

**LUCAS BASÍLIO BILAK RA: 820141381
MARCIO CALDAS PEREIRA RA: 8201413834
THIAGO STUTZ DA SILVA RA: 819153601
VINICIUