de reais são gastos todos os anos com reparos as linhas de transmissão, subestações, sistemas de distribuição, telefonia e telecomunicações, indústrias e propriedades privadas (STEFANI, 2011).

O Brasil tem um prejuízo anual em média US\$ 1 bilhão devido às descargas atmosféricas. Além de causarem problemas nas redes elétricas, descargas elétricas podem ser muito perigosas. Nosso país é dos países com maior incidência de raios, isso é devido à grande extensão territorial e à algumas características físicas e geográficas que o Brasil possui (INPE, 2015).

A ABNT NBR 5419 é a norma que difunde todas as medidas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (PDA). A norma divide a em dois grupos, que são as medidas de proteção para reduzir danos físicos e riscos à vida dentro de uma estrutura (NBR 5419-3) e as medidas de proteção para reduzir falhas de sistemas elétricos e eletrônicos em uma estrutura (NBR 5419-4).

As descargas atmosféricas representam cerca de um terço dos desligamentos não programados no sistema de distribuição e cerca de 40% das queimas de transformadores, além

de produzirem sobretensões prejudiciais ao consumidor (SOUZA et al. 2014, p. 17).

Assim, considerando todas as situações materiais e de risco a vida humana o grupo de eletricidade atmosférica (ELAT), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), concluíram um novo ranking de incidência raios nos estados cobertos pela rede brasileira de detecção de descargas atmosféricas no ano de 2009-2010.

Segundo o INPE (2015), existem nos centros urbanos uma grande tendência de tempestades. O grupo de pesquisadores afirma que a cidade de Porto Real situada no estado do Rio de Janeiro, possui uma densidade de 27 raios/km²/ano, e São Caetano do Sul situado no estado de São Paulo tem densidade de 23 raios/km²/ano, e ambas compõem as primeiras posições do ranking.

A área monitorada envolve os 24 estados do Sul, Sudeste e Centro oeste do Brasil, a incidência de raios obteve variações próximas de 5% em relação ao ano de 2005 a 2008, em cidades com população acima de 200 mil habitantes possuem maiores incidência devido à grande urbanização, com aumento na incidência de descargas atmosféricas em 11% ao período de 2005 a 2008 (INPE, 2015).

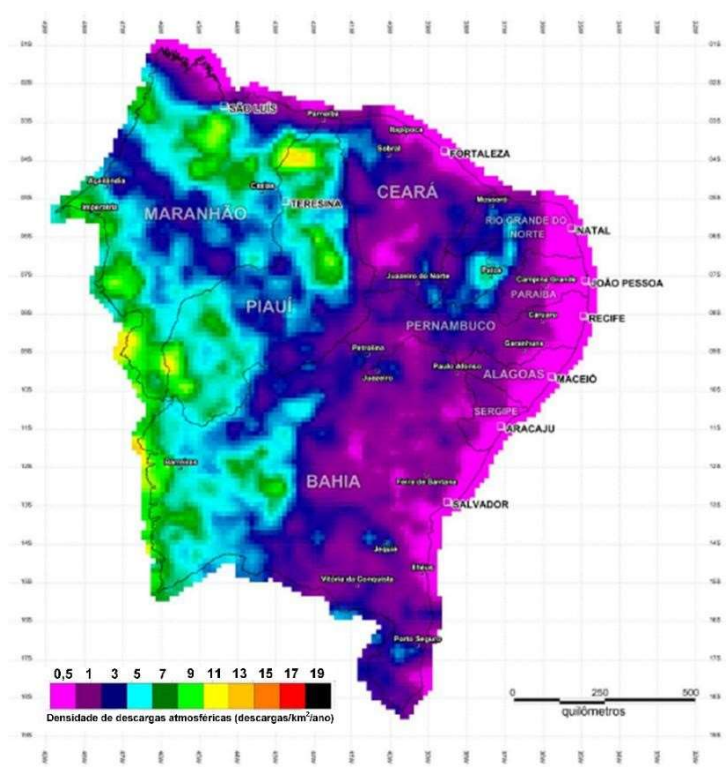
A Figura 1 demonstra os assuntos discutidos até agora. A imagem relaciona os estados brasileiros, pela incidência de descargas elétricas por Km². Aproximadamente 86% dos casos com mortes entre os anos 2000 e 2014 ocorreram na primavera ou verão, estações nas quais as tempestades devido às altas temperaturas são mais frequentes (INPE, 2015).

Figura 1 - Descargas Atmosféricas por Km² no Brasil.



Ao estudar o fato de forma aprofundada, destaca-se os dados do Nordeste, macrorregião do referido estudo. Através da Figura 2, é possível verificar o mapa de densidades atmosféricas da região, durante o período de 1998 à 2011.

Figura 2 - Densidade de Descarga Atmosférica na região nordeste.



Fonte: Adaptado da NBR 5419-2 (2015).

No Ceará, diante as bibliografias representadas, percebe-se que apresenta um intervalo de 2,5 a 3,0 descargas por Km^2/ano , o que pode resultar na perda de vida ou danos materiais aos usuários.

2.2. COMPOSIÇÃO DE UM SPDA

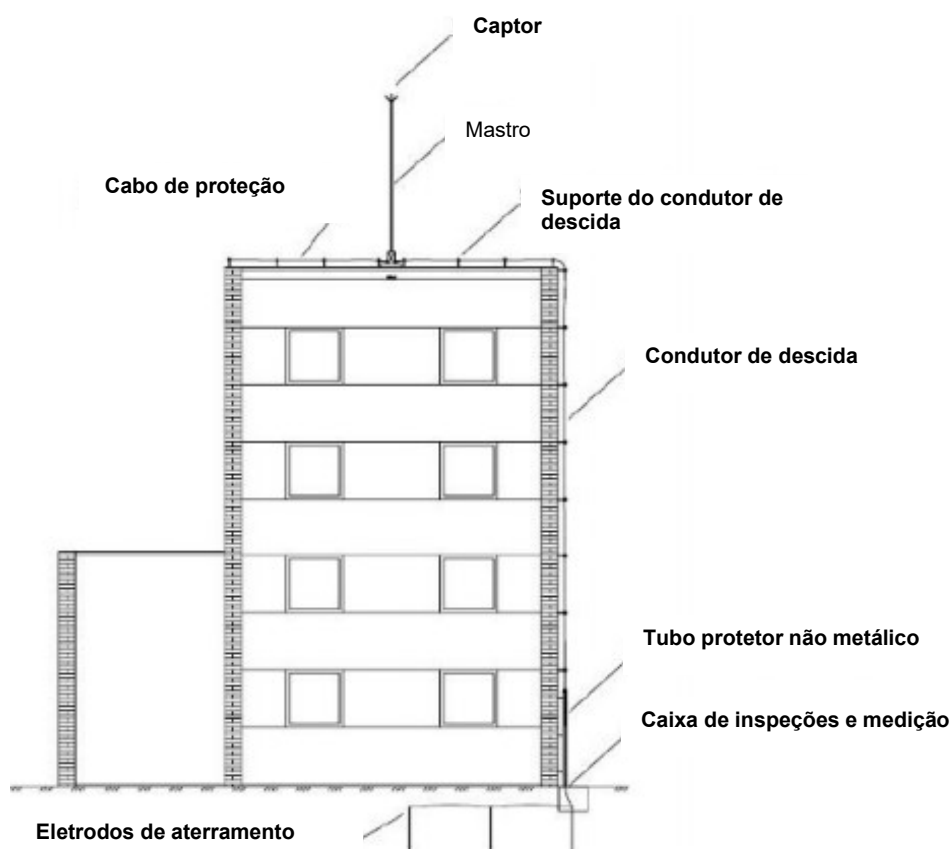
Conforme MAMEDE (2017), com o objetivo de captar as descargas atmosféricas que afetam as estruturas e conduzi-lás até o solo sem causar danos ao patrimônios e aos seres vivos, os Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) são implatados. Para isso é preciso entender que o SPDA é caracterizado pelas especificidades da estrutura e pelo Nível de Proteção (NP) a ser aplicado (NBR 5419-2/2015).

O SPDA é dividido em três subsistemas com elementos de funcionalidade condutiva, sendo eles: captores, condutores de descida e um sistema de aterramento. Este sistema deve

estar em conformidade com norma ABNT NBR 5419:2015 e é um dos itens inspecionados em edificações públicas e privadas, em áreas de risco e de aglomeração de público, para obtenção do atestado de conformidade das instalações elétricas e emissão do Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros – AVCB (NBR 5419:2015).

A Figura 3, demonstra o fluxo funcional que vai desde a captação inicial da descarga até a sua dissipação no solo.

Figura 3 - Fluxo funcional dos subsistemas de um SPDA.



Fonte: (BARBOSA, 2014).

Segundo BARBOSA (2014), pode ser designado como um sistema destinado a proteger uma construção ou estrutura contra os efeitos das descargas atmosféricas, e assim, de forma geral, desempenhar diferentes funções ao longo da estrutura.

2.2.1. Subsistema de captação

O subsistema de captação pode ser composto por hastes, condutores suspensos e/ou condutores em malha. O posicionamento desse subsistema é o responsável pelo volume da

estrutura que vai ser protegido, e em concordância com Martins 2017, deve estar de acordo com um dos três métodos previstos na norma:

- I. Método ângulo de proteção - Método de Franklin;
- II. Método da esfera rolante - Método Eletrogeométrico;
- III. Método das malhas - Método da Gaiola de Faraday. (ABNT, 2015; DE SOUSA et al., 2012).

Captadores naturais são todos os elementos pertencentes à estrutura que sejam condutores e estejam expostos, os quais do ponto de vista físico possam ser atingidos por descargas atmosféricas. Estes elementos devem ser considerados como parte do subsistema de captação. Coberturas metálicas sobre o volume a proteger, mastros, rufos, calhas, guarda corpos, tubos, são alguns exemplos de elementos metálicos que podem ser utilizados como captadores naturais. Estes elementos condutores expostos devem ser analisados para certificar se as suas características são compatíveis com os critérios estabelecidos para elementos captadores (NBR 5419, 2005).

Segundo a NBR 5419 (2005) um elemento condutor exposto para ser considerado como captador natural deverá satisfazer as seguintes condições:

Os raios não terão preferência por captadores específicos colocados com a intenção de atraí-los. Os raios incidirão em geral sobre elementos condutores aterrados, ainda que não intencionalmente, na cobertura dos edifícios. Se o aterramento de elementos naturais for inadequado para a condução da corrente do raio, podem resultar acidentes como arcos, explosões ou outras manifestações indesejadas (MIRANDA, 2003b).

O volume de proteção da estrutura é determinado pelo correto posicionamento dos elementos captadores e do subsistema de captação. Desta forma, tais componentes devem ser posicionados nos cantos salientes, pontas expostas e nas beiradas, utilizando-se dos métodos regulamentados pela norma (ABNT, 2015; DE SOUSA et al., 2012).

O subsistema de captação deve ser posicionado de acordo com o material com que é feita a cobertura da estrutura. O caso da cobertura feita por material não combustível é o mais simples, já que neste caso o subsistema pode ser instalado diretamente na superfície da cobertura. No caso de coberturas feitas por materiais prontamente combustíveis, o subsistema deve manter certa distância da superfície (MARTINS 2017).

Para o caso de coberturas feitas de palha ou sapê, sem a presença de barras de aço sustentando o material, é sugerida uma distância de no mínimo 0,15 metros, enquanto que para os demais materiais combustíveis esse valor cai para 0,10 metros. Outro ponto importante além da instalação é que nenhuma parte do SPDA externo pode manter contato direto com partes

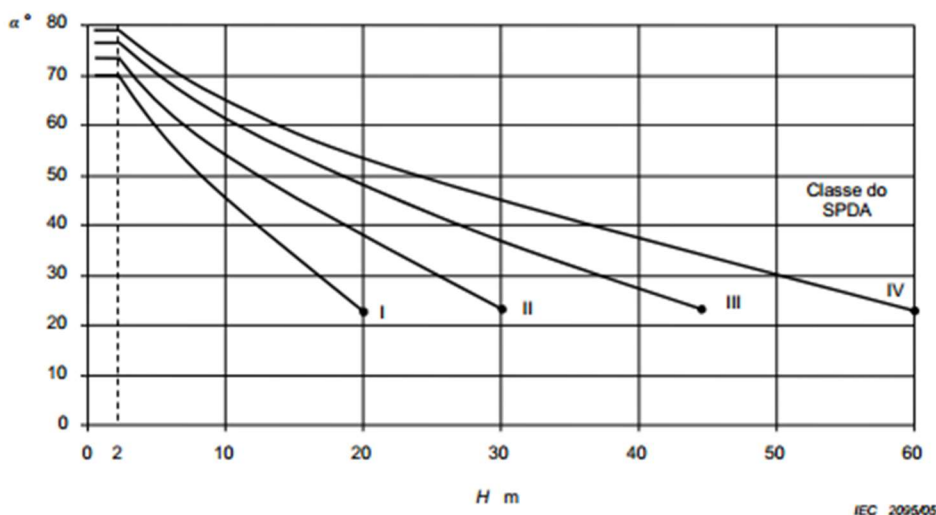
altamente combustíveis da estrutura, e essas não podem nunca estar localizadas abaixo de qualquer componente metálico que possa vir a derreter caso uma descarga atmosférica o atinja. (MARTINS 2017).

2.2.1.1. Método Ângulo de proteção - Método Franklin

Pode ser definido como um método para determinação do volume de proteção propiciado por um cone envoltório a estrutura, cujo ângulo da geratriz com a vertical varia segundo o nível desejado e para uma determinada altura da construção (MAMEDE, 2010).

CREDER (2007), reforça a definição quando determina o método como um caso particular do modelo eletro geométrico, em que o segmento do círculo é aproximado por um segmento de reta, tangente ao círculo na altura do captor. Também é conhecido como método de ângulo de proteção, pois consiste em estabelecer volume de proteção acarretado do cone já citado, cujo o ângulo de geratriz com a vertical varia de acordo o nível de proteção pretendido para uma determinada altura de construção conforme a Figura 4 (CREDER, 2000).

Figura 4 - Níveis de Proteção – Franklin.

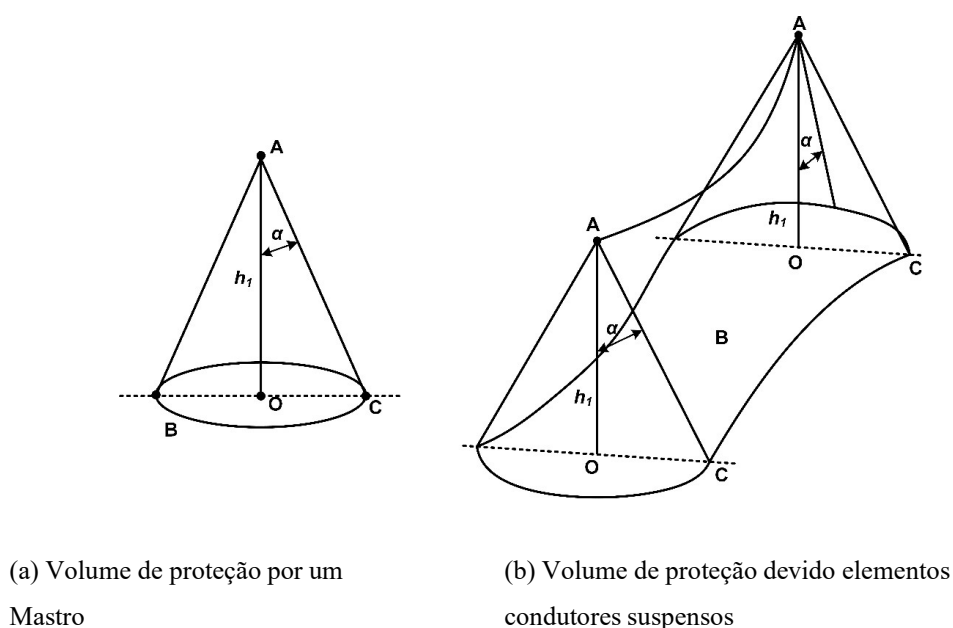


Fonte: Adaptado da NBR 5419-3 (2015).

Para sabermos se uma dada estrutura está dentro do volume de proteção, no caso do método Franklin (Figura 5), deve-se verificar se toda estrutura está dentro do volume de proteção dos cones ou dos condutores horizontais suspensos. Para isso, verifica-se a posição dos captosres tanto em plantas como em elevação e cortes laterais (WALTRICK, 2018).

Historicamente, determinar o ângulo de proteção sempre foi à questão mais discutida neste método de proteção, uma que este pode variar de 30° até 90° . Na proteção de linhas de transmissão pode-se usar até ângulo negativo (o ângulo de proteção é dito negativo quando o cabo para-raios está colocado para fora da fase mais externa da linha de transmissão), considerado necessário nas altas tensões, uma vez que as alturas das torres são muito grandes (NOLETO, 2006).

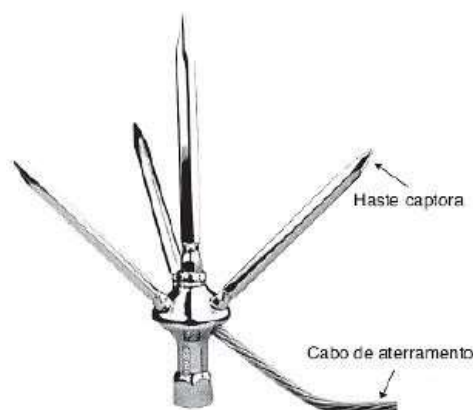
Figura 5 - Representação do método Franklin.



Fonte: Adaptado da NBR 5419-3 (2015).

A NBR 5419-3 (2015), descreve o captor (Figura 6), como um elemento constituído de 4 hastes consutoras que interceptam os raios após a quebra da rigidez dielétrica do ar. Assim, o captor é ligado ao sistema metálico e conectado com os subsistemas de descida e aterramento.

Figura 6 – Captor do tipo Franklin.



Fonte: Mamede Filho (2017).

2.2.1.2. Método das malhas - Gaiola de Faraday

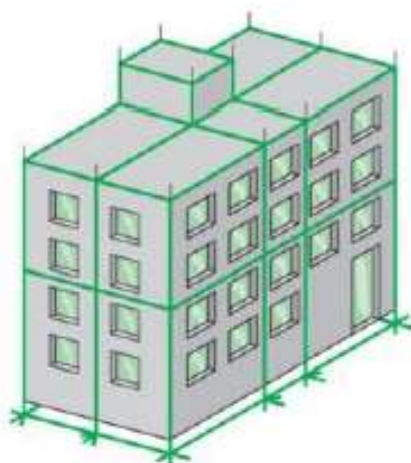
Segundo MAMEDE (2017), este método consiste em dispor por todos os lados do volume a ser protegido uma malha de condutores fixados na estrutura, sendo baseado na teoria de Faraday, na qual o campo no interior de uma gaiola formada por condutores que conduzem uma corrente qualquer é nulo, independente do valor da corrente.

Este método consiste em ordenar por todos os lados do volume a ser protegido uma malha de condutores elétricos fixados na estrutura nus. Baseado na teoria de Michael Faraday, na qual o campo no interior de uma gaiola formada por condutores elétricos que conduzem uma corrente qualquer nula, independentemente do valor da corrente.

Nas extremidades dos condutores elétricos haverá um campo que poderá gerar tensões induzidas em outros condutores elétricos que estiver em paralelo com os condutores da malha. instiga as estruturas com uma grande área horizontal, nas quais seria necessária uma grande quantidade de captores do tipo Franklin. (MAMEDE, 2005, pg. 509, apud COSTA, Caio R. XAVIER, Cenildo S., pg 8).

Ainda para o MAMEDE (2017), para que o campo seja nulo é necessário que a corrente se distribua uniformemente por toda a gaiola – sabe-se que o campo é nulo exatamente no centro da gaiola. Nas proximidades dos condutores haverá um campo que poderá gerar tensões induzidas em outros condutores que estiverem em paralelo com os condutores da malha. A representação pode ser vista na Figura 7.

Figura 7 – Representação de um sistema em Gaiola de Faraday.



Fonte: NBR 5419-3 (2015).

De acordo Kindermann (1997) a determinação da distância máxima dos espaçamentos dos condutores elétricos da malha, ocorre em relação ao grau de proteção solicitado de acordo a Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Quadrícula de Gaiola de Faraday.

Grau de Proteção	Distância máxima de Espaçamentos
I	5 m
II	10 m
III	10 m
IV	20 m

Fonte: Adaptado pelo autor, (NBR, 2015).

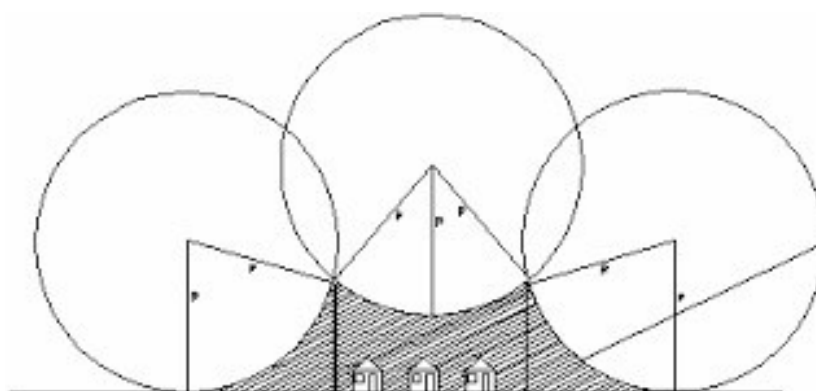
Segundo a norma NBR5419-3/2015, ainda deve-se seguir alguns requisitos como:

- a) Condutores devem ser instalados na periferia e nas saliências da cobertura da estrutura nas cumeeiras, o conjunto do sistema de condutor deve ter sempre duas rotas para a corrente elétrica até o aterramento.
- b) Nenhuma instalação metálica, que por suas características não possa assumir a condição de elemento captor, ultrapasse para fora o volume protegido pela malha do subsistema de captação;
- c) Os condutores da malha devem seguir o caminho mais curto e retilíneo possível da instalação.

2.2.1.3. Método da Esfera Rolante – Método eletrogeométrico

Também conhecido como método eletromagnético (Figura 8) é indicado para estruturas com formas arquitetônicas complexas ou com grandes alturas, sendo baseados em estudos realizados a partir da medição dos parâmetros dos raios, de registros fotográficos, em técnicas de simulação, ensaios de laboratórios e modelagem matemática. Inicialmente, este método surgiu com a necessidade de um modelo para se aplicar às linhas de transmissão, sendo depois adaptado para atender as estruturas (BURATTO, 2011).

Figura 8 – Representação do método das esferas rolantes.



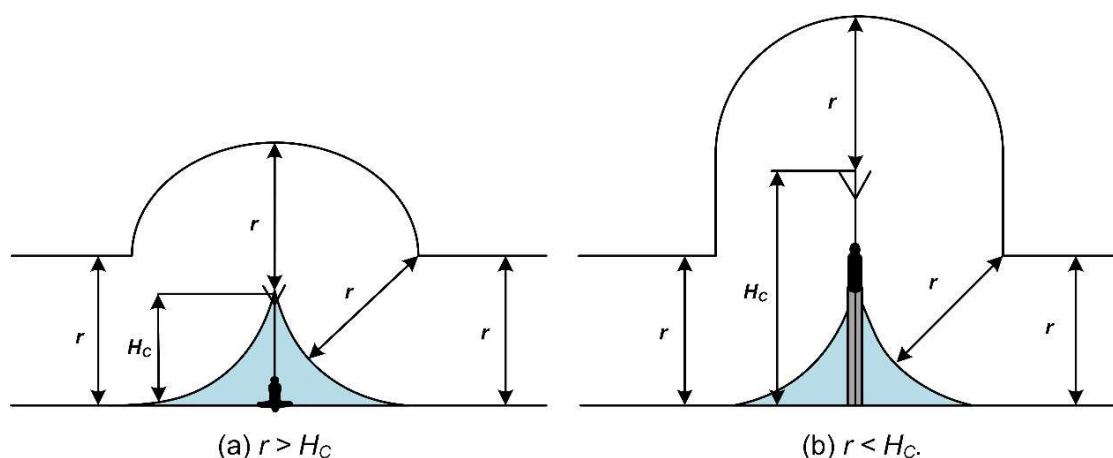
Fonte: UNIQUE (2021).

O método da esfera rolante é adequado para estruturas de formas arquitetônicas complexas e é constituído por hastes, cabos ou uma combinação de ambos. Para este método deverá ser considerada uma esfera fictícia rolando ao redor e no topo da estrutura em todas as direções possíveis, de modo que a esfera não entre em contato com nenhum ponto da estrutura a ser protegida, tocando apenas o subsistema de captação. (NBR, 2015; DE SOUSA et al., 2012).

Os eventuais pontos que são tocados pela esfera é a região propícia a ser atingida por uma descarga atmosférica e, portanto, destinada a instalação dos captores. Estes últimos podem ser formados por hastes, cabos ou até mesmo pela combinação de ambos (MAMEDE FILHO, 2017).

Segundo MAMEDE FILHO (2017) existem dois casos contemplados pelo método da esfera rolante (Figura 9). No primeiro caso a altura do captor é menor do que o raio da esfera rolante, assim a área hachurada representa o volume total e assim, protegida. No segundo caso, em que a altura do captor é maior do que o raio da esfera rolante, as partes laterais podem ficar expostas e ser atingida por descargas laterais.

Figura 9 -Volume de proteção de um SPDA.



Fonte: Adaptado de MAMEDE FILHO (2017).

2.2.2. Subsistema de Descidas

O subsistema de descida tem por finalidade conduzir a corrente elétrica devida a uma descarga atmosférica numa estrutura (interceptada por subsistemas de captação) até o subsistema de aterramento para a sua dissipação no solo. (NBR 5419-3, 2015).

Tem o propósito de reduzir os danos causados pela corrente elétrica da descarga atmosférica, os condutores devem ser arranjados de forma a trazer vários caminhos a corrente elétrica com o menor percurso possível, trazendo equipotencialização das partes condutoras e feitas as interligações em forma de cinta para evitar descargas atmosféricas laterais e considerar os vãos de 10m a 20m (WALTRICK, 2018).

Os condutores de descida são conectados nos terminais captadores e conduzem o raio por um caminho de baixa resistência por todo seu comprimento até a malha de aterramento, sem que a edificação seja afetada (WALTRICK, 2018).

Segundo a NBR 5419 (2015), quanto maior for o número de condutores de descida, instalados a um espaçamento regular em volta do perímetro interconectado pelos anéis condutores, maior será a redução da probabilidade de descargas atmosféricas e centelhamentos perigosos facilitando a proteção das instalações internas.

O Quadro 1 apresenta as distâncias máximas entre os condutores de descida e entre os anéis condutores com base na classe do SPDA. Devendo ser, preferencialmente, instalados condutores de descida em cada canto saliente da estrutura.

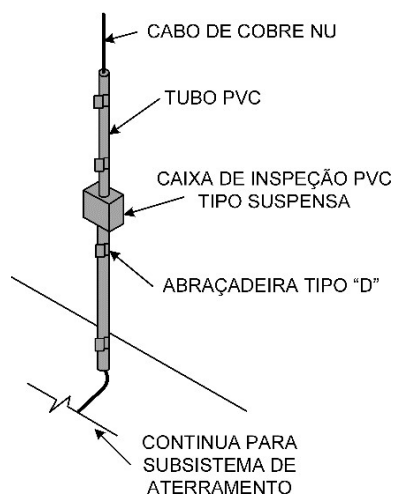
Quadro 1 – Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe do SPDA.

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

Fonte: NBR 5419-3 (2015).

A Figura 10 apresenta um subsistema de descida com alguns dos seus componentes mais comuns, sendo eles: cabo de cobre nu, tubo de PVC, caixa de inspeção PVC suspensa e abraçadeiras.

Figura 10 – Componentes de um subsistema de descida de um SPDA.



Fonte: Adaptado de NBR 5419-3 (2015).

Para um SPDA isolado as descidas devem ser posicionadas de modo que: se os captores forem hastes em mastros separados não metálicos nem interconectados às armaduras, é necessário pelo menos um condutor de descida para cada mastro; para condutores suspensos em catenária como elemento captor, pelo menos um condutor de descida é necessário em cada suporte da estrutura; e se os captores formam uma rede de condutores, é necessário pelo menos um condutor de descida em cada suporte de terminação dos condutores. Já para um SPDA não isolado, o número de condutores de descida não pode ser inferior a dois (ABNT, 2015).

Deve-se considerar que as correntes do raio procurarão naturalmente caminhos externos à estrutura e seguirão os percursos mais curtos e retilíneos. Se não oferecermos esses caminhos, elas os procurarão com riscos de danos às estruturas, às pessoas e aos equipamentos internos (WALTRICK, 2018).

Estruturas metálicas de torres, postes e mastros, assim como as armaduras de aço interligadas de postes de concreto, constituem descidas naturais até a base das mesmas, dispensando a necessidade de condutores de descida paralelos ao longo da sua extensão (NBR 5419, 2005).

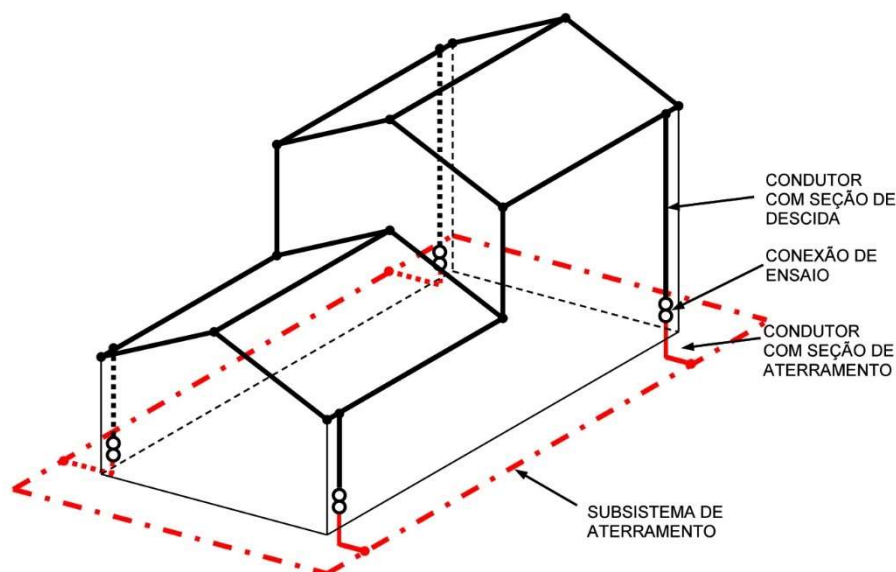
2.2.3. Subsistema de Aterramento

Para ANDRADE (2017), é o método fundamental para dispersar a corrente elétrica da descarga atmosférica para a terra, avaliando o comportamento para reduzir ao máximo qualquer sobre tensão que possa ser potencialmente perigosa, e buscar aprimorar as dimensões geométricas do sistema de aterramento a fim de se obter o menor valor de resistência de aterramento possível levando em conta o arranjo do eletrodo e a topologia do solo. Para a proteção do conjunto da infraestrutura deve ser integrado para ser comum para diversos sistemas.

O subsistema de aterramento (Figura 11) de um SPDA é a parte responsável por conduzir e dispersar a corrente da descarga atmosférica na terra, no qual para essa dispersão o método mais importante para atenuar sobretensões perigosas é estudar e aprimorar a geometria e as dimensões deste subsistema, obtendo assim, a menor resistência de aterramento possível (ABNT, 2015).

A norma ABNT NBR 5419:2015 estabelece a preferência por uma única infraestrutura de aterramento integrada, ou seja, que o eletrodo seja comum e atenda à proteção contra descargas atmosféricas, sistemas de energia elétrica e sinal.

Figura 11 - Representação do sistema de aterramento.



Fonte: ECOELETRICA (2021).

Ainda para WALDRICK (2018), igualmente ao subsistema de descida, os condutores do subsistema de aterramento devem apresentar baixa resistência, alta capacidade térmica para suportar o calor gerado pela passagem da corrente, resistência mecânica para suportar os esforços eletromecânicos, além de suportabilidade a corrosão causada pelos agentes agressivos do solo.

Os eletrodos de aterramento podem ser de cobre, aço galvanizado a quente ou aço inoxidável, não sendo permitido o uso de alumínio. É possível, ainda, usar o aço revestido de cobre (comercialmente denominado de “*copperweld*”) ou, em casos especiais, cobre revestido de chumbo. O fator que determina o material a ser usado é a agressividade do solo; em geral, o cobre suporta a maioria dos solos, mas, em alguns casos, o zinco e o chumbo são os mais indicados (LEITE; LEITE; 2001).

O Quadro 2 demonstra informações sobre os materiais e normativas de uso.

Quadro 2 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento.

Material	Configuração	Dimensões mínimas ^f		Comentários ^f
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordado ^c	-	50 mm ²	Diâmetro de cada fio da 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 de 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 ^c	-	90 mm ²	Espessura 3 mm
	Encordado	-	90 mm ²	-
Aço cobreado	Arredondado maciço ^d Encordado ^g	12,7 mm	70 mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45 mm
Aço inoxidável ^c	Arredondado maciço Fita maciça	15 mm	Diâmetro 10 mm 100 mm ²	Espessura mínima 2 mm

^a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme ABNT NBR 6323 [1].

^b Aplicável somente a minicaptos. 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 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 referem-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*).

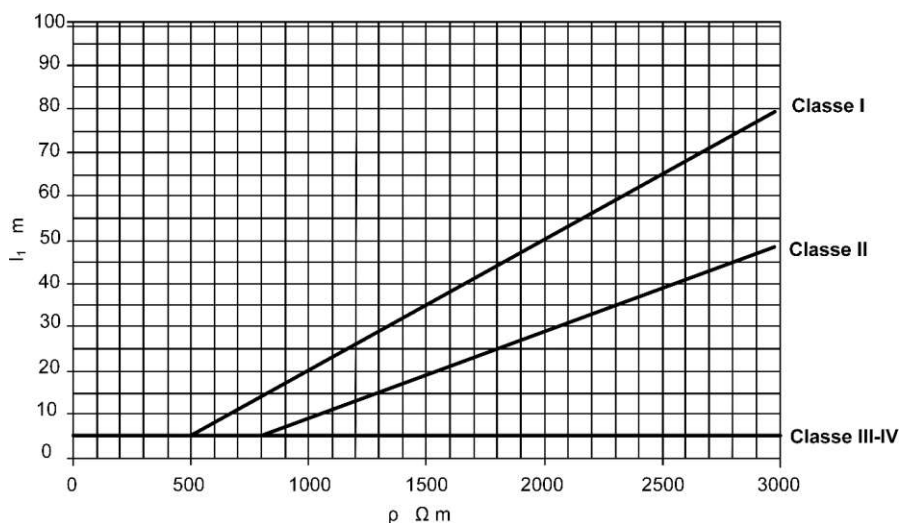
^g Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

Fonte: NBR 5419-3 (2015).

Além disso, é recomendado que o aterramento da proteção contra descargas atmosféricas seja o mesmo para todas as outras finalidades da edificação (sistemas de energia elétrica e sinal, telecomunicações, TV a cabo e entre outros) (NBR 5419- 3, 2015).

No subsistema de aterramento os condutores são denominados de eletrodos, os quais são os elementos responsáveis pela dissipação da corrente na terra. Podem ser utilizados de diferentes modos, tais como: condutores em anel, hastes verticais ou inclinadas, condutores horizontais radiais ou aterramento natural pelas fundações (NBR 5419- 3, 2015). A Figura 12, demonstra o comprimento do eletrodo de aterramento.

Figura 12– Comprimento mínimo l_1 do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA.



Fonte: NBR 5419-3 (2015).

A normativa ainda determina que quando não se pode utilizar as fundações como aterramento, deve-se utilizar o arranjo em anel que é externo a estrutura a ser protegida, o qual deve ser interligado com as sapatas da fundação ou estar 80% em contato com o solo. Dessa forma, essas medidas preventivas contra as tensões superficiais perigosas, evitam maiores danos a edificação e a vida das pessoas.

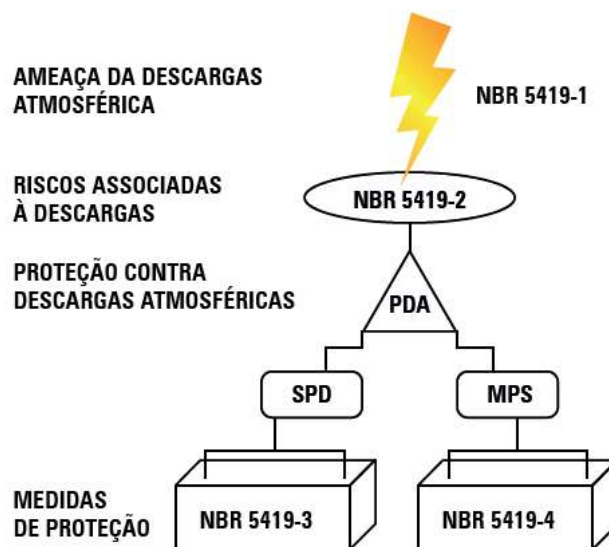
2.3. DESCRIÇÃO DA NORMA 5419:2015

A norma destinada a assuntos de SPDA (Sistemas de Descargas Atmosféricas) no Brasil é a ABNT NBR 5419, essa é encontrada na versão mais atual de 2015. A norma está organizada em quatro partes:

- 1- Refere-se a ameaça de descargas atmosféricas (ABNT NBR 5419-1);
- 2- Refere-se a necessidade de proteção, os benefícios econômicos da instalação de medidas de proteção e a escolha das medidas adequadas de proteção devem ser determinados em termos do gerenciamento de riscos (ABNT NBR 5419-2);
- 3- Refere-se às medidas de proteção para reduzir danos físicos e riscos à vida dentro de uma estrutura (ABNT NBR 5419-3);
- 4- Refere-se às medidas de proteção para reduzir falhas de sistemas elétricos e eletrônicos em uma estrutura (ABNT NBR 5419-4).

Na Figura 13, pode-se observar um esquema simplificado da estrutura da norma.

Figura 13 – Conexões entre as partes da ABNT NBR 5419.



Fonte: ALVES (2020).

Diversos pontos precisam serem analisados quando se fala em proteção, já que tudo irá variar de acordo com determinadas características. Por isso há a necessidade de todo um estudo para o desenvolvimento de um SPDA, já que o efeito de uma descarga atmosférica varia com o tipo de estrutura, bem como os danos que podem ser causados, as perdas, entre outros.

De forma clara, pode-se ver os efeitos das descargas atmosféricas nos diferentes tipos de estrutura por meio do Quadro 3, contida na NBR 5419:

Quadro 3 - Efeitos das descargas atmosféricas.

Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo	Efeitos das descargas atmosféricas
Casa de moradia	Perfuração da isolação das instalações elétricas, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos expostos ao ponto de impacto ou no caminho da corrente da descarga atmosférica.

	Falha de equipamentos e sistemas elétricos e eletrônicos instalados (exemplos: aparelhos de TV, computadores, modems, telefones etc.).
Edificação em zona rural	Risco maior de incêndio e tensões de passo perigosas, assim como danos materiais. Risco secundário devido à perda de energia elétrica e risco de vida dos animais de criação devido à falha de sistemas de controle eletrônicos de ventilação e suprimento de alimentos etc.
Teatro ou cinema Hotel Escola Shopping centers Áreas de esportes	Danos em instalações elétricas que tendem a causar pânico (por exemplo, iluminação elétrica) Falhas em sistemas de alarme de incêndio, resultando em atrasos nas ações de combate a incêndio.
Banco Empresa de seguros Estabelecimento comercial etc.	Conforme acima, adicionando-se problemas resultantes da perda de comunicação, falha de computadores e perda de dados.
Hospital Casa de tratamento médico Casa para idosos Creche Prisão	Conforme acima, adicionando-se os problemas relacionados a pessoas em tratamento médico intensivo e a dificuldade de resgatar pessoas incapazes de se mover.
Indústria	Efeitos adicionais dependendo do conteúdo das fábricas, que vão desde os menos graves até danos inaceitáveis e perda de produção.

Museu e sítio arqueológico Igreja	Perda de patrimônio cultural insubstituível.
Estação de telecomunicações Estação de geração e transmissão de energia elétrica	Interrupções inaceitáveis de serviços ao público.
Fábrica de fogos de artifícios Trabalhos com munição I	Incêndio e explosão com consequências à planta e arredores.
Indústria química Refinaria Usina nuclear Indústria e laboratório de bioquímica	Incêndio e mau funcionamento da planta com consequências prejudiciais ao meio ambiente local e global.

Fonte: Adaptado pelo autor. NBR 5419-3 (2015).

Também é importante ressaltar que os tipos de perdas e danos que são causados as estruturas variam de acordo com o ponto de impacto da descarga atmosférica, algo que é totalmente imprevisível. Os efeitos de maior severidade do fenômeno decorrem da incidência direta da descarga sobre a vítima. Nesse caso, ao atingir seres vivos, prédios, estruturas e sistemas elétricos, os raios podem gerar destruição, incêndio e, eventualmente, morte. (VISACRO, 2019).

Segundo a ABNT NBR 5419, as seguintes situações devem ser levadas em consideração em função da posição do ponto de impacto relativo à estrutura considerada:

- a) S1: descargas atmosféricas na estrutura;
- b) S2: descargas atmosféricas próximas à estrutura;
- c) S3: descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura;
- d) S4: descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas.

Portanto, ainda é destacado na NBR que pode causar:

- a) danos mecânicos imediatos, fogo e/ou explosão devido ao próprio plasma quente do canal da descarga atmosférica, ou devido à corrente resultando em aquecimento resistivo de condutores (condutores sobreaquecidos), ou devido à carga elétrica resultando em erosão pelo arco (metal fundido);
- b) fogo e/ou explosão iniciado por centelhamento devido a sobretensões resultantes de acoplamentos resistivos e indutivos e à passagem de parte da corrente da descarga atmosférica;
- c) danos às pessoas por choque elétrico devido a tensões de passo e de toque resultantes de acoplamentos resistivos e indutivos;
- d) falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido a LEMP.

Para efeitos da ABNT NBR 5419, são considerados os seguintes tipos de perdas, os quais podem aparecer como consequência de danos relevantes à estrutura:

- a) L1: perda de vida humana (incluindo-se danos permanentes);
- b) L2: perda de serviço ao público;
- c) L3: perda de patrimônio cultural;
- d) L4: perda de valor econômico (estrutura e seu conteúdo, assim como interrupções de atividades).

2.3.1. Gerenciamento de riscos

Com tudo isso, é sabido, que para avaliar se um determinado objeto tem a real necessidade de uma proteção contra descargas atmosféricas ou não toda uma estratégia de estudo de riscos tem que ser feita, de tal modo, que leve em considerações as perdas que a falta da proteção possa causar. Assim, é então feito um gerenciamento de risco, que é todo fundamentado na então norma vigente ABNT NBR 5419-2.

Os seguintes riscos devem ser levados em consideração:

- a) R1: risco de perdas ou danos permanentes em vidas humanas;
- b) R2: risco de perdas de serviços ao público;
- c) R3: risco de perdas do patrimônio cultural;
- d) R4: riscos de perdas de valor econômico.

Dessa forma, a proteção se torna essencial se o risco total (R_1 à R_3) $R > R_T$ risco tolerado. Segundo a ABNT NBR 5419-2, para avaliar o risco R , os componentes de risco relacionados (parte do risco depende da fonte e o tipo de dano) devem ser definidos e calculados. Cada risco R é a soma de seus componentes de risco. Ao calcular o risco, os componentes, os fatores de

riscos podem ser agrupados de acordo com a origem do dano e o tipo de dano.

2.3.2. Componentes de riscos para uma estrutura

Os riscos vão variar à medida que o ponto de impacto da descarga atmosférica se modifique, de tal forma, que as perdas também dependerão dessa variável. Com o intuito de apresentar essa relação de uma ótica mais didática, o Quadro 4, expõe as componentes de riscos para estrutura de acordo com o ponto de impacto e as possíveis perdas (L) acarretadas.

Quadro 4 – Componentes de riscos para estrutura.

Ponto de impacto	Componentes de risco (R)	Perdas (L)
Estrutura	R _A = ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 m ao redor dos condutores de descidas.	L1 e L4 ¹
	R _B = danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente.	L1, L2, L3 E L4
	R _C = componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão.	L2 E L4, pode ocorrer L1 ² .
Perto da estrutura	R _M = falhas de sistemas internos causados por LEMP.	L2 E L4, pode ocorrer junto com L1 ² .
Linha conectada a uma estrutura	R _U = falhas de sistemas internos causados por LEMP.	L1, para agrícolas L4 ¹ .
	R _V = a danos físicos (incêndio ou explosão iniciados por centelhamentos perigosos entre instalações externas e partes metálicas	L1, L2, L3 e L4.

	geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura) devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas.	
	R_w = falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta.	L2, L4, pode ocorrer junto com L1 ² .
Estrutura perto de uma linha conectada à estrutura	R_z = falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta.	L2, L4, pode ocorrer junto com L1.
¹ Somente quando ocorrer perdas de animais. ² Somente para estruturas que apresentam risco de explosão, hospitais ou outras estruturas comriscos de falhas nos sistemas internos que podem colocar a vida de pessoas em perigo.		

Fonte: Adaptado pelo autor. NBR 5419-3 (2015).

Para cada tipo de risco e perda, há um calculo de componentes de risco á ser realizado. Pode-se observar nas esquações a seguir:

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

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

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

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

Onde os risco são:

R_1 – Risco de perda de vida humana;

R_2 – Risco de perda de serviço ao público;

R_3 – Risco de perda de patrimônio cultural;

R_4 – Risco de perda de valor econômico;

No qual ainda têm-se as componentes de riscos, dadas por:

R_A - Ferimentos a seres vivos devido a descargas atmosféricas;

R_B - Danos físicos na estrutura devido a descargas atmosféricas;

R_C - Falha dos sistemas internos devido a descargas atmosféricas;

R_M - Falha dos sistemas internos devido a descargas atmosféricas;

R_U - Ferimentos a seres vivos devido a descargas atmosféricas na linha conectada;

R_V - Danos físicos na estrutura devido a descargas atmosféricas na linha conectada;

R_W - Falha dos sistemas internos devido a descargas atmosféricas na linha conectada;

R_Z - Falha dos sistemas internos devido a descargas atmosféricas perto da linha.

É importante salientar, que cada componente de risco pode ser expressa por:

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

Sendo que,

N_X – É o número de eventos perigosos por ano;

P_X – É a probabilidade de dano à estrutura;

L_X – É a perda consequente a eventos perigosos causada por uma descarga atmosférica.

Não pode ser esquecido que cada componente dessas variará de acordo com cada tipo de impacto, de estrutura, de perda e de danos causados, assim sendo necessário uma avaliação rigorosa cumprindo cada especificação.

2.3.2.1. Componente de risco R_A

De forma análoga a equação 5, a componente R_A é dada por:

$$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A \quad (6)$$

Dessa forma, temos que:

N_D – quantidade de ocorrências perigosas para a estrutura;

P_A - probabilidade que há de uma descarga atmosférica sobre uma estrutura causar males a seres

vivos devido as tensões de toque e passo;

L_A - perda causada pela quantidade média de um dano específico em consequência de uma ocorrência perigosa por causa das descargas atmosféricas.

É de suma importância, destacar que o valor de N_D pode ser obtido através da Eq. 7:

$$N_D = N_T \cdot A_D \cdot C_D \times 10^{-6} \quad (7)$$

em que:

N_T - densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_D - área equivalente a estrutura (em m^2);

C_D - fator de localização da estrutura.

O valor de N_T pode ser determinado a partir do mapa da Figura 01, enquanto o valor de C_D é obtido através do Quadro 5.

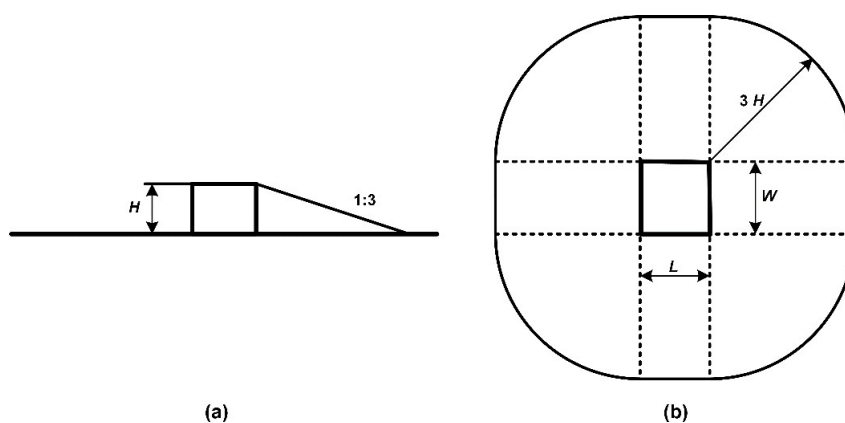
Quadro 5 - Fator de localização da estrutura C_D .

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

Fonte: NBR 5419-2 (2015).

Já a área de exposição equivalente é determinada com base nas características estruturais expostas ao risco de queda de raios. Para edificações isoladas em solo plano, a área A_D é definida pela intersecção do terreno e a linha inclinada (1 a 3), que se estende até o ponto mais alto da estrutura e gira em torno dele, conforme mostrado na Figura 14. (NBR 5419-2, 2015).

Figura 14 – Área de exposição equivalente AD de uma estrutura isolada.



(a) vista lateral e (b) vista detopo

Fonte: Adaptado da NBR 5419-2 (2015)

Sendo assim, a área de exposição total é obtida por:

$$A_D = L.W + 2(3H) . (L + W) + \pi(3H)^2 \quad (8)$$

Sabendo que,

L - comprimento da estrutura;

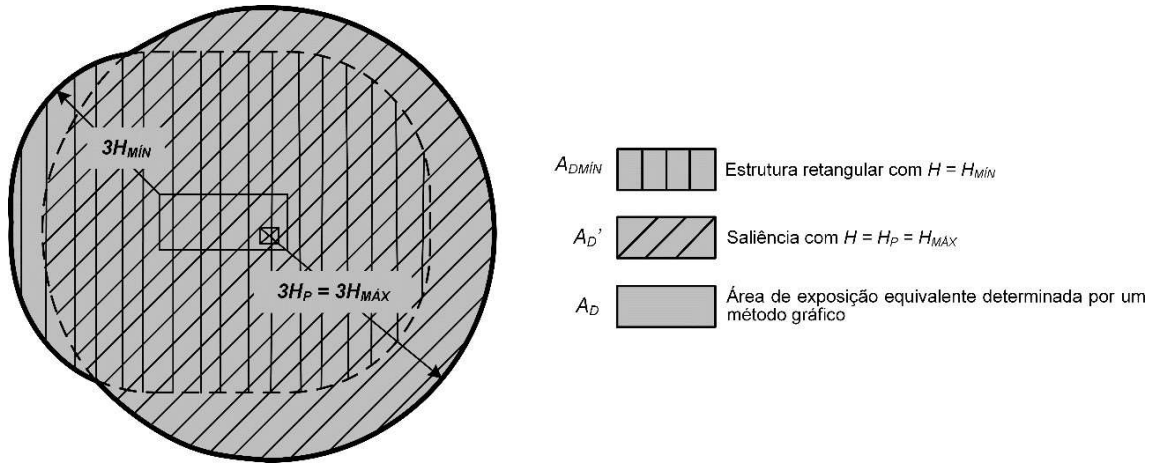
W - largura da estrutura;

H - altura da estrutura.

Se acontecer da estrutura apresentar saliências em sua cobertura, a área de exposição equivalente pode ser determinada pelo método gráfico, onde o valor máximo entre a área de exposição equivalente de $A_{D\text{MÍN}}$ e a área de exposição equivalente de projeção é considerado A_D (ABNT NBR 5419-2, 2015).

Isto posto, a Figura 15 apresenta diferentes meios de se obter a área de exposição para cada tipo de estruturas.

Figura 15 -Métodos para determinar a área equivalente para cada tipo de estrutura.



Fonte: Adaptado da NBR 5419-2 (2015).

Por outro lado, verifica-se que a área A_{DMIN} será determinada pela mesma Eq. 8, na qual o H_{MIN} é a altura mínima da estrutura e a área $A_{D'}$ é dada pela Eq. 9:

$$A_{D'} = \pi(3H_P)^2 \quad (9)$$

Portanto,

H_P - representa a altura da saliência.

No entanto, se a estrutura que será protegida consistir em apenas uma parte da edificação, sua área de exposição equivalente A_D só poderá ser avaliada nos seguintes casos:

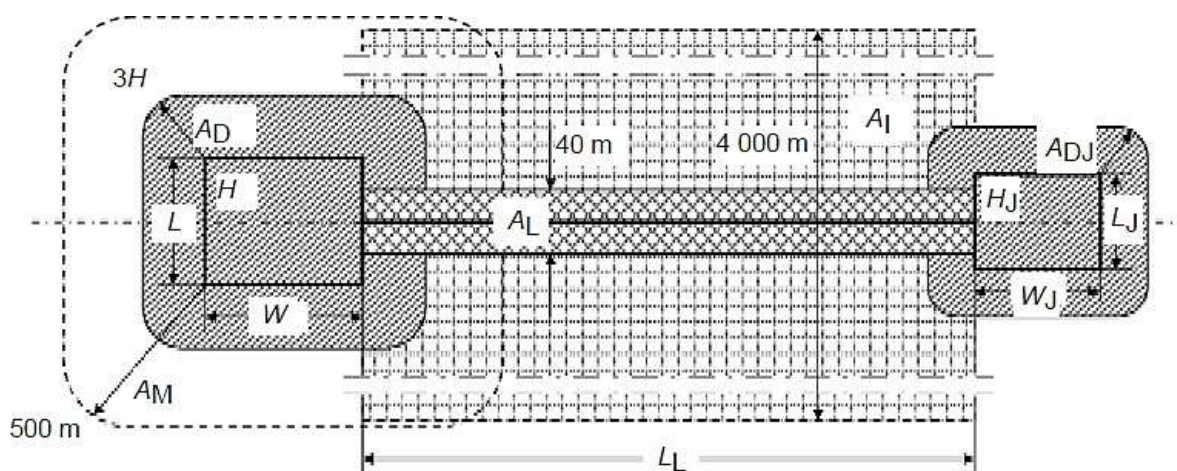
- Se a estrutura é uma parte vertical separada do edifício e não existe nos seguintes casos risco de explosão;
- Se resistência ao fogo da parede entre a estrutura e o edifício é de 120 minutos (REI 120);
- Se a DPS ou outras medidas de proteção equivalentes são aplicadas na entrada da linha pública na estrutura.

Portanto, caso essas condições não sejam atendidas, outras opções de avaliação deveram ser realizadas usando a NBR 5419-2 2015 (ABNT NBR 5419-2 2015).

Ainda por cima, vale salientar que devido a quedas de raios, outras áreas de exposição equivalentes que podem ser consideradas para análise são: a área perto da estrutura A_M , a área da linha de transmissão A_L , a área perto da linha de transmissão A_I e a área adjacente A_{DJ} a

estrutura. A Figura 16 mostra a distribuição de cada área de acordo com a exposição equivalente da determinada estrutura a ser protegida.

Figura 16 -Áreas de exposição equivalente AD, AM, AI, AL, ADJ.



Fonte: NBR 5419-2 (2015).

Já para determinar P_A , têm-se:

$$P_A = P_{TA} \cdot P_B \quad (10)$$

Onde,

P_{TA} - probabilidade de uma descarga atmosférica numa estrutura causar choques a seres vivos devido as tensões de toque e passo;

P_B - probabilidade que depende dos fatores de proteção aplicados para diminuir a ocorrência de danos físicos.

Os valores de P_{TA} são determinados pelo Quadro 6, e os valores de P_B pelo Quadro 7, além do mais, se a estrutura tiver mais de uma medida de proteção, P_{TA} será o produto entre os correspondentes.

Quadro 6 -Valores de probabilidade PTA de uma descarga atmosférica sobre uma estrutura causar ferimentos a seres vivos devido as tensões de toque e passo (através de choque elétrico).

Medida de proteção adicional	PTA
Nenhuma medida de proteção	1
Aviso de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das	10^{-2}

partes expostas (por exemplo, condutores de descidas)	
Equipotencialização efetiva do solo	10^{-2}
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Fonte: NBR 5419-2 (2015).

Quadro 7 - Valores de probabilidade PB dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.

Características da estrutura	Classe do SPDA	PB
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: NBR 5419-2 (2015).

Por outro lado, para se calcular a componente de perda L_A são levadas em consideração as perdas L_1 e L_4 . Com isso, para se obter a componente L_A para a perda L_1 é encontrada através da Eq. 11.

$$L_A = r_T \cdot L_T \cdot \frac{n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760} \quad (11)$$

Na qual,

r_t - fator de redução da perda de vida humana;

L_T - quantidade de vítimas feridas por choque elétrico;

n_z - quantidade de pessoas presentes na zona;

n_t - quantidade total de pessoas na estrutura;

t_z - tempo que as pessoas permanecem na zona (em horas/ano).

Dessa forma, para se obter o fator de redução da perda de vida humana utiliza-se o Quadro 8, de forma análoga, para classificar o número de vítimas feridas por choque elétrico é necessário consulta o Quadro 9.

Quadro 8– Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso.

Tipo de superfície ²	Resistência de contato $k \Omega^1$	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}
¹ Valores medidos entre um eletroduto de 400 cm^2 comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado do infinito.		
² 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: NBR 5419-2 (2015).

Quadro 9– Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O para o tipo de perda L_1 .

Tipos de danos	Valor de perda típico		Tipo de estrutura
D1 Ferimentos	L_T	10^{-2}	Todos os tipos
D2 Danos físicos	L_F	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-1}	Hospital, hotel, escola, edifício cívico
		$5 * 10^{-2}$	Entretenimento público, igreja, museu
		$2 * 10^{-2}$	Industrial, comercial
		10^{-3}	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: NBR 5419-2 (2015).

Toda via, para encontrar o valor de L_A quando a perda é do tipo L_4 , faz-se uso da Eq. 12:

$$L_A = r_t \cdot L_T \cdot \frac{C_a}{C_t} \quad (12)$$

Onde:

r_t - fator de redução da perda de animais (Quadro 8);

L_T - valor médio de todos os valores com danos em razão de choques elétricos provocados raios;

C_a - quantidade de animais presentes na zona;

C_t - junção de todos os valores que compõe a estrutura (incluindo soma das zonas, edificação, conteúdo, sistemas internos e suas atividades).

No Quadro 10, é possível obter os valores de L_T , no qual são classificados em correspondência com os tipos de danos e tipos de estrutura.

Quadro 10- Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O para o tipo de perda L_A .

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

Fonte: NBR 5419-2 (2015).

2.3.2.2. Componente de risco R_B

Para determinar a componente de risco R_B (danos físicos devidos as incidências de raios), aplica-se a Eq. 13:

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B \quad (13)$$

Onde,

N_D - número de eventos perigosos por ano em decorrência das descargas atmosféricas (Eq. 7);

P_B - probabilidade do raio causar danos físicos (Quadro 9);

L_B - perda causada pela quantidade média de um tipo de dano devido um evento perigoso por causa das descargas atmosféricas.

A variável L_B é dada em conformidade com os tipos de perdas que foram consideradas no estudo do sistema que será protegido. Portanto, L_B , para a perda LI , é encontrada por meio da Eq. 14.

$$L_B = r_p \cdot r_t \cdot h_s \cdot L_F \cdot \frac{n_s}{n_t} \cdot \frac{t_s}{8760} \quad (14)$$

Onde:

r_p - é o fator de redução de perda devido os danos físicos causados por incêndios;

r_t - é o fator de redução de perdas devido os riscos de incêndio ou explosão na edificação;

h_s - é o fator de aumento de perdas por causa da presença de um perigo especial;

L_F - é o valor médio do número de vítimas em relação aos danos físicos consequentes de eventos perigosos (Quadro 10).

De acordo com as medidas a serem tomadas, visando minimizar os danos causados por um incêndio, é possível determinar o valor de r_p (fator de redução de perda), com isso, o Quadro 11 concatena essas medidas com seus respectivos valores de perda.

Quadro 11-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: NBR 5419-2 (2015).

Segundo a ABNT NBR 5419-2/2015, é de suma importância observar o fato de que, se alguma providência já foi tomada o r_p a ser considerado é aquele que apresentar o menor valor entre eles. Por outro lado, em todos os casos que a estrutura apresentar risco de explosão o valor de r_p será igual a 1. Toda via, o fator de redução r_f dependerá do tipo de risco que a estrutura estará exposta, assim como mostra o Quadro 12.

Ademais, sempre que a estrutura possuir risco de explosão, é aconselhável fazer uma avaliação mais detalhada para que se possa determinar o valor do fator de redução r_f . Já o número relativo L_F pode ser localizado no Quadro 10, ao mesmo tempo que o valor do fator h_z , relaciona-se com o tipo de perigo especial que há na estrutura, como é mostrado no Quadro 13 (NBR 5419-2, 2015).

Quadro 12-Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura.

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

Fonte: NBR 5419-2 (2015).

Quadro 13– Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de perigo especial.

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

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (2015).

Tendo em mente as perdas do tipo L_2 , L_B (perda causada por danos físicos) é dada pela Eq. 15.

$$L_B = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot \frac{n_z}{n_t} \quad (15)$$

Têm-se:

n_z - quantidade de pessoas contempladas pela zona;

n_t - quantidade total de pessoas contempladas pela estrutura;

L_F - número de pessoas não contempladas, porém que estão submetidas à danos físicos em decorrência de um evento perigoso.

Logo, os valores de perdas L_F dependem dos tipos de serviços e danos que há na estrutura e são encontrados de acordo com o Quadro 14.

Quadro 14 - Valores médios típicos de L_F e L_O para o tipo de perda L_2 .

Tipo de dano	Valor da perda típica		Tipo de serviço
D2	LF	10 ⁻¹	Gás, água, fornecimento de energia
		10 ⁻²	TV, linhas de sinais
D3	LO	10 ⁻²	Gás, água, fornecimento de energia

		10 ⁻³	TV, linhas de sinais
--	--	------------------	----------------------

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (2015).

Por outro lado, o valor de perda L_B , para as perdas de patrimônio cultural L_3 , pode ser expresso de acordo com a Eq. 16.

$$L_B = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot \frac{C_z}{C_t} \quad (16)$$

Na qual,

r_p - é o fator de redução de perda dos danos físicos causados por incêndios (Quadro 11);

r_f - é o fator de redução de perdas por causa dos riscos de incêndio ou explosão na edificação (Quadro 14);

C_z - valor do patrimônio cultural na zona;

C_t - valor total da estrutura completa (soma de todas as zonas);

L_F - valores de perdas consequentes de danos físicos durante um evento perigoso.

A relação entre o valor de perda L_F , inserido nas perdas L_3 , com o tipo de estrutura ou zona em que os riscos de danos físicos existem é expressa no Quadro 15.

Quadro 15 - Valores médios típicos de L_F para o tipo de perda L_3 .

Tipo de dano	Valor da perda típica		Tipo de serviço
D2	LF	10 ⁻¹	Museus, galerias

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (2015).

Dando continuidade, para as perdas do tipo L_4 , o valor de L_B é calculado de acordo com a Eq. 17.

$$L_B = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot \frac{(c_a + c_b + c_c + c_s)}{c_t} \quad (17)$$

Onde:

r_p - é o fator de redução de perda devido os danos físicos causados por incêndios (disponível no Quadro 11);

r_f - é o fator de redução de perdas devido os riscos de incêndio ou explosão na edificação (disponível no Quadro 12);

L_F - é o valor médio do número de valores expostos a choques elétricos devido a eventos perigosos (Quadro 10);

c_a - é o número de animais presentes na zona;

c_b - é o valor da edificação relevante à zona;

c_c - é o valor do conteúdo da zona;

c_s - é o valor estimado dos sistemas internos da estrutura, como também suas atividades na zona;

c_t - é a soma de todos os valores que constituem a estrutura somando também as das zonas, edificação, conteúdo, sistemas internos e suas atividades.

De acordo com os tipos de estruturas e os danos presentes, pode-se verificar os valores de L_F , que estão contemplados no Quadro 16.

Quadro 16- Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O para o tipo de perda L4.

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

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (2015).

2.3.2.3. Componente de risco R_C

Seguindo a mesma lógica, têm-se que a componente de risco R_C é dada pela Eq. 18:

$$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_C \quad (18)$$

Na qual:

N_D - número de eventos perigosos por ano decorrente das descargas atmosféricas (Eq. 7);

P_C - probabilidade de o raio causar falhas nos sistemas internos da estrutura;

L_C - perda acarretada pela quantidade média de um tipo específico de dano devido um evento perigoso por causa das descargas atmosféricas.

Já a probabilidade P_C é dada pela Eq. 19:

$$P_C = P_{SPD} \cdot C_{LD} \quad (19)$$

Logo,

P_{SPD} - seu valor é dependente do sistema de coordenação do DPS para o qual o NP foi projetado;

C_{LD} - fator que depende das condições de blindagem, aterramento e isolamento da linha que o sistema interno encontra-se conectado.

Sabendo disso, pode-se então determinar os valores de P_{SPD} e C_{LD} por meio dos Quadros 17 e 18, respectivamente.

Quadro 17 – Valores de probabilidade P_{SPD} em função do NP para o qual os DPS foram projetados.

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

Fonte: NBR 5419-2 (2015).

Quadro 18 – Valores dos fatores CLD e CLI dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento.

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

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (2015).

Para expressar o valor da perda L_C têm-se que levar em consideração as perdas L_1 , L_2

e L_4 para cada zona. Portanto, em relação as perdas L_1 , L_C é dada pela Eq. 20:

$$L_C = L_O \cdot \frac{(n_z \cdot t_s)}{n_t \cdot 8760} \quad (20)$$

Na qual:

L_O – é o número de vítimas feridas por falhas no sistema interno, por consequência de um evento perigoso (Quadro 7);

n_z – é o número de indivíduos presentes na zona;

n_t – é a quantidade total de pessoas na estrutura;

t_z – é o tempo que as pessoas ficam presentes na zona (em horas/ano).

Em contrapartida, para as perdas L_2 , L_C é encontrada de forma análoga a Eq. 20, não obstante, nesse caso, a última parte é desconsiderada, como mostra a Eq. 21:

$$L_C = L_O \cdot \frac{n_z}{n_t} \quad (21)$$

Tendo que:

L_O - é o número de vítimas feridas por falhas no sistema interno, em razão a um evento perigoso (Quadro 7);

n_z - número de indivíduos presentes na zona;

n_t - quantidade total de pessoas na estrutura.

Em seguimento, para se calcular a perda L_C , usa-se a Eq. 22:

$$L_C = L_O \cdot \frac{c_s}{c_t} \quad (22)$$

Onde:

L_O - é o número de vítimas feridas por falhas no sistema interno, devido um evento perigoso (Quadro 10);

c_s - valor estimado dos sistemas internos da estrutura, assim como suasatividades na zona;

c_t - junção de todos os valores que da estrutura, ou seja, soma das zonas, edificação, conteúdo, sistemas internos e suas atividades.

2.3.2.4. Componente de risco R_M

Por meio da Eq. 23, obtêm-se o valor da componente de risco R_M :

$$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_M \quad (23)$$

Logo,

N_M - número de eventos perigosos por ano devido as descargas atmosféricas próximas a estrutura;

P_M - probabilidade do raio perto de uma estrutura gerar falhas nos sistemas internos;

L_M - perda gerada pela quantidade média de um tipo específico de dano devido um evento perigoso por causa das descargas atmosféricas.

O valor de N_M pode ser obtido pela Eq. 24:

$$N_M = N_G \cdot A_M \cdot 10^{-6} \quad (24)$$

Sendo assim,

N_G - é a densidade de descarga atmosférica para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$) (Figura 3);

A_M - é a área exposta de descargas atmosféricas atingidas perto da estrutura (em m^2);

A partir da Eq. 25 é possível obter a área de exposição equivalente. Essa área inclui uma linha situada a uma distância de um raio de 500 m do perímetro da estrutura.

$$A_M = 2 \cdot 500 \cdot (L + W) + \pi \cdot 500^2 \quad (25)$$

Na qual:

L - é o comprimento da estrutura;

W - é a Largura da estrutura.

As descargas atmosféricas próximas a uma edificação, são capazes de gerar falhas nos sistemas internos (ABNT NBR 5419-2, 2015). Logo, se acontecer desses sistemas não estarem consoante ao nível de suportabilidade de tensão estabelecido pela norma, o valor a ser considerado para P_M será 1. Sem contar que, caso não haja o uso de DPS, o valor de P_M será o

mesmo que o de P_{MS} . Apesar disso, se existir o uso de DPS, P_M pode ser dada pela Eq. 26:

$$P_M = P_{SPD} \cdot P_{MS} \quad (26)$$

P_{SPD} - valor que depende do sistema de coordenação do DPS, de acordo com o NP para o qual foi projetado (Quadro 15);

De acordo com a ABNT NBR 5419-2/2015, o valor de P_{MS} será nulo, quando o equipamento, que será protegido, apresentar suas interfaces em isolamento, através de transformadores de isolação (com grade aterrada entre enrolamentos), sem contar também com a presença de cabos de fibra óptica ou acoplamento óptico. À vista disso, para se obter P_{MS} aplica-se a Eq. 27.

$$P_{MS} = (K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot K_{S3} \cdot K_{S4})^2 \quad (27)$$

Em que:

K_{S1} - eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou blindagem na interface ZPR 0/1;

K_{S2} - eficiência da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y ($X > 0$, $Y > 1$);

K_{S3} - características da fiação interna;

K_{S4} - nível de tensão de impulso suportável do sistema que será protegido.

Através das equações, Eq. 28 e Eq.29, é possível determinar os fatores K_{S1} e K_{S2} , respectivamente.

$$K_{S1} = 0,12 \cdot w_{m1} \quad (28)$$

$$K_{S2} = 0,12 \cdot w_{m2} \quad (29)$$

Tendo que:

w_{m1} e w_{m2} - podem ser as larguras da blindagem no formato de grade, ou dos condutores do SPDA (tipo malha), ou o espaçamento entre as colunas metálicas da estrutura, ou do espaçamento das estruturas de concreto armado quando utilizadas como elementos naturais do SPDA.

É importante salientar que, de acordo com a NBR 5419-2/2015, no momento que são utilizadas blindagens metálicas contínuas, ou seja, espessura não inferior a 0,1 mm, K_{S1} e K_{S2}

podem ser considerados 10^{-4} . Por outro lado, se houver o uso de uma rede de equipotencialização em malha, os valores devem ser tidos pela metade, ou dobrados, para o caso de haver um laço de indução próximo aos condutores existentes no limite da malha da zona de proteção, sendo que esta encontra-se a uma distância de blindagem inferior a distância de segurança requerida pela norma.

Isto posto, o fator K_{S3} pode ser encontrado com o auxílio do Quadro 19, no qual os valores vão depender de qual fiação foi utilizada na instalação interna.

Quadro 19 – Valor do fator K_{S3} dependendo da fiação interna.

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

Fonte: NBR 5419-2 (2015).

Para encontrar o fator K_{S4} , é usada a Eq.30, na qual o seu valor é delimitado:

$$L_{S4} = \frac{1}{U_w} \quad (30)$$

Onde:

U_W - é a tensão suportável nominal de impulso do sistema de proteção (kV).

Por conseguinte, os valores da perda L_M são equivalentes aos mesmos valores de L_C , de acordo com os variados tipos de perdas consideradas: $L1$ (Eq. 20), $L2$ (Eq.21) e $L4$ (Eq. 22).

2.3.2.5. Componente de risco R_U

O componente de risco R_U é calculado pela Eq. 31:

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_U \cdot L_U \quad (31)$$

Em que:

N_L - é o número médio de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha;

N_{DJ} - é o número médio de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas para uma estrutura adjacente;

P_U - é a probabilidade de uma descarga atmosférica numa linha gerar danos a seres vivos por choque elétrico;

L_U - é a perda gerada pela quantidade média de um tipo específico de dano em decorrência a um evento perigoso devido às descargas atmosféricas.

Em concordância, a norma NBR 5419-2/2015, uma linha, de energia ou sinal, é subserviente a descargas atmosféricas que, por conseguinte, a variados tipos de danos e perdas. Logo, a mesma pode ser constituída por várias seções, em que o valor de N_L pode ser determinado pela Eq. 32

$$N_L = N_G \cdot A_L \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \times 10^{-6} \quad (32)$$

Na qual:

N_G - é a densidade da descarga atmosférica para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$) (obtida na Figura 3);

A_L - é a área exposta de descargas atmosféricas que atingem a linha (m^2);

C_I - é o fator de instalação da linha;

C_T - é o fator do tipo de linha;

C_E - é o fator ambiental.

A área A_L pode ser obtida por meio da Eq. 33:

$$A_L = 40 \cdot L_L \quad (33)$$

Onde:

L_L - comprimento da seção da linha (m).

A partir dos Quadros 20, 21 e 22, é possível obter os valores dos fatores C_I , C_T e C_E , respectivamente.

Quadro 20– Fator de instalação da linha C_I .

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

Fonte: NBR 5419-2 (2015).

Quadro 21– Fator tipo de linha C_T .

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

Fonte: NBR 5419-2 (2015).

Quadro 22– Fator ambiental da linha C_E .

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

Fonte: NBR 5419-2 (2015).

Diante disso, para se obter o valor de N_{DJ} , é preciso aplicar a Eq. 34:

$$N_{DJ} = N_G \cdot A_{DJ} \cdot C_{DJ} \cdot C_T \times 10^{-6} \quad 34$$

Onde:

NG - é a densidade da descarga atmosférica para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$) (obtida na Figura 3);

A_{DJ} - é a área exposta da estrutura adjacente (m^2);

C_{DJ} - é o fator de localização da estrutura adjacente;

C_T - é o fator do tipo de linha (Quadro 20).

Já a probabilidade P_U é calculada pela Eq. 35, onde seus valores vão depender das especificidades da blindagem da linha, da tensão de impulso suportada pelos sistemas internos ligados à linha e de algumas medidas de proteção como, o uso de restrições físicas ou avisos de alerta, interfaces isolantes ou DPS na entrada da linha, de forma a assegurar a ligação equipotencial (NBR 5419-2, 2015):

$$P_U = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (35)$$

Sabendo que,

P_{TU} - irá depender das medidas de proteção aplicadas contra tensões de toque (obtida no Quadro 23);

P_{EB} - dependerá das ligações equipotenciais e dos níveis de proteção que o DPS foi projetado contra descargas atmosféricas (obtida no Quadro 24);

P_{LD} - é a probabilidade de ocorrer falhas nos sistemas internos por causa de uma descarga atmosférica que veio a atingir a linha conectada a estes (obtida no Quadro 25);

C_{LD} - é o fator que dependerá das condições de blindagem, aterramento e isolamento da linha (Quadro 17).

Quadro 23 – Valores da probabilidade PTU de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choques a seres vivos devido a tensão de toque perigosas.

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

Fonte: NBR 5419-2 (2015),

Quadro 24 – Valor da probabilidade PEB em função do NP para o qual os DPS foram projetados.

NP	PEB
Sem DPS	1
III – IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 4	0,005 – 0,001

Fonte: NBR 5419-2 (2015).

Quadro 25 – Valores da probabilidade PLD dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e datensão suportável de impulso UW do equipamento.

Tipo da linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação		Tensão suportável UW 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
	Blindagem aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do Equipamento	$5 \Omega/\text{km} < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1 \Omega/\text{km} < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Fonte: NBR 5419-2 (2015).

Para determinar L_U será análoga a L_A , por meio da Eq. 11 (considerando as perdas de valor L_1) e pela Eq. 12 (considerando as perdas de valor L_4).

2.3.2.6. Componente de risco R_V

O componente R_V é calculado através da Eq. 36:

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_V \cdot L_V \quad (36)$$

Expõe-se que,

N_L - é o número médio de eventos perigosos em devido a descargas atmosféricas na linha (Eq. 32);

N_{DJ} - é o número médio de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas para uma estrutura adjacente (Eq. 34);

P_V - é a probabilidade de uma descarga atmosférica numa linha causar danos físicos;

L_V - perda causada pela quantidade média de um tipo particular de dano em consequência a um evento perigoso devido às descargas atmosféricas.

Para determinar P_V usa-se a Eq. 37, que é a análoga a P_U , diferenciando-se somente, que em uma não leva-se em consideração as medidas de proteção contra tensões de choque, com isso:

$$P_V = P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (37)$$

Onde,

P_{EB} - irá depender das ligações equipotenciais e dos níveis de proteção para o qual o DPS foi projetado contra descargas atmosféricas (Quadro 23);

P_{LD} - probabilidade de falhas nos sistemas internos devido uma descarga atmosférica atingir a linha conectada (Quadro 24);

C_{LD} - fator que depende das condições de blindagem, aterramento e isolamento da linha (Quadro 17).

2.3.2.7. Componente de risco R_W

Através da Eq. 38 é possível obter o valor do componente R_W :

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_W \cdot L_W \quad (38)$$

Sabendo que,

N_L - é o número médio de eventos perigosos devido descargas atmosféricas na linha (Eq. 32);

N_{DJ} - é o número médio de eventos perigosos devido descargas atmosféricas para uma estrutura adjacente (Eq. 34);

P_W - é a probabilidade de uma descarga atmosférica numa linha ocasionar falhas nos sistemas

internos;

L_W - é a perda gerada pela quantidade média de um tipo específico de dano por conseguinte de um evento perigoso devido às descargas atmosféricas.

Como é fundamentado pela norma NBR 5419-2/2015, o valor de P_W dependerá: das características de blindagem da linha, da tensão de impulso que os sistemas internos que são ligados à linha conseguem resistir e das interfaces isolantes ou do DPS instalado. Dessa forma, através da Eq. 39 obtêm-se o valor de P_W :

$$P_W = P_{SPD} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (39)$$

Logo:

P_{SPD} - irá depender do sistema de coordenação do DPS, de acordo com o NP para a qual este foi projetado (Quadro 16);

P_{LD} - é a probabilidade de falhas nos sistemas internos devido uma descarga atmosférica atingir a linha conectada a esses (Quadro 24);

C_{LD} - irá depender das condições de blindagem, aterramento e isolamento da linha (Quadro 16).

Para se obter o valores de L_W , basta calcular das mesma forma que se calcula L_c , lembrando que, para cada tipo de perda, há a sua equação correspondente. Com isso, têm-se que para as perdas dos tipos $L1$, $L2$ e $L4$ aplica-se a Eq. 20, Eq.21 e Eq. 22, respectivamente.

2.3.2.8. Componente de risco R_Z

Para se determinar o componente de risco R_Z , aplica-se a Eq. 40:

$$R_Z = N_I \cdot P_Z \cdot L_Z \quad (40)$$

N_I - é o número médio de eventos perigosos devido as descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura;

P_Z - é a probabilidade de uma descarga atmosférica perto de um linha gerar falhas nos sistemas internos;

L_Z - é a perda causada pela quantidade média de um tipo específico de dano devido a um

evento perigoso por causa das descargas atmosféricas.

Já o número médio N_I é determinado pela Eq. 41.

$$N_I = N_G \cdot A_I \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (41)$$

Em que:

N_G - é a densidade da descarga atmosférica para a terra (1/km² x ano) (Figura 3);

A_I - é a área exposta de descargas atmosféricas para a terra próxima a linha (m²);

C_I - é o fator de instalação (Quadro 18);

C_T - é o fator do tipo de linha (Quadro 19);

C_E - é o fator ambiental (Quadro 20).

A área A_I pode ser calculada por meio da Eq. 42:

$$A_I = 4000 \cdot L_L \quad (42)$$

Onde,

L_L - é o comprimento da seção da linha (m).

De acordo com as recomendações da NBR 5419-2/2015, caso o valor de L_L seja desconhecido, ou não tenha como ser determinado, pode-se admitir que $L_L = 1000m$.

Em sequência, a probabilidade P_Z é estabelecida pela Eq. 43:

$$P_Z = P_{SPD} \cdot P_{LI} \cdot C_{LI} \quad (43)$$

Na qual,

P_{SPD} - irá depender do sistema de coordenação do DPS, de acordo com o NP para o qual este foi projetado (Quadro 15);

P_{LI} - é a probabilidade de falhas nos sistemas internos por causa de uma descarga atmosférica atingir um ponto próximo da linha conectada a estes;

C_{LI} - é o fator que depende das condições de blindagem, aterramento e isolamento da linha

(Quadro 16).

Para se quantificar o valor da variável P_{LL} , tem que ser levado em consideração as especificidades da linha, e a tensão de impulso suportada pelos equipamentos sem comprometer sua funcionalidade, informação obtida através do Quadro 26.

Quadro 26 – Valores da probabilidade PLI dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso UW dos equipamentos.

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

Fonte: NBR 5419-2 (2015).

Para se obter o valores de Lz , basta calcular das mesma forma que se calcula Lc , lembrando que, para cada tipo de perda, há a sua equação correspondente. Com isso, têm-se que para as perdas dos tipos $L1$, $L2$ e $L4$ aplica-se a Eq. 20, Eq.21 e Eq. 22, respectivamente.

2.3.3. Risco tolerável para proteção da estrutura

Após um estudo a cerca dos riscos, do tipos de perdas, e danos que podem ser causados devido a incidência de descargas atmosféricas, pode então ser inferido se aquela estrutura apresenta a necessidade de proteção ou não.

À vista disso, quando o risco é identificado, avaliado e estudado, o risco R é maior que o risco tolerável R_T medidas preventivas devem ser tomadas com o objetivo de tornar $R < R_T$, ou pelo menos, $R = R_T$. Segundo a ABNT NBR 5419-2, para avaliar o risco R , os componentes de risco relacionados (parte do risco depende da fonte e o tipo de dano) devem ser definidos e calculados. Cada risco R é a soma de seus componentes de risco, que depender de cada tipo de perda, logo, o Quadro 27, relaciona os valores típicos de R_T para cada perda.

Quadro 27 – Valores típicos de risco tolerável (R_T).

Tipo de perda		$R_T (y^{-1})$
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}

L2	Perda de serviço ao público	10^{-3}
L3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (2015).

É importante observar que, para perda de valor econômico (L4), a rotina a ser seguida é a comparação custo/ benefício. Se os dados para esta análise não estão disponíveis, o valor representativo de risco tolerável $R_T = 10^{-3}$ pode ser utilizado.

2.3.4. Estudo da estrutura a ser protegida

Um dos conceitos propostos pela norma técnica ABNT NBR 5419: 2015-Proteção contra raios é a zona de proteção contra raios (ZPR). O ZPR é um espaço eletromagnético bem definido que pode esperar por um determinado nível de tensão e corrente transiente no edifício onde o ZPR está localizado. Essas tensões e correntes transientes são geradas por descargas atmosféricas diretas ou indiretas.

Supondo um ambiente, no qual, um objeto existente dentro da estrutura não pode mais ser atingido por uma descarga atmosférica por ela já está protegida por um sistema de captação SPDA, entretanto esse objeto ainda encontra-se desprotegido devido a tensões e correntes induzidas, é dito então, que a esse objeto está em uma zona protegida contra descargas atmosféricas, porém, não está protegida por blindagens.

Dessa maneira, segundo a ABNT NBR 5419-2/2015, a estrutura material de estudo para análise de risco leva em consideração a própria edificação, suas instalações internas, seu conteúdo e as pessoas envolvidas na estrutura ou nas zonas ZS em até 3 m de proximidade. Portanto, a estrutura a ser protegida pode ser classificada em uma única zona ou em diferentes zonas. Sendo assim, as ZPR's podem ser classificadas, assim como no Quadro 27.

Quadro 28 - Características das ZPR's.

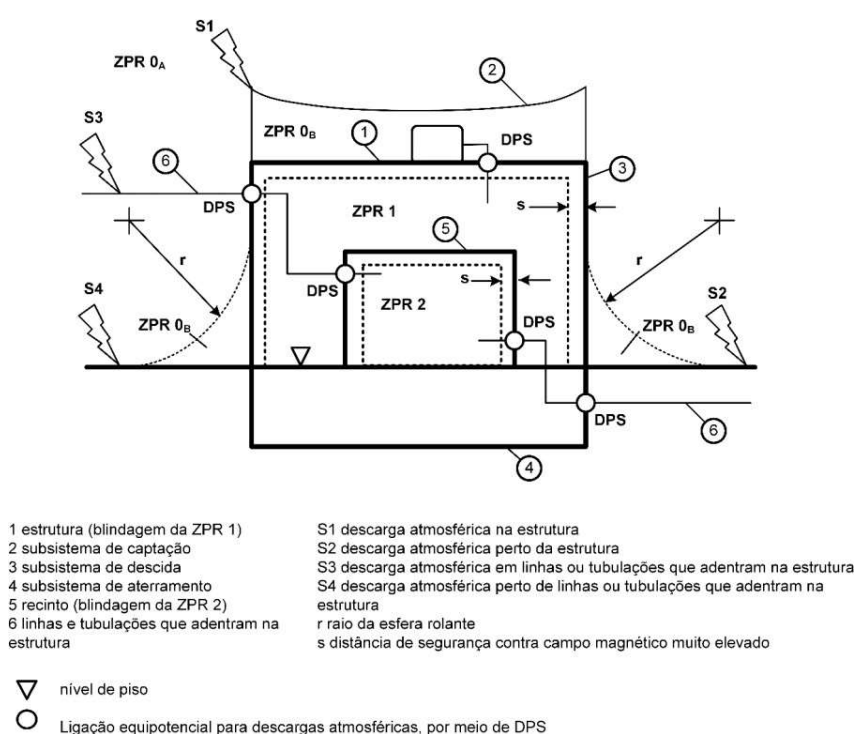
Zonas de proteção contra raios – ZPR	Características
ZPR0A	Zona que fica externa à edificação. Há o risco de ser atingido por uma descarga atmosférica direta. Não há nenhuma blindagem contra pulsos eletromagnéticos causados por DA.

ZPR0B	Zona que é protegida por um SPDA, mas ainda não apresenta a proteção por blindagem.
ZPR01	Zona interna à edificação, na qual a energia das descargas atmosféricas é relativamente baixa.
ZPR02	Zona interna à edificação, na qual só podem surgir pequenos surtos.

Fonte: Adaptado de Santos, 2015.

É crucial, o entendimento da significância do estudo das ZPR's, para a aplicação de uma proteção de qualidade, a julgar por a eficácia da sua implantação, já que, quanto mais ZPR's menor se torna os efeitos das descargas sobre a estrutura. Na Figura 17, é possível observar como é a distribuição das ZPR's.

Figura 17- As ZPR definidas por MPS



Fonte: Adaptado de NBR 5419-1 (2015)

2.4. NR 35 - TRABALHO EM ALTURA

Pensando na implantação de um projeto de SPDA, toda a sua elaboração, construção e manutenção é realizada em altura, dessa forma, é importante que toda a equipe, tal como o engenheiro responsável estejam cientes e respaldados das medidas de segurança e utilização de

EPI's adequados para o exercício desse serviço. Isto posto, o estudo e treinamento da NR 35 2017, norma regulamentadora do trabalho em altura, estabelece os requisitos mínimos e as medida de proteção para o trabalho em altura, envolvendo o planejamento, a organização e a execução, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente nesta atividade.

Vale lembrar que, de acordo com a norma, trabalho em altura é todo aquele que é “executado acima de dois metros do nível inferior, em que há risco de queda”. Considera-se trabalhador capacitado para trabalho em altura aquele que foi submetido e aprovado em treinamento, teórico e prático, com carga horária mínima de oito horas, cujo conteúdo programático deve, no mínimo, incluir (NR 35,2017).

- a) normas e regulamentos aplicáveis ao trabalho em altura;
- b) análise de Risco e condições impeditivas;
- c) riscos potenciais inerentes ao trabalho em altura e medidas de prevenção e controle;
- d) sistemas, equipamentos e procedimentos de proteção coletiva;
- e) equipamentos de Proteção Individual para trabalho em altura: seleção, inspeção, conservação e limitação de uso;
- f) acidentes típicos em trabalhos em altura;
- g) condutas em situações de emergência, incluindo noções de técnicas de resgate e de primeiros socorros.

É importante saber também que todo trabalho em altura deve ser realizado sob supervisão, na qual a forma será definida pela análise de risco de acordo com as peculiaridades da atividade. Sendo assim, execução do serviço deve considerar as influências externas que possam vir a alterar as condições do local de trabalho já previstas na análise de risco (NR 35, 2017).

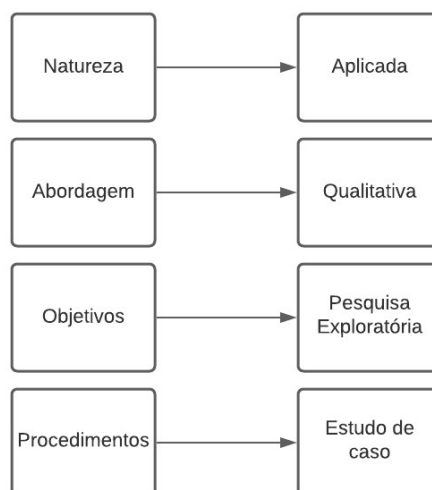
3. MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo Gil (2002), o desenvolvimento de uma pesquisa abrange variadas fases. Estas vão desde a concepção do problema até a resolução dos problemas. O linear da pesquisa é baseado na junção de conhecimento adquirido e a aplicação de técnicas, métodos e vários procedimentos científicos. Portanto, nessa seção será abordado a metodologia aplicada para o desenvolvimento desse trabalho, bem como seu cronograma.

3.1 CLASSIFICAÇÃO TIPOLOGICA DO ESTUDO DE CASO

Para Lakatos e Marconi (1992) a pesquisa diz respeito a um levantamento de dados oriundos de várias fontes. Assim é necessário a caracterização da pesquisa, classificando-a no que diz sua abordagem, natureza, objetivos e procedimentos. Podemos visualizar a caracterização através da Figura 18

Figura 18 - Caracterização da pesquisa.



Fonte: Autoria própria (2021).

Ao se referir à natureza da pesquisa a mesma pode ser denominada como aplicada, visto que produz embasamento para ser aplicada na prática os conhecimentos apresentados nela e com o propósito de propor um projeto aplicável as condições locais. Rodrigues (2007) explana ainda que é uma pesquisa aplicada é uma investigação e comprovação ou rejeição de hipóteses sugeridas pelos modelos teóricos.

Sua abordagem é qualitativa, tendo como premissa que os métodos utilizados levam a

conclusões que qualificam os riscos gerados pela falta de um projeto SPDA.

Quanto aos objetivos, é uma pesquisa com caráter exploratório por ter uma abrangência em situações que podem ser estudadas. Tem como foco estudar características de um grupo, onde há preocupação com a atuação prática (Gil, 2002).

Utiliza-se também no trabalho, pesquisa bibliográfica, e documental, tendo como base condições normativas e estudos consolidados.

É condicionada como um estudo de caso por detalhar um fenômeno de forma fidedigna, fundamentado em evidências encontradas no local. São fundamentais seis fontes de evidências: a) a documentação, b) os registros em arquivos, c) as entrevistas, d) a observação direta, e) a observação participante e os f) artefatos físicos (YIN, 2015).

3.2. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO

O estádio de futebol Coliseu fica localizado na cidade de Alto Santo-CE (Figura 19 e Figura 20). De acordo com dados do IBGE (2014), o município registra 16.823 habitantes e se situa na microrregião do Baixo Jaguaribe, mesorregião do Jaguaribe.

O estádio possui edificações construídas sobre uma área de aproximadamente 17.100,00 m² do seu terreno, sendo composto por três blocos de edificação: vestiários (zona 03), campo (zona 02) e arquibancadas (zona 01), como mostrado na Figura 19. Para a diferenciação de blocos foram consideradas as distâncias entre os blocos, tal como a divisão de habitação entre eles.

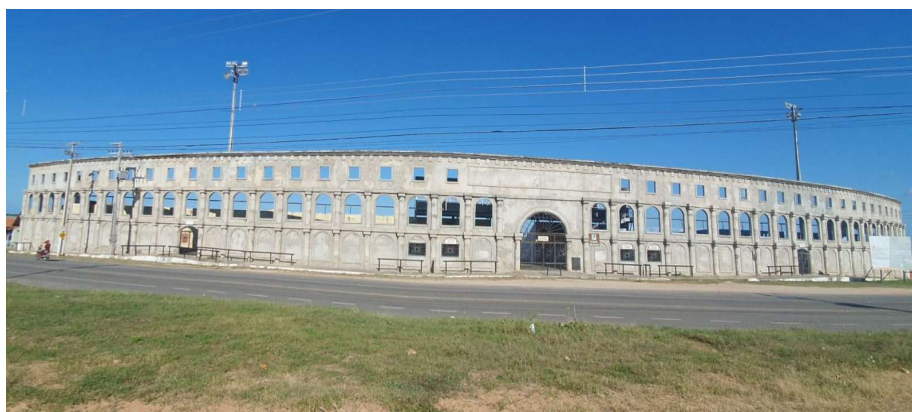
A arena, com capacidade inicial para 5.000 pessoas, teve sua obra finalizada em meados de 2012 e custou cerca de 1,3 milhões de reais aos cofres municipais. Inicialmente não possuía iluminação própria, passando a adquirir os equipamentos no ano de 2019.

Figura 19 - Imagem aérea da Arena Coliseu.



Fonte: Adaptado pelo autor do Google Earth, 2021.

Figura 20 - Fachada da Arena Coliseu.

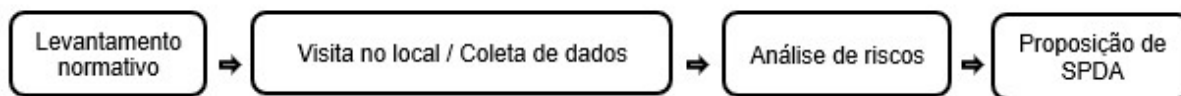


Fonte: Autoria Própria.

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesse trabalho, foi retratado um estudo de caso, realizado para atestar as condições locais de proteção a descargas elétricas, tal como propor uma análise de riscos e projeto SPDA condicionado a coleta de dados locais. Assim, para alcançar os objetivos da pesquisa, foi necessário percorrer três etapas, como mostra a Figura 21.

Figura 21- Procedimento da pesquisa.



Fonte: Autoria própria (2021).

3.3.1 Levantamento normativo

Nessa primeira etapa foram coletadas todas as informações teóricas que eram necessárias para iniciar os cálculos e as tomadas de decisões, ressaltando que todo o estudo foi regido de acordo com as normas vigentes, nesse caso, a ABNT NBR 5419 versão atualizada de 2015. A pesquisa foi realizada, toda a norma foi interpretada e aplicada, a fim de realizar um projeto que trouxesse o máximo de segurança para o local. Todas as informações e material teórico necessário para a elaboração desse projeto estão contidas no referencial teórico do trabalho.

Além disso, a pesquisa bibliográfica teve como objetivo o melhor embasamento possível para um diagnóstico real do Coliseu, além de respaldar para decisões de projeção do projeto a ser escolhido nas etapas seguintes.

3.3.2 Vistoria do local/Coleta de dados

A inspeção no local auxilia em uma melhor visualização do sistema como um todo e na extensão e gravidade do problema. Nessa etapa, analisou-se o ambiente em duas visitas *in loco* distintas, sendo assim feitas todas as anotações possíveis (registros, fotos etc.) para análise de dados. As visitas foram acompanhadas por profissionais da prefeitura, além de engenheiros responsáveis pela inserção da iluminação de 2019, última modificação de potência no sistema do estádio.

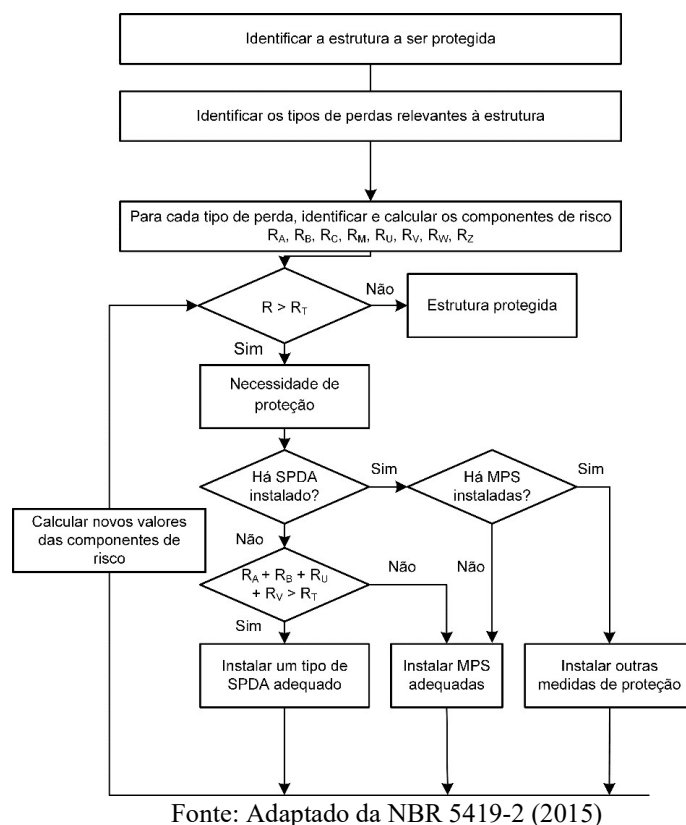
3.3.3 Análise de riscos

A aplicação do gerenciamento de riscos ao estudo de caso estudado, além de real importância para o trabalho, torna-se material base para a elaboração do projeto de proteção a descargas elétrica da estrutura. Com uma análise global, temos parâmetros iniciais para a determinação das variáveis a serem projetadas como: os riscos de exposição; a probabilidades

de perdas e danos a vida de pessoas e perdas a equipamentos e sistemas internos da edificação.

Dessa forma, elaborou-se um fluxograma de conferência de necessidade de adequação ou implantação do sistema de proteção adequando aos parâmetros da análise completa de riscos, como visto na Figura 22.

Figura 22 – Fluxograma para decisão da necessidade de medidas de proteção.



Seguindo o fluxograma exposto na Figura 22, observa-se que o primeiro passo foi identificar a estrutura, os tipos de perigo envolvidos na mesma, em seguida uma análise de risco foi feita, verificando a presença de um risco maior que o risco tolerável, havendo então a necessidade de proteção, bem como a instalação de Medidas de Proteção contra Surtos, para que uma nova análise de risco fosse feita e verificando com os novos dados se a estrutura estava ou não protegida dessa forma, se não, repetia-se o procedimento até que a condição de $R < R_T$ fosse satisfeita. Com os resultados obtidos, foi gerado um diagnóstico do estudo de caso, pois a análise de riscos demonstrou claramente quais são os pontos falhos no sistema já construído ou omissões que devem ser sanadas com a proposta do projeto.

3.3.4 Proposição de SPDA

Conforme já mostrado no referencial teórico deste trabalho, a Parte 2 da norma ABNT NBR 5419:2015, disserta sobre as condições do gerenciamento de risco da estrutura, assim, para essa análise, foi aplicada inspeção minuciosa sobre todos os aspectos físicos presentes e ausentes no Coliseu.

Ressalta-se que também foi elaborado um prognóstico padrão para que o estudo apresentasse possíveis características futuras de vida útil das instalações e principalmente os riscos envolvidos na utilização do estádio.

Foi delimitado também o estádio com zonas gerais e individuais. A partir do zoneamento, foi visto a melhor forma de instalação na proposição do projeto, tal como, o comportamento funcional da estrutura à futuras instalações dos equipamentos do SPDA, e assim, resolvido a zona de dimensionamento do projeto.

Após todo o processo de entendimento da situação atual do Coliseu, tal como, a elaboração do diagnóstico e prognóstico do estádio e o levantamento de possíveis riscos atuais, foi necessário a elaboração de um projeto SPDA para correção e implantação de necessidades normativas, e assim, adequar o estádio, promovendo segurança aos usuários e métodos preventivos de proteção aos equipamentos elétricos.

Todas as formulações foram apresentadas no referencial teórico e calculadas como método para elaboração deste projeto. Os dados foram divididos com a melhor visualização possível seja eles em quadros, tabelas e gráficos. Assim, todo o memorial de cálculo será apresentado neste trabalho de maneira expositiva simples.

Os detalhes do projeto, assim como desenho e situações de implantação, foram colocados como apêndice no trabalho e foram obtidos através do software AutoCad, buscando a melhor apresentação possível para entendimento do projeto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De maneira a tornar os resultados mais claros e didáticos, esta seção apresentará o diagnóstico da inspeção na estrutura, o gerenciamento de risco aplicado, o subsistema de captação escolhido, o subsistema de descida e o subsistema de aterramento.

4.1 DIAGNÓSTICO DE INSPEÇÃO VISUAL

As inspeções realizadas no estádio apresentaram dados iniciais de projeto e considerações que permitiram uma abordagem resolutive do ambiente situacional do Estádio. Também houveram importantes informações descritas pelo engenheiro responsável pela manutenção da edificação e auxílio de funcionários dos locais na retirada de dúvidas de acesso, instalações, entre outros.

Notou-se inicialmente que não existia nenhuma instalação específica para o SPDA. Todas as zonas estudadas eram carentes de algum sistema de captação e/ou descida, não possuindo previsão de eletrodutos, passagens ou estruturas para tal. Foi visto que o sistema de aterramento encontrado referia-se apenas ao aterramento da própria instalação elétrica, e a mesma instalada recentemente, na implantação da iluminação do Estádio em 2019. É possível observar os detalhes da iluminação na Figura 23.

Figura 23 – Fotos da inspeção visual no estádio.



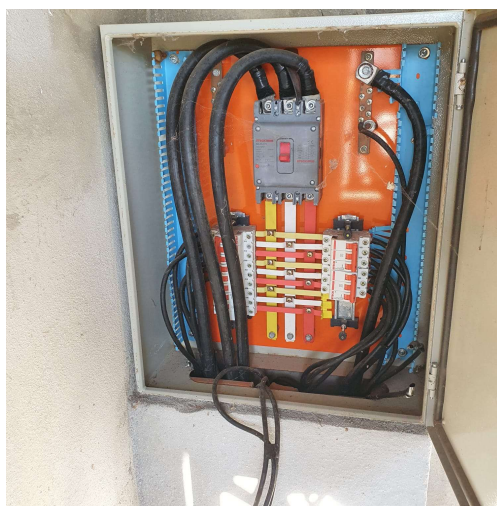
a) Caixa de Passagem do aterramento das torres b) Torre de iluminação c) Aterramento da Torre

Fonte: Autoria Própria

Ao aprofundar as observações aos equipamentos instalados no local, foi visto que além de toda

estrutura luminotécnica (de alto custo de implantação), o estádio possui sua instalação de 70 kW, ligados a um transformador trifásico, sem um sistema de DPS (Figura 24), esse que seria primordial para a proteção dos equipamentos. As torres, estão ligadas a circuitos individuais sem aterramento próprio.

Figura 24 – Quadro de distribuição do Coliseu.



Fonte: Autoria Própria.

Nos questionamentos surgidos, foi relatado que durante a pandemia não estaria havendo jogos no estádio, mas que os mesmos são frequentes com média de 2000 pessoas e máximo de 5000 pessoas, estabelecido pelo corpo de bombeiros. Para esse trabalho, foi desprezado o valor de média e adotou-se a capacidade máxima, afim de cálculos mais precisos com abrangência da capacidade de segurança total, ou seja, dimensionar visando a pior situação possível.

Figura 25 - Imagens internos do Estádio.



Fonte: Autoria Própria.

4.2. GERENCIAMENTO DE RISCO

Com o diagnóstico geral executado, é determinante na proposição do projeto, uma análise criteriosa dos riscos gerais da edificação. Importante ressaltar que o gerenciamento de risco possui individualidade para cada tipo de estrutura e que alguns parâmetros serão desconsiderados ou parcialmente ponderados pela aplicabilidade daquela variável sobre o objeto de estudo.

Inicialmente, determinou-se que por tratar-se de um ambiente de acesso ao público e que apresenta possíveis riscos aos usuários e equipamentos ali instalados, seriam considerados os riscos R1 e R4. O risco R3 foi desconsiderado pelo Estádio não ser considerado ainda um patrimônio histórico. O risco R2 também não foi considerado, pois apesar de ser um local de acesso público, não entendeu-se como uma área de atendimento, assim desprezamos os resultados.

Foram desconsideradas as possibilidades de perdas advindas de possíveis explosões e incêndios para o risco R1. Devido a informação do setor de engenharia do município, pela liberação do laudo de corpo de bombeiros, e pela não complexidade dos equipamentos elétricos e suas ligações, não foram incluídos nos riscos as variáveis Rc, Rm, Rw e Rz.

Para Risco R4, foram desconsiderados as variáveis Ra e Ru, por não tratar de um ambiente com possíveis perdas de animais, como fazendas por exemplo. O Quadro 29, demonstras a adaptação feita para a exploração do risco no estudo de caso.

Quadro 29 – Variáveis utilizadas na análise de riscos.

Fontes de Danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica perto da estrutura S2	Descarga atmosférica em uma linha conectada a estrutura S3			Descarga atmosférica perto uma linha conectada a estrutura S4
Componentes de Risco	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ
R1	X	X	X*	X*	X	X	X*	X*
R2								
R3								

R4	X**	X	X	X	X**	X	X	X
X* Estruturas com risco de Explosão e Hospitais ou estruturas com falha de sistema que possam colocar em risco a vida humana. X** Propriedades que animais possam ser perdidos.								

Fonte: Adaptado de NBR5419 (2015).

Para a determinação da densidade de cargas atmosféricas (Nt), premissa inicial esperada na preposição do projeto, a pesquisa bibliográfica mostrou que a cidade de Alto Santo possui risco moderado/baixo em comparação com o restante do país e o Estado do Ceará. A cidade encontra-se na 104ª colocação de 184 municípios existentes a uma taxa de aproximadamente 2,29 descarags por km²/ano, dados esses que foram obtidos pelo ELAT (2021) (Figura 26).

Ressalta-se que tal taxa não exime a cidade do risco, tampouco desmerece a pesquisa, haja vista a gravidade que um possível sinistro poderia ocasionar.

Figura 26 - Levantamento da densidade de descargas atmosféricas.



Fonte: ELAT(2021).

Para início de trabalho, foi realizado o gerenciamento de risco, com isso, para fins de dimensionamentos, a priori, inseriu-se as características da estrutura e meio ambiente, gerando a Tabela 2. Onde, foi adotado, de acordo com a norma vigente, que a estrutura é cercada de objetos das mesma altura e mais baixos, e também que a estrutura não possui nenhum SPDA já

instalado, com a quantidade máxima de pessoas permitidas de 5000 no total.

Tabela 2 - Dados de Entrada.

Parâmetros de entrada	Símbolo	Valor
Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km²/ano)	NG	2,28
Dimensões da estrutura (m)	L	136,00
	W	106,00
	H	30,00
		4.432,0
Fator de localização da estrutura	CD	0,50
SPDA instalado	PB	1,00
Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)	N	5.000

Fonte: Autoria Própria.

Devido a falta de dados oficiais, os comprimentos de linhas que adentram a estrutura (LL), foi estimado, bem como a tensão suportável do sistemas interno, a NBR 5419-2:2015 delimita a utilização deste valor de comprimento e de tensão, sendo estimados assim para linhas de energia e linhas de sinal. Nesse objeto de estudo, há a presença somente de linhas de energia de AT com transformador, instalada de forma aérea, em um ambiente urbano sem qualquer tipo de blindagem da linha, aterramento ou isolamento. Conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Considerações e cálculos das linhas de energia e transmissão.

Comprimento (m) ^a	Informe o comprimento da linha (m)	LL/p	1.000,00
Fator de Instalação	Aéreo	CI/p	1,00
Fator tipo da linha	Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	CT/p	0,20
Fator ambiental	Urbano	CE	0,10
Blindagem da linha	1	RS/p	-

Blindagem, aterramento, isolação	Linha aérea não blindada	CLD/p	1,00
		CLI/p	1,00
Estrutura adjacente	Nenhuma estrutura Adjacente	LJ/p	0
		WJ/p	0
		HJ/p	0
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	CDJ/p	0
Tensão suportável do sist. interno (kV)	1	UW/p	1,00
Parâmetros resultantes		KS4/p	1,00
Este valor muda em função da Blindagem da Linha e Tensão suportavel		PLD/p	1,00
Tipo da linha	1	PLI/p	1,00

Fonte: Autoria Própria

Analisando a zona total, de acordo com a Tabela 4, observa-se que o tipo de piso classifica-se como agricultura e rural, não apresenta medidas de proteção contra choques e descida na estrutura e na linha. Também não apresenta risco de incêndio ou explosão, bem como uma blindagem espacial interna inexistente, assim como o DPS. Através da disposição dos DPS, que não se aplica, e demais cargas de potência instaladas, foi possível obter os valores de tensão suportável para as linhas de energia e sinal.

Tabela 4 - Configuração da Zona estudada.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Tipo de piso	Agricultura, concreto	Rt	$1,00 \times 10^{-2}$
Proteção contra choque (desc. na estrut.)	Nenhuma medida de proteção	PTA	1,00
Proteção contra choque (desc. na linha)	Nenhuma medida de proteção	PTU	1,00
Risco de incêndio ou Explosão	6	Rf	$1,0 \times 10^{-3}$

Proteção contra incêndio	extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape		Rp	0,50
	wm1 (m) são as larguras da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA		wm1	0
Blindagem espacial Interna Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR 5419-2	wm2 (m) são as larguras da blindagem em forma de grade ou dos condutores de descidas do SPDA		wm2	0
	KS1 = $0,12 \times wm1$		KS1	0,00010
	KS2 = $0,12 \times wm2$		KS2	0,00010
Fiação interna	Energia (LINHA 01)	Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (c)	KS3/p	0,0100
	Sinal (LINHA 02)	Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (c)	KS3/t	0
Sistema de DPS	DPS	Sem DPS	PEB	1,000
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	PSPD	1,000

Fonte: Autoria Própria.

Em sequência, é possível destacar as perdas inaceitáveis que poderiam vir a ocorrer, sendo consideradas as perdas de vida humana e perda do valor econômico, L1 e L4, respectivamente. Analisando a perda L1, assim como mostra a Tabela 5, têm-se, um alto nível de pânico, é um local de entretenimento público, e que não se aplica falhas aos seus sistemas internos, com uma quantidade de horas de ocupação diária estimada em 08h.

Tabela 5 - Considerações para a perda L1.

L1: perda de vida humana (C.3) - Entrada de Dados	Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes maior que 1 000 pessoas)	Hz	10,00
	D1 ferimentos # Todos os tipos	LT	$1,00 \times 10^{-2}$
	3	LF1	$5,00 \times 10^{-2}$
	4	LO1	0
	Número de pessoas na zona de perigo	Nz	5.000
	Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)	Nt	0
	Horas por dia em que a edificação se mantém ocupada	Thor	8
	Total em dias por ano que a edificação se mantém ocupada	Tdia	365
	Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso	Tz	2920
	$LU = LA = rt \times LT \times nZ / nt \times tz / 8\ 760$	$LU = LA$	$3,33 \times 10^{-5}$
Parâmetros resultantes L1	$LB = LV = rp \times rf \times hz \times LF \times nZ / nt \times tz / 8\ 760$	$LB = LV$	$8,33 \times 10^{-5}$
	$LC1 = LM = LW = LZ = LO1 \times nZ / nt \times tz / 8\ 760$ - calcular quando mais de uma Zona	$LC = LM = LW = LZ$	0,00
	$RA = ND \times PA \times LA$	RA	$3,17 \times 10^{-6}$
	$RB = ND \times PB \times LB$	RB	$7,93 \times 10^{-6}$

$RC = ND \times PC \times LC$	RC	0
$RM = NM \times PM \times LM$	RM	0
$RU/P = (NL/P + NDJ/P) \times PU/P$ $\times LU$	RU/P	$6,08 \times 10^{-8}$
$RU/T = (NL/T + NDJ/T) \times PU/T$ $\times LU$	RU/T	0
$RU = RU/P + RU/T$	RU	$6,08 \times 10^{-8}$
$RV/P = (NL/P + NDJ/P) \times PV/P$ $\times LV$	RV/P	$1,52 \times 10^{-7}$
$RV/T = (NL/T + NDJ/T) \times PV/T$ $\times LV$	RV/T	0
$RV = RV/P + RV/T$	RV	$1,52 \times 10^{-7}$
$RW/P = (NL/P + NDJ/P) \times$ $PW/P \times LW$	RW/P	0
$RW/T = (NL/T + NDJ/T) \times$ $PW/T \times LW$	RW/T	0
$RW = RW/P + RW/T$	RW	0
$RZ/P = NI/P \times PZ/P \times LZ$	RZ/P	0
$RZ/T = NI/T \times PZ/T \times LZ$	RZ/T	0
$RZ = RZ/P + RZ/T$	RZ	0

Fonte: Autoria Própria.

É importante ressaltar que, embora o L4 tenha sido calculado, seu valor mostrou-se irrelevante ($1,12 \times 10^{-9}$) para os cálculos do projeto, a ponto de poder ser desconsiderado.

Percebeu-se que o risco tolerável é 1×10^{-5} , e o risco calculado para esse estudo foi de $1,132 \times 10^{-5}$, dessa maneira, é necessário propor uma instalação de um sistema de proteção, a fim de reduzir o risco para o valor tolerável, foi aplicado um Nível de Proteção (NP) IV, de modo que esse já contemplaria a estrutura, evitando um prognóstico com resultados perigosos a vida humana e aos equipamentos de potência instalada. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos através a análise de risco feita.

Tabela 6 - Resultados dos ricos toleráveis.

S1: Estrutura			S2: Perto da estrutura		S3: Na linha		S4: Perto da linha	
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ
R1	3,17x10 ⁻⁶	7,93x10 ⁻⁶	0	0	6,08x10 ⁻⁸	1,52x10 ⁻⁷	0	0
R2	-	0	0	0	-	0	0	0
R3	-	0	-	-	-	0	-	-
R4	0	0	0	0	0	0	0	0
RESULTADOS								
Risco – “R”			Risco em decimal			“RT”		R>RT
1,132x10 ⁻⁵			0,00001131...			1,00x10 ⁻⁵		SIM
-			0			1,00x10 ⁻³		NÃO
-			0			1,00x10 ⁻⁴		NÃO
-			0			1,00x10 ⁻³		NÃO

Fonte: Autoria Própria.

4.3. ESCOLHA DO SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO

Como uma das principais tarefas realizadas durante a construção desse trabalho, vale chamar a atenção para a escolha do método de proteção utilizado, já que haviam vários fatores interligados entre si, como a máxima proteção fornecida, a disponibilidade de material, de mão de obra, e o custo total em torno da implatação de uma SPDA. Portanto, as subseções versam sobre a escolha do método, bem como seus prós e contras.

De início analisou-se o método Eletrogeométrico, descartando logo em seguida. Como já citado, o método aplica-se a situações de arquitetura singular e específicas, fator esse que poderia até ser aplicável na fachada, mas que inviabilizaria a aplicação no restante do campo.

Consta-se também que ao simular uma esfera rolando ao longo da estrutura (método simplificado de dimensionamento) teríamos que incluir diversos pontos de captação em alturas variadas, em locais que afetaria a funcionalidade da estrutura inviabilizando ainda mais o método.

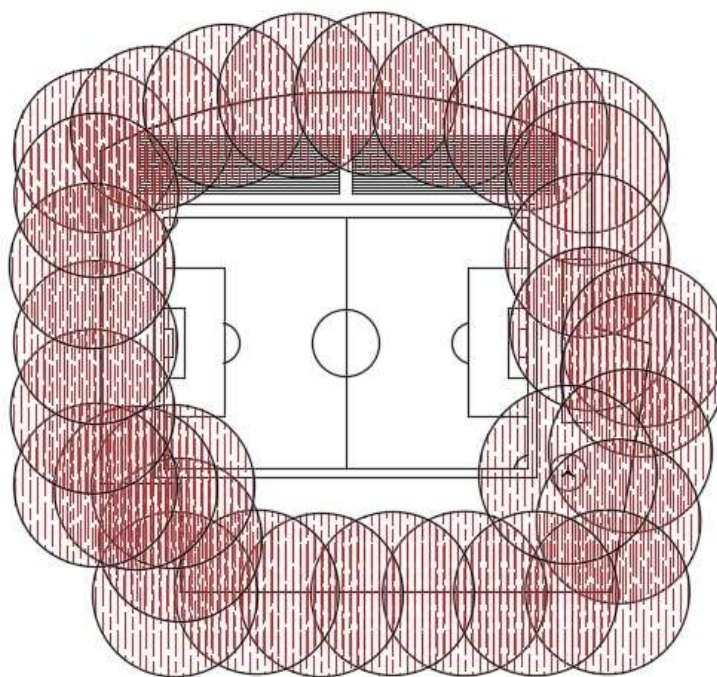
4.3.1 Método das malhas - Gaiola de Faraday

Como todo projeto, a escolha do método de proteção a ser proposto, levou em consideração a sua viabilidade econômica de implantação. Como primeira proposição, foi

cotado o uso do subsistema de captação pelo método das malhas através da instalação de minicaptadores interligados, com a formação de uma malha que circunda todo o Estádio.

Nesse modelo, destaca-se o uso de muitos minicaptadores e uma considerável quantidade de cobre de 35mm e 50mm. Relata-se que mesmo com o uso desse método o reservatório não ficaria protegido, e assim, foi adotado um sistema alternativo para tal. Também é importante frisar que o gramado, ocupado por jogadores em dias de jogos, tem uma seção desprotegida pela imposição da arquitetura e funcionalidade. Na Figura 27, pode-se observar a área de proteção que o modelo 01 ofereceria. Para cada captor instalado no muro que circunda o estádio com uma altura de 12 metros, e ângulo de proteção de 62° , apresenta um raio de proteção de 22,5 metros, enquanto os captadores localizados na fachada, com altura de 18 metros e angulação de 58° , tem um raio de 28,8 metros. Portanto, como mostra a simulação, é visto que mesmo com a aplicação de todos esses captadores partes da arquibancada, e praticamente todo o campo ficariam desprotegidos. Isso implicaria em muito trabalho, muito material gasto e uma proteção pouco efetiva.

Figura 27- Mapa de Proteção dos minicaptadores



Fonte: Autoria Própria.

A Tabela 07 demonstra uma estimativa de quantitativos e orçamento preliminar de implantação do sistema. O projeto de implantação pode ser encontrado no Apêndice A deste

trabalho.

Tabela 7 - Orçamento preliminar do modelo 01.

ORÇAMENTO PRELIMINAR MODELO 01				
ESPECIFICAÇÃO DO ÍTEM	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO UNID	PREÇO TOTAL
Pára-raio de uma descida, H=3m, completo composto: 01 – captor cobre cromado – 5 KA saída diam. 3/4” - Mastro diâm. 38mm - Isolador de ponteira 10Kv p/ fixação do captor e suporte fixo para tubo diâm. 38mm - Base para mastro diam. 38mm	un	1	R\$ 121,50	R\$ 121,50
Abraçadeiras reforçadas de 2"	un	3	R\$ 3,00	R\$ 9,00
Minicaptadores em Aço GF Vertical	un	31	R\$ 15,00	R\$ 465,00
Eletroduto Galvanizado p/ proteção diâm. 1 3,0m - Descida	un	52	R\$ 12,00	R\$ 624,00
Caixa de inspeção suspensa para descida	un	52	R\$ 6,80	R\$ 353,60
Conector de medição para cabo até 50mm² p/ 03 parafusos	un	104	R\$ 1,95	R\$ 202,80
Eletroduto PVC p/ proteção diâm. 1 3,0m – Enterrado	un	490	R\$ 10,50	R\$ 5.145,00
Cabo de cobre nu de 35 mm² tipo cordoalha	m	504	R\$ 29,00	R\$ 14.616,50
Cabo de cobre nu de 50mm² tipo cordoalha	m	490	R\$ 41,00	R\$ 20.090,00
Haste aterramento alta camada de cobre 16x2400mm rosqueáveis nas extremidades	un	52	R\$ 56,20	R\$ 2.922,40
Luva rosqueável para haste de cobre diam. 16x2400mm	un	52	R\$ 15,80	R\$ 821,60
Caixa de Equipotencialização com 5 Terminais para uso Interno e Externo	un	1	R\$ 500,00	R\$ 500,00
Protetor Surto Dps Tetrapolar 20ka 275v	un	1	R\$ 270,00	R\$ 270,00

TOTAL	R\$ 46.140,90
--------------	----------------------

Fonte: Autoria Própria

4.3.2. Sistema Misto – Captadores Franklin e naturais

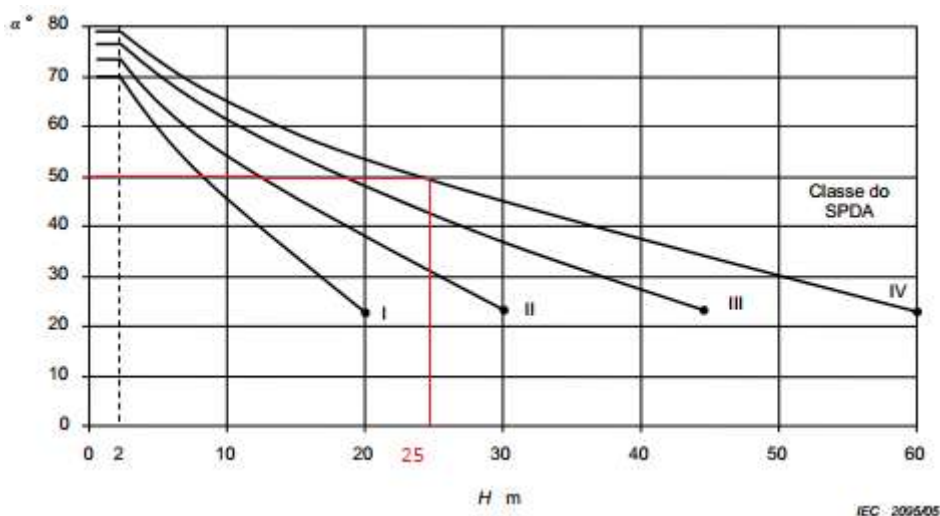
O modelo 02 foi elaborado pensando justamente na premissa que o campo de futebol não seria contemplado em sua totalidade em nenhuma das hipóteses que pudessem ser pensadas. Foram mantidas as instalações de um captor do tipo Franklin no Reservatório pelas características da sua altura, e também locado mais um captor Franklin na fachada frontal da estrutura para proteção dos camarotes e entradas.

Também foi pensado na possibilidade de utilizar o camarote, já que é uma estrutura toda metálica até o solo, como um captor natural, baratearia os custos, entretanto, o camarote é móvel e tem um tempo de utilidade, ou seja, não estará sempre no mesmo local. Portanto não seria possível manter uma proteção do local, então a opção da instalação de um Franklin no centro da fachada foi mantida a nível de projeto.

A altura dos captadores naturais foi estimada em 25 m, que seria a altura das torres dos refletores, sabendo disso, já a fachada apresenta uma altura de 27 metros e a caixa d'água 20 metros, com essas informações a proposta de um SPDA classe IV já contemplou a condição $R < R_T$, resultando em uma estrutura com um risco aceitável e protegida.

Em sequência foi possível determinar o ângulo de proteção dos captadores, com o auxílio do gráfico exposto na Figura 28, e com essa informação, calculou-se a área de proteção abrangida por esse captor. Logo, um SPDA de classe IV, implicará em um NP IV.

Figura 28 - Resultado do ângulo de proteção do captor oriundo da relação altura do captor com a classe de SPDA IV.

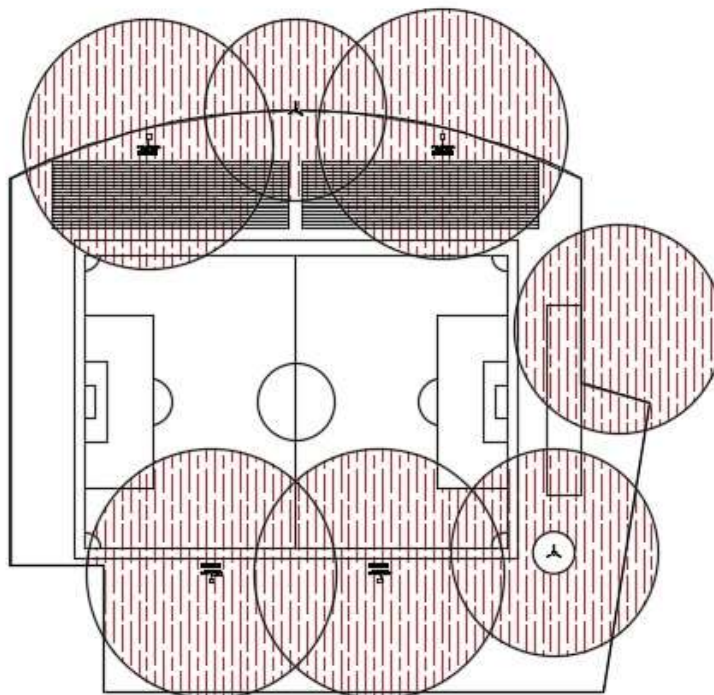


FONTE: Adaptado da NBR 5419, 2015.

As torres servirão de captos naturais, sendo aproveitados os seus aterramentos próprios, e estes, interligados por um cabo de cobre de 50 mm². Serão aproveitados também as caixas de passagens já existentes para essa ligação, tal como os quadros de medição para instalação do DPS.

Destaca-se também, como via de melhorar o projeto e seu orçamento, o olhar amplo para as regiões vizinhas, pois a zona do vestiário, que ficará desprotegida nesse layout, é contemplada por um captor natural vizinho, uma quadra de futsal com cobertura de aço e que possui aterramento próprio. Para uma visualização melhor projeto de implantação encontra-se no Apêndice B deste trabalho. As áreas hachuradas da Figura 29, representam as áreas que estão protegidas nessa concepção de projeto. Sabendo que o raio de proteção de cada captor, foi determinado multiplicando sua altura pela tangente do ângulo encontrado, como mostra a Figura 27. Por exemplo, para os captos naturais calculou-se um raio de proteção de 30 metros. Destaca-se que as áreas não hachuradas oferecem risco iminente, inclusive aos jogadores, destacando então a importância de paralisação de jogos em momentos de possibilidades de descargas elétricas e tempestades chuvosas.

Figura 29 - Mapa de Proteção dos captores



Fonte: Autoria Própria.

Também é importante frisar, que para ter acesso a mais detalhes desse projeto, desse modelo, basta consultar os apêndices do presente trabalho. A Tabela 08 demonstra uma estimativa de quantitativos e orçamento preliminar e resumido de implantação do sistema.

Tabela 8 - Orçamento preliminar do modelo 02.

ORÇAMENTO PRELIMINAR MODELO 02				
ESPECIFICAÇÃO DO ÍTEM	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO UNID	PREÇO TOTAL
Pára-raio de uma descida, H=3m, completo composto: 01 – captor cobre cromado – 5 KA saída diam. 3/4" - Mastro diâm. 38mm - Isolador de ponteira 10Kv p/ fixação do captor e suporte fixo para tubo diâm. 38mm - Base para mastro diâm. 38mm	un	2	R\$ 121,50	R\$ 243,00
Abraçadeiras reforçadas de 2"	Un	6	R\$ 3,00	R\$ 18,00

Eletroduto Galvanizado p/ proteção diâm. 1 3,0m – Descida	Un	11	R\$ 12,00	R\$ 132,00
Caixa de inspeção suspensa para descida	Un	2	R\$ 6,80	R\$ 13,60
Conector de medição para cabo até 50mm² p/ 03 parafusos	Un	30	R\$ 1,95	R\$ 58,50
Eletroduto PVC p/ proteção diâm. 1 3,0m - Enterrado	Un	312	R\$ 10,50	R\$ 3.276,00
Cabo de cobre nu de 35 mm² tipo cordoalha	M	52	R\$ 29,00	R\$ 1.508,00
Cabo de cobre nu de 50mm² tipo cordoalha	M	429	R\$ 41,00	R\$ 13.899,00
Haste aterramento alta camada de cobre 16x2400mm rosqueáveis nas extremidades	Un	12	R\$ 56,20	R\$ 674,40
Luva rosqueável para haste de cobre diâm. 16x2400mm	Un	12	R\$ 15,80	R\$ 189,60
Caixa de Equipotencialização com 5 Terminais para uso Interno e Externo	Un	1	R\$ 500,00	R\$ 500,00
Protetor Surto Dps Tetrapolar 20ka 275v	Un	1	R\$ 270,00	R\$ 270,00
TOTAL			R\$ 20.482,10	

Fonte: Autoria Própria.

Após a apresentação dos resultados notou-se que, partindo do princípios vistos na análise riscos, que delimitava o uso de um sistema de proteção, os dois modelos apresentados eram os melhores a serem seguidos.

Discutindo os resultados viu-se que apesar de o modelo 01, apresentar uma “abrangência” maior que o modelo 02, o seu custo operacional de implantação e, principalmente, o fato de ter a aplicação de muito material oneroso em áreas inertes da estrutura, o tornam inviável para uma cidade de pequeno porte e para a estrutura como um todo. Juntamente a grande quantidade de material, como diferencial ao modelo 02, essa proposição demonstrou obstáculos para adaptação de edificação já consolidada.

Avaliando essa possível inserção dos modelos em números, percebe-se outra diferença em razões comparativas dos anteprojetos. A introdução do método 1, transmite nos cálculos um valor correspondente a 7% do valor total da obra, número esse que pode ser considerado a

mesma porcentagem dos gastos com fundações, por exemplo. Esses valores são comprovados pela CBIC (Câmara Brasileira de Indústria e Construção) no CUB (Custo Unitário Básico) que é um parâmetro variável que delimita valores de serviços de engenharia em diferentes etapas e edificações executadas ou projetadas, sendo um valor alto quando comparado a outros serviços do cronograma de obra. Já o modelo 2 representa um custo de 3,2% que está dentro do previsto de serviços preliminares e auxiliares, sendo economicamente viável do ponto de vista orçamentário.

O modelo 02 então surge com o preceito de aproveitar as estruturas pertencentes ao estádio e até vizinhas, para diminuir os custos de implantação e principalmente deixar o projeto exequível. O uso das torres já executadas – incluindo seu aterramento – barateia o projeto, além de proporcionar um raio de eficiência maior e mais claro do ponto de vista funcional da estrutura. O uso das caixas de passagens e de alguns elementos presentes do projeto de iluminação, confere ao modelo, condições aplicáveis e de segurança, como a instalação mais rápida do DPS e da caixa de equipotencialização.

- **Subsistema de descida**

Com a aplicação do modelo 02, o subsistema de descida projetado, foi mensurado de acordo com o NP IV, que estabelece que a cada 20 m, ou no máximo, 24 m, seja instalado um subsistema de descida. Dessa forma o mesmo foi projeto de acordo com o volume de proteção necessário. Verificando os Apêndices A e B para constatar a mudança nos subsistemas para os modelos. Lembrando que, nos captores naturais, houve o reaproveitamento da instalação que já continha nesses.

Sendo assim, o modelo 02 novamente se sobressai em relação ao 01, já que foi possível otimizar tempo, trabalho e custos.

- **Aterramento em anel**

De acordo com a NBR 5419:2015, o ideal é que o aterramento em anel deve ser externo a estrutura de modo a envolvê-la, como um anel. Entretanto, o ideal nem sempre é exequível e viável na prática, como é o caso do estádio Coliseu, já que, um aterramento para envolvê-lo por completo demandaria custos elevados, que findariam em proteger áreas de nenhuma relevância ou ocupação. Desta maneira, a nível de projeto esses são pontos cruciais a serem considerados e discutidos, sabendo que, para esse objeto de estudo, não há um método, viável, que venha a

promover uma proteção de 100% para toda a estrutura. Logo, optou-se por priorizar as áreas que apresentam maior concentração de pessoas e movimentação durante os eventos esportivos.

Em concordância com esse raciocínio, o aterramento projetado, que também pode ser visualizado no Apendice B, envolve as zonas principais para proteção, como, o campo, as arquibancadas e os vestiários. Ao fazer essa adaptação, o aterramento em anel é aplicado de forma que consegue cumprir a sua função sem grandes alterações na estrutura, como quebrar piso ou ter parte da fiação não enterrada.

Vale salientar, que essa foi uma solução sugerida, mas que, caso seja possível em outras situações, a primeira opção a ser cotada pelo projetista é seguir a recomendação do aterramento em anel externo a estrutura, e se, assim como esse caso, não for possível, deve-se deixar claro para o cliente as condições ideais, a alternativa criada e os prós e contras de ambas até chegar a um consenso.

- **Medidas de proteção contra surtos**

No discutido projeto, foi sugerido também a instalação de um barramento de equipotencialização local (BEL), para concentrar todos os aterramentos da edificação e realizar sua distribuição de forma segura e seguindo os preceitos estabelecidos pela NBR 5419:2015, a distância tanto horizontal quanto vertical do ponto de instalação do BEP (barramento equipotencial principal) é superior a 20 m, sendo assim necessária, a instalação de um BEL. Os condutores dimensionados são de cobre 50 mm².

Na análise de risco, calculou-se o risco caso existisse a presença de um DPS na estrutura, não tornou o risco tolerável, mas apresentou uma redução nesse valor, o que ratifica a importância do uso dessa medida protetiva contra surtos, então, o projeto consta a instalação de um DPS, posicionado posterior ao disjuntor geral, como é permitido pela norma vigente. Os desenhos técnicos e especificações do SPDA encontram-se nos Apêndices A e B.

5. CONCLUSÕES

Destaca-se que o objetivo geral desse trabalho que era propor um projeto de SPDA para o estádio de futebol, Coliseu, localizado em Alto Santo – CE, referenciado de acordo com a ABNT NBR 5419 de 2015, foi contemplado.

Isto posto, como inferências desse trabalho, relata-se que a estrutura não apresenta sistema algum de proteção, sendo que, de acordo com o gerenciamento de risco aqui aplicado, necessita-se, já que, por sua vez, o risco de perda humana da estrutura é maior que o risco tolerável. Portanto, a proposta de implantação de um SPDA classe IV – que já contemplaria a estrutura – foi elaborada e discutida no decorrer desse estudo.

É válido salientar, que a solução definitiva, que geraria a maior proteção para o estádio, seria a construção de uma cobertura, para que nela pudessem ser instalados os captosres mais próximos ao campo, em seguida os subsistema de descidas e de aterramento de modo a fechar a malha de proteção envolvendo e tornando a estrutura toda protegida. Por outro lado, isso causaria maiores gastos e trabalho passando a não ser interessante essa solução.

Também foi constatado que em algumas situações não é viável economicamente a implantação de um sistema que ofereça 100% de proteção, já que nesse caso o ideal seria realizar a construção de estruturas no estádio a modo de gerar uma coberta envolvendo as arquibancadas, vestiários e etc, que com isso, seria possível fechar uma malha de captação e proteger todas as partes.

Porém, isso geraria mais gasto, trabalho e isso não seria interessante para uma cidade no interior do Ceará, que detém apenas 17 mil habitantes. Acarretou-se então a busca por outras alternativas como meio de solução para esse empasse: custo versus eficiência. Consequentemente, foi proporcionado o exercício genuíno da engenharia como agente resolutivo de problemas.

É de suma importância ressaltar que todo o projeto seguiu os princípios normativos mais atualizados durante sua produção, procurando sempre priorizar a segurança e a sua viabilidade. Sendo assim, como sugestão para trabalhos futuros, aconselha-se a elaboração de um orçamento detalhado para implementação do projeto proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

____. ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica. Mortes por Raios – Infográfico. 2019.

Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/noticias/vitimas.de.raios.->

____. NBR 5419:2015-4: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 87 p.

____. NBR 5419-2:2015: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 2: Gerenciamento de risco. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 104 p.

____. NBR 5419-3:2015: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 3: Danos físicos a estrutura e perigos à vida. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 51 p.

____. INPE. ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica. Origem. 2015. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/origem.php>. Acesso em: 08 de maio de 2020.

ABNT. NBR 5419-1:2015: **Proteção contra descargas atmosféricas Parte 1: Princípios gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 67 p. Acesso em: 01 de maio de 2020.

ANDRADE.A.L.G. **Descargas atmosféricas do IFBA** – campus de paulo afonso conforme a norma abnt nbr 5419:2015. IFCE-BA. 2017. 93p.

BARBOSA. D.T. **Proteção contra descargas atmosféricas de edificações utilizando a ferragem estrutural**. Cefet-mg. Belo horizonte. 2014. 56p.

BENITEZ, C. Z. M. **Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas Conforme Norma NBR-5419/2005**. Salvador: 2006. Monografia apresentada ao curso de engenharia elétrica, ÁREA 1, 2006.

BURATTO. F. S. **Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas utilizando componentes naturais da edificação**. Londrina, 2011. 93 p.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). Estabelecimentos na Construção. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/empresas-de-construcao/estabelecimentosna-construcao>>. Acesso em: 28/05/2021.

COUTINHO, F. N.; ALTOÉ, C. A. **Levantamento de estruturas que necessitam de SPDA na UnB e análise de seus efetivos sistemas de proteção**. Monografia apresentada ao curso de engenharia elétrica – UnB, Brasília. 2003.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 14. ed. São Paulo: LTC, 2000.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 15. ed. 2007.

DE SOUSA, A. N et al. **SPDA - Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas: Teoria, Prática e Legislação**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2014. 190 p.

DE STÉFANI, RODRIGO VERARDINO. **Metodologia de projeto de sistema de proteção contra descargas atmosféricas para edifício residencial**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia de São Paulo, da Universidade de São Paulo. 2011. em: 28 dez. 2007.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002.

GOOGLE MAPS. **Estádio Coliseu**. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Alto+Santo,+CE,+62970-000/@-5.5206067,8.6368796,10z/data=!4m9!1m2!2m1!1smapas!3m5!1s0x7bba17709d9ad3d:0xb2de8d1f90329189!8m2!3d-5.5189184!4d.2707613!15sCgVtYXBhc5IBCGxvY2FsaXR5?hl=pt-BR>. Acesso em: 18 março 2021.

IBGE. **População estimada: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2020**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/alto-santo/panorama>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2020.

INPE. ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica. Você sabia? 2016. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/perguntas.e.respostas.php>.

KINDERMANN, Geraldo. **Descargas Atmosféricas**. 2. Ed. PortoAlegre: Sagraac-DC Luzzatt Editores, 1997. 127 p.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do trabalho científico**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1992.

LEITE, D. M.; LEITE, C.M. **Proteção contra descargas atmosféricas**. 5. ed. São Paulo: Oficina de Mydia, 2001.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. Cap. 13. Fortaleza:Ltc, 2017.

MAMEDE, João F. **Instalações Elétricas Industriais**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 8ª ed., 2010.

MARTINS. F.M. **Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas**.Uberlândia. 2017. 86 p.

MIRANDA, A. P. R. **Aterramento pelas fundações para a proteção contra raios**. Eletricidade Moderna, São Paulo. p. 44, março 2003a.

MODENA, J. Espaço 5419. 2015. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/seja-muitissimo-bem-vinda/>. Acesso em: 05 de maio de 2020.

NOLETO, S. R. C. As estruturas metálicas das edificações como sistema de proteção contra descargas atmosféricas. **Monografia apresentada ao curso de engenharia elétrica – UnB, Brasília. 2006.**

NORMA REGULAMENTADORA 35. Disponível em: Acesso em: 10 abr. 2018.

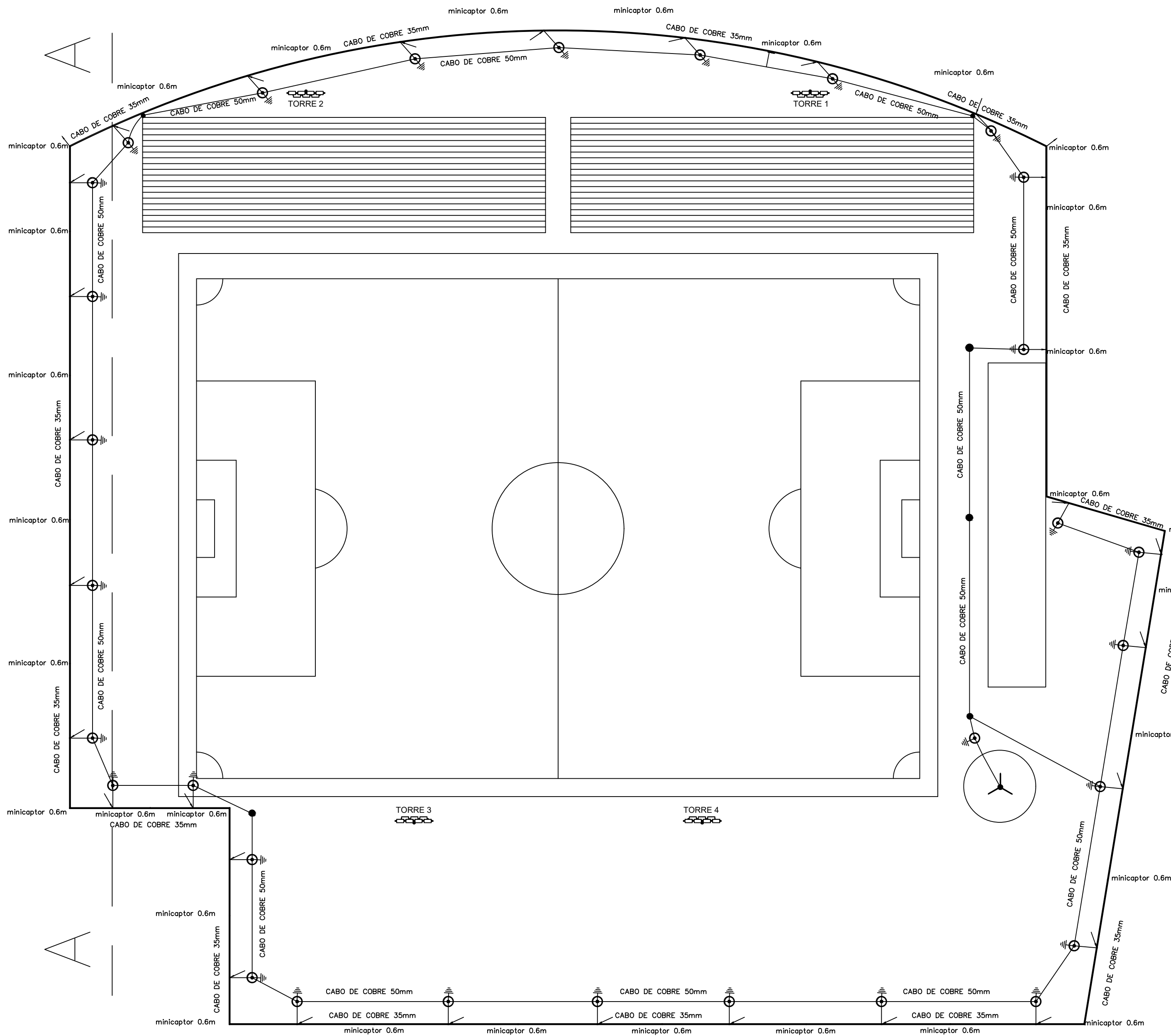
RODRIGUES, W. C. **Metodologia Científica**. Paracambi: FAETEC/IST, 2007.Disponível em: <http://www.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/metodologia_cientifica.pdf>.

SANTOS, Sergio Roberto. **A blindagem como medida de proteção contra surtos**. 2016. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/a-blindagem-como-medida-de-protecao-contrasurtos/>. Acesso em: 24 nov. 2020.

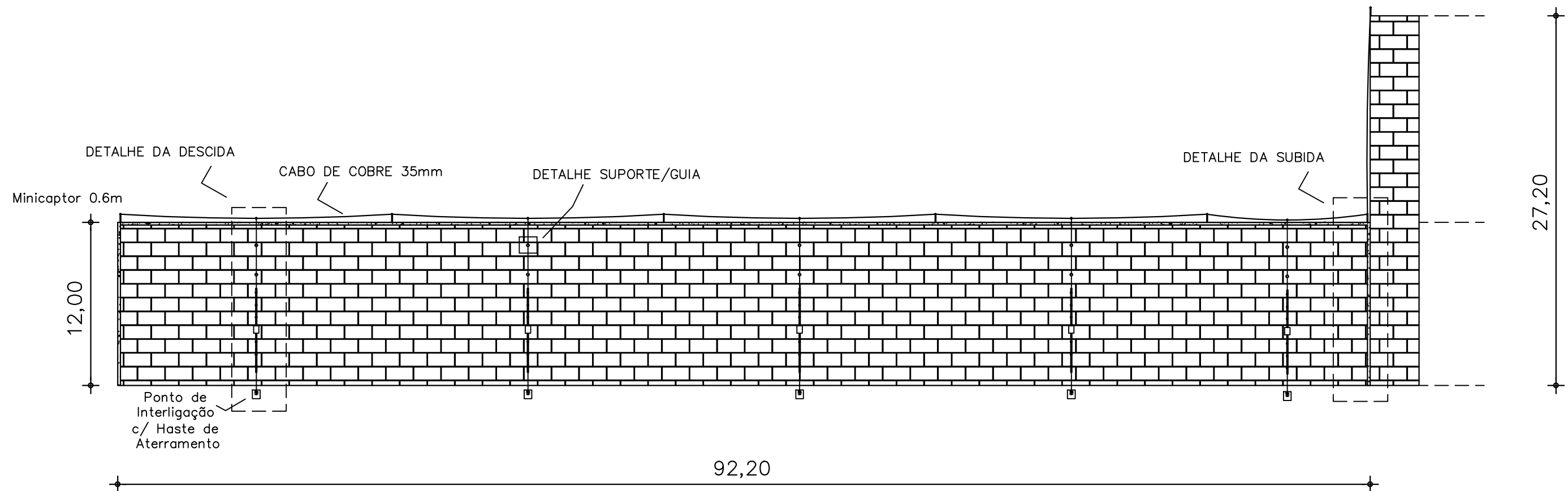
VISACRO FILHO, S. **Descargas Atmosféricas: uma abordagem de engenharia**. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2005. 268 p.

WALTRICK. P.V.V. **Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) estudo de caso em uma estrutura predial**. 2018. Unifacvest. Lajes 2018. 88p.

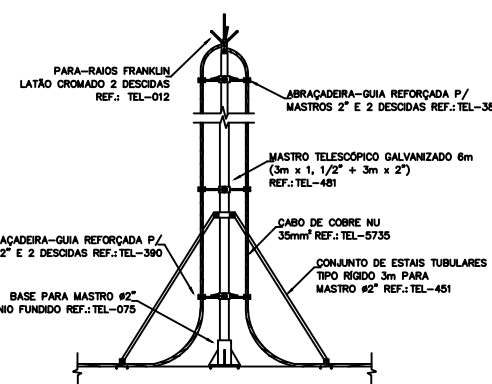
APÊNDICE A



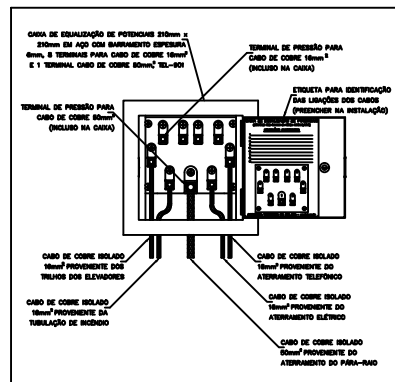
PLANTA DE INSTALAÇÃO
ESCALA 1:50



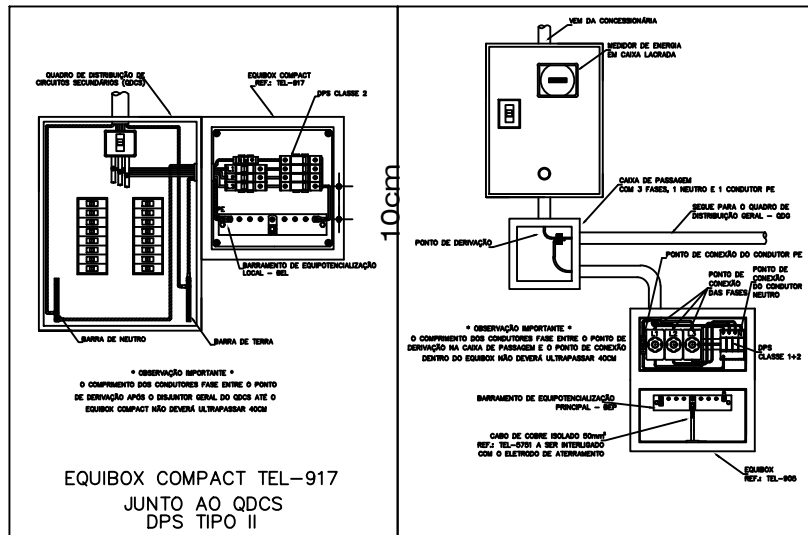
CORTE AA
ESCALA 1:50



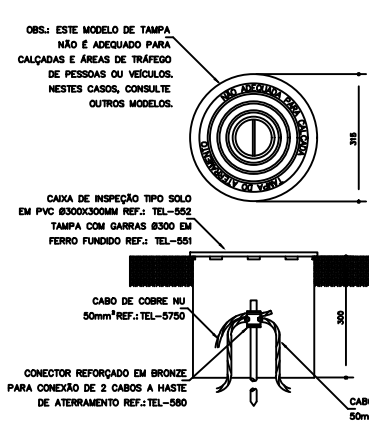
DETALHE CAPTAÇÃO RESERVATÓRIO
ESCALA 1:50



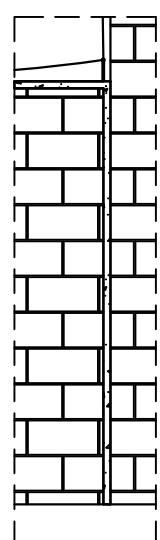
DETALHE CAIXA DE EQUIPOTENCIALIZAÇÃO
ESCALA 1:50



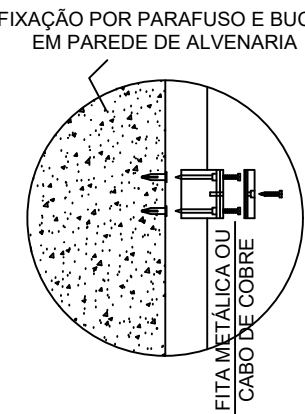
DETALHE SISTEMA DPS
ESCALA 1:50



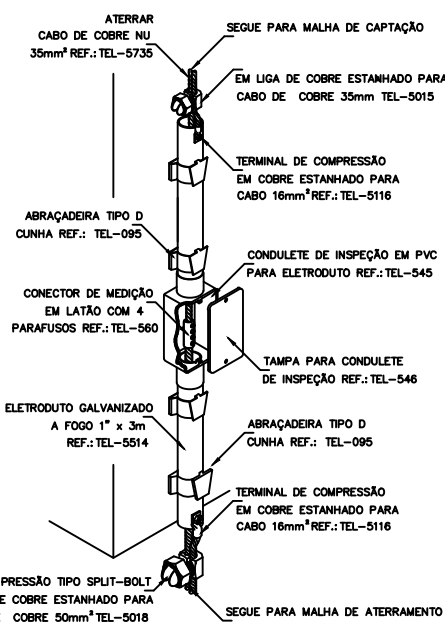
DETALHE ATERRAMENTO
ESCALA 1:50



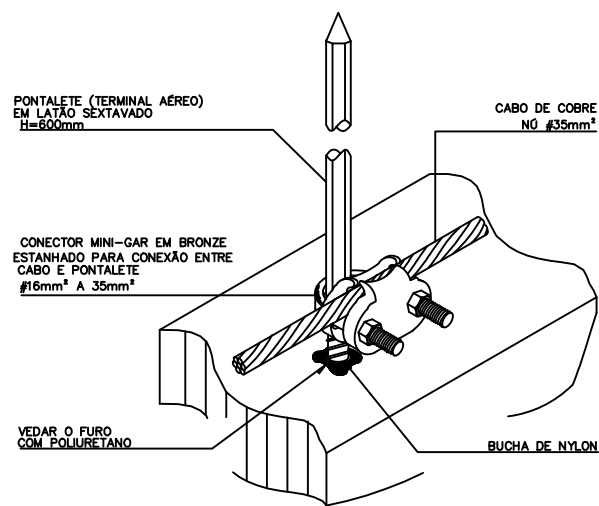
DETALHE SUBIDA
ESCALA 1:50



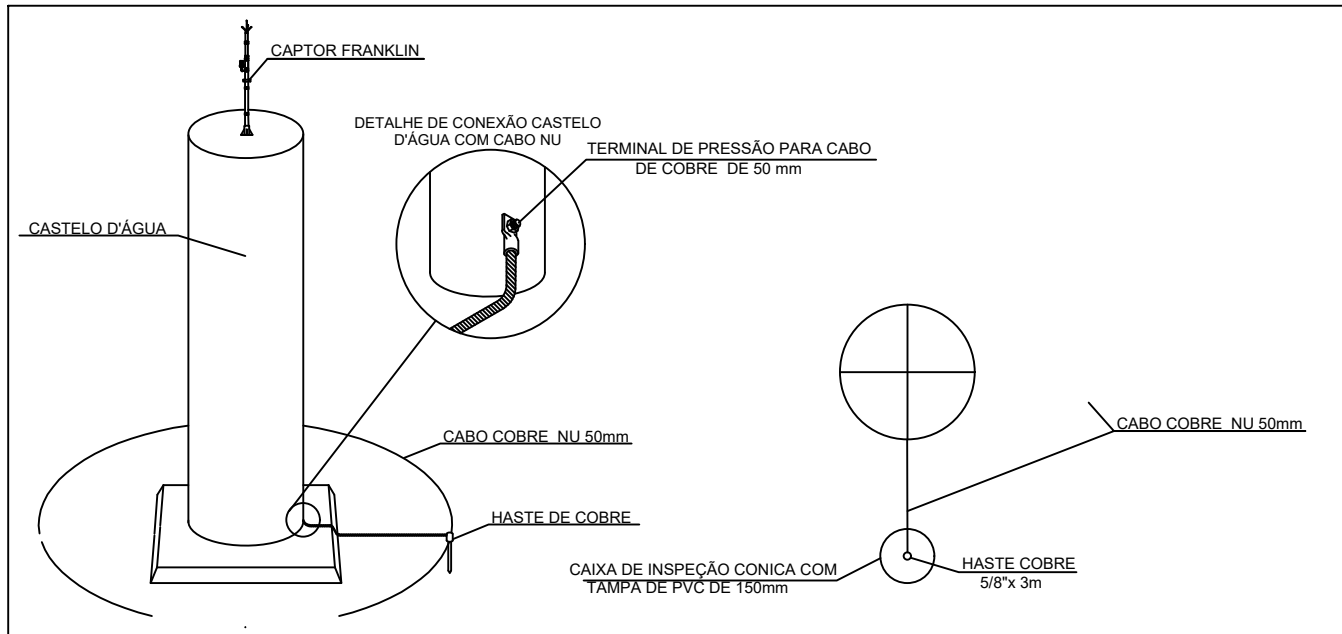
DETALHE GUIA/SUPOORTE
ESCALA 1:50



DETALHE DESCIDA
ESCALA 1:50



DETALHE CAPTAÇÃO GAIOLA DE FARADAY
ESCALA 1:50



DETALHE RESERVATÓRIO
ESCALA 1:50

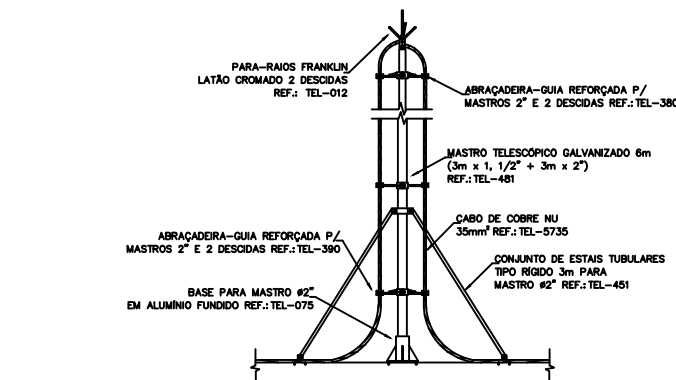
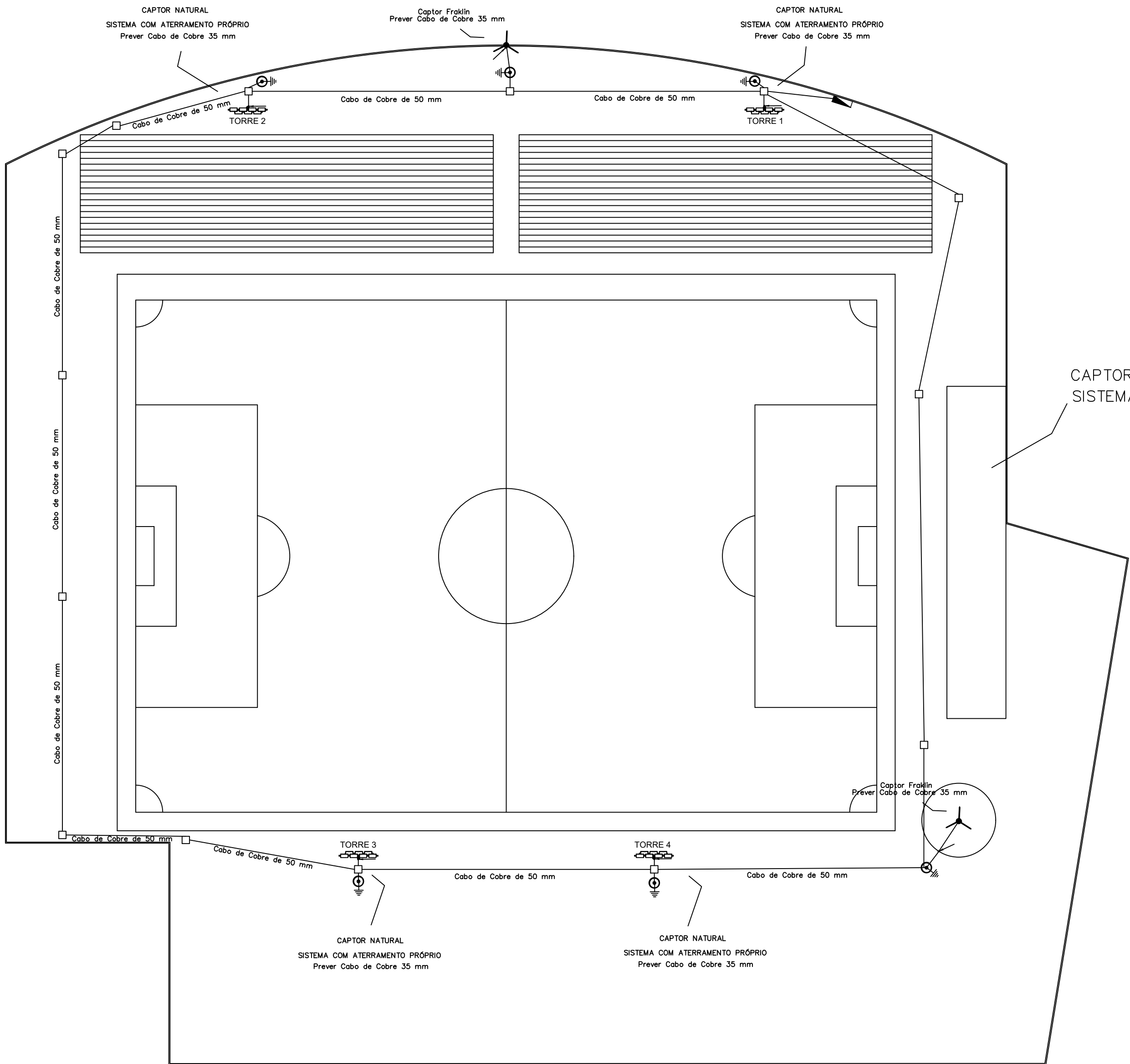
LEGENDA	
	Haste de aterramento tipo cooperweld 5/8" x 2,40m
	Descida
	Subida
	Caixa de Passagem
	Captor de Franklyn
	Cabo de Cobre
	Mini Captor de 0.6m
	Equipotencialização/QM com DPS

NOTAS:

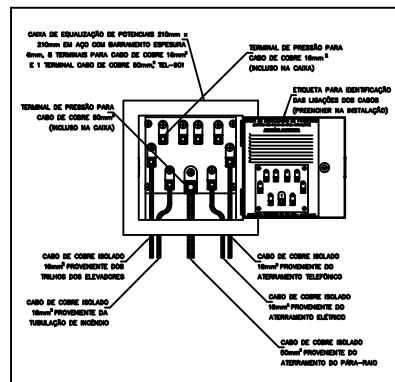
- 01 - SPDA projetado conforme ABNT NBR 5419
- 02 - Os condutores de descida deverão estar a uma distância mínima de 0,5 m de portas, janelas e outras aberturas.
- 03 - Os condutores de descida serão instalados de forma retínea e vertical, de forma a promover o caminho mais curto e direto para a terra, sem emendas e evitando-se laços.
- 04 - Os sistemas elétricos de potência e de sinal serão referenciados a um barramento de equalização (TAP/LEP) e ligados ao eletrodo de aterramento.
- 05 - Todos os sistemas de aterramento das distintas edificações serão interligados por ligações equipotenciais de baixa impedância.
- 06 - Todas as fixações devem ser executadas de maneira a não permitir deformações por esforços eletrodinâmicos e/ou esforços mecânicos.
- 07 - Serão instalados dispositivos de proteção contra surto.

EMPRESA RESPONSÁVEL		
PROJETO DE TCC		
CARAÚBAS - RN		
AUTOR DO PROJETO		XXXXXX RN
ROBERTA RAFAELA TORRES ALVES		
PROJETO SPDA		PRANCHA
LOCAL	ALTO SANTO/CE	01 01
OBRA	ESTÁDIO COLISEU	
CONTEÚDO	LAYOUT E DETALHES	
DATA	2021	
OBSERVAÇÕES	DÚVIDAS SOBRE O PROJETO: CONTATE O ENGENHEIRO RESPONSÁVEL PELO LEVANTAMENTO	

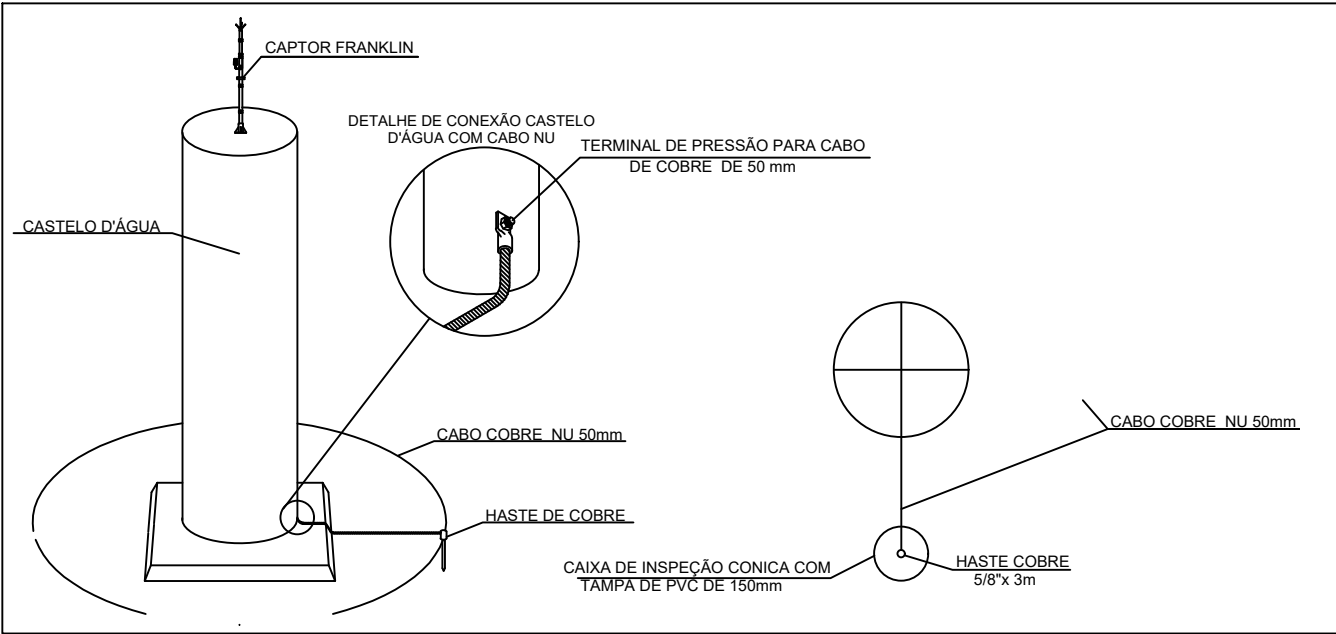
APÊNDICE B



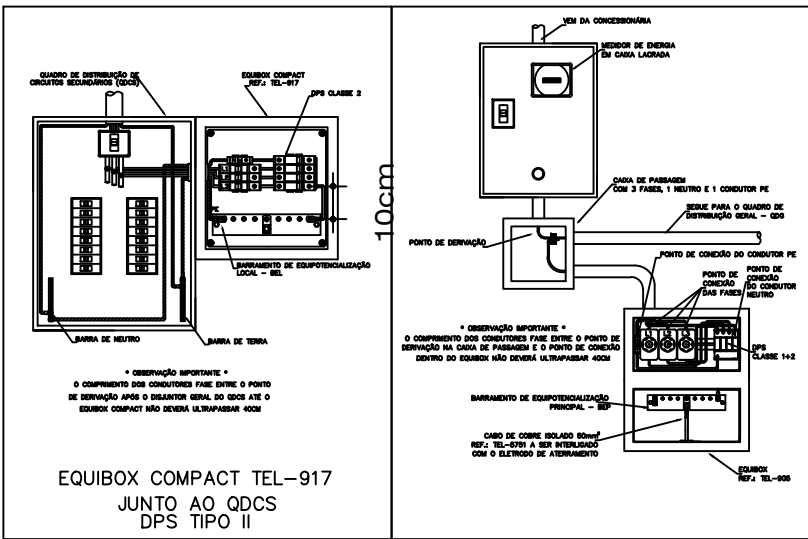
DETALHE CAPTAÇÃO
ESCALA 1:50



DETALHE CAIXA DE EQUIPOTENCIALIZAÇÃO
ESCALA 1:50



DETALHE RESERVATÓRIO
ESCALA 1:50



DETALHE SISTEMA DPS
ESCALA 1:50

LEGENDA	
	Haste de aterramento tipo cooperweld 5/8" x 2,40m
	Descida
	Torres de Iluminação
	Caixa de Passagem
	Captor de Franklin
	Cabo de Cobre
	Mini Captor de 0,6m
	Equipotencialização/QM com DPS

NOTAS:

01 - SPDA projetado conforme ABNT NBR 5419

02 - Os condutores de descida deverão estar a uma distância mínima de 0,5 m de portas, janelas e outras aberturas.

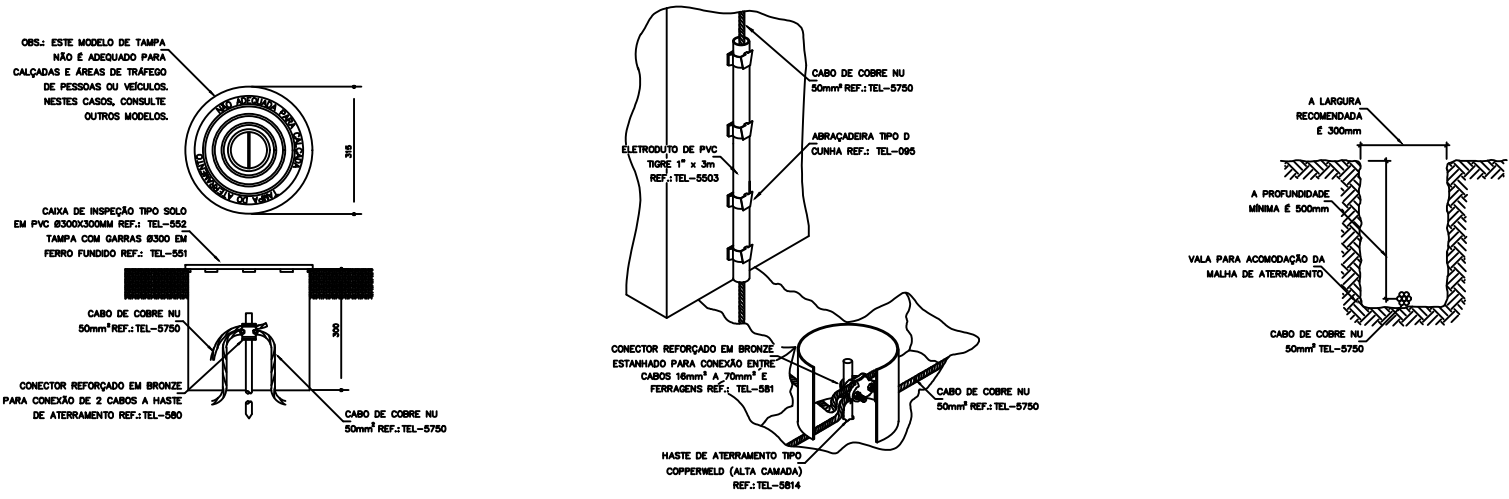
03 - Os condutores de descida serão instalados de forma retilinea e vertical, de forma a promover o caminho mais curto e direto para a terra, sem emendas e evitando-se laços.

04 - Os sistemas elétricos de potência e de sinal serão referenciados a um barramento de equalização (TAP/LEP) e ligados ao eletrodo de aterramento.

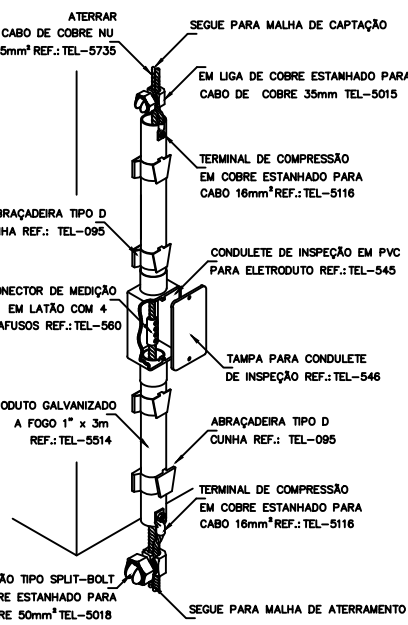
05 - Todos os sistemas de aterramento das distintas edificações serão interligados por ligações equipotenciais de baixa impedância.

06 - Todas as fixações devem ser executadas de maneira a não permitir deformações por esforços eletrodinâmicos e/ou esforços mecânicos.

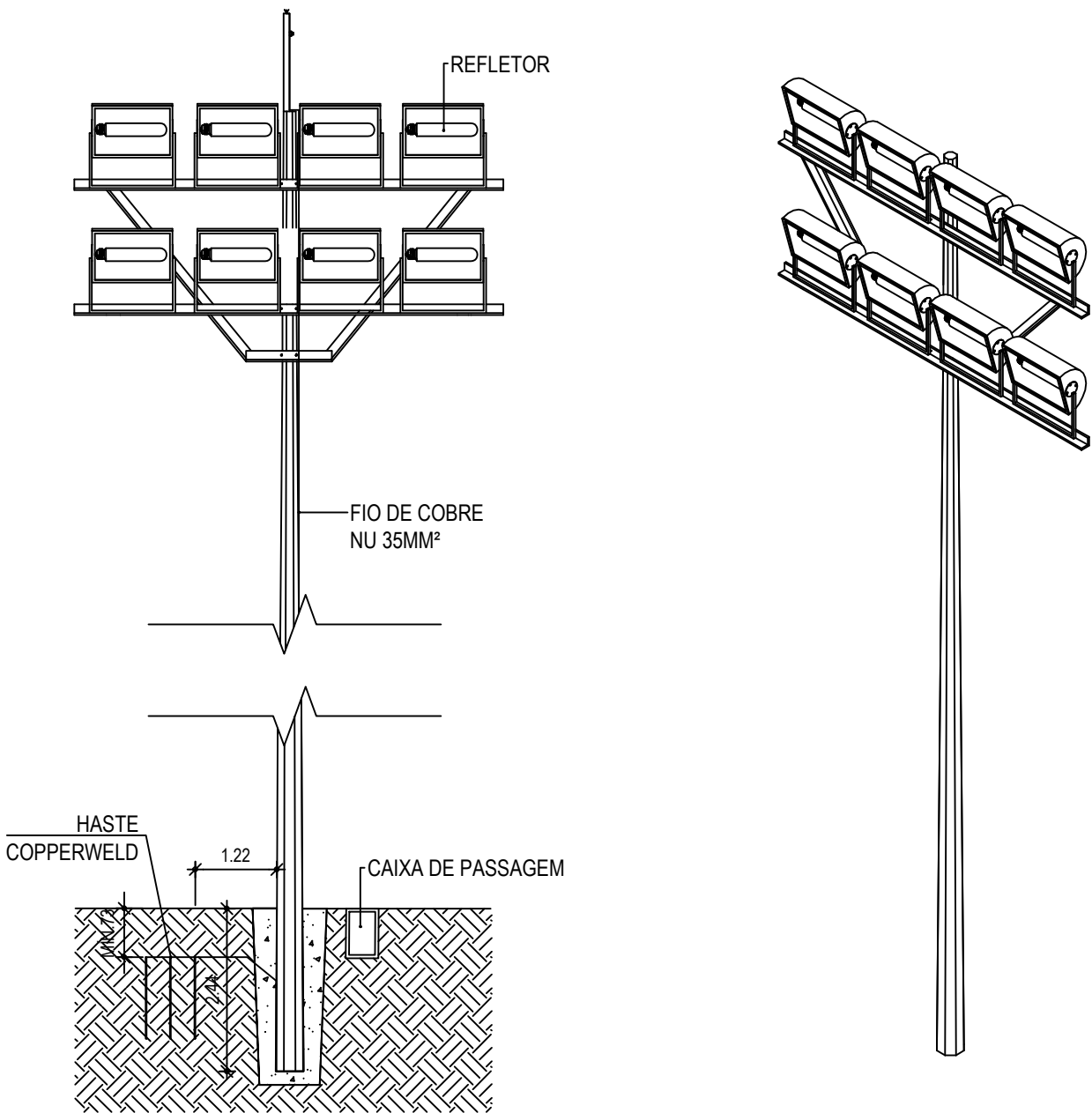
07 - Serão instalados dispositivos de proteção contra surto.



DETALHE ATERRAMENTO
ESCALA 1:50



DETALHE DESCIDA
ESCALA 1:50



DETALHE TORRE
ESCALA 1:50

EMPRESA RESPONSÁVEL		
PROJETO DE TCC		
CARAÚBAS - RN		
AUTOR DO PROJETO ROBERTA RAFAELA TORRES ALVES		XXXXXX RN
PROJETO SPDA		PRANCHA
LOCAL ALTO SANTO/CE	01 01	
OBRA ESTÁDIO COLISEU		
CONTEÚDO LAYOUT E DETALHES		
DATA 2021	ESCALA(S) INDICADAS	DIGITALIZAÇÃO PMD
OBSERVAÇÕES DÚVIDAS SOBRE O PROJETO: CONTATE O ENGENHEIRO RESPONSÁVEL PELO LEVANTAMENTO		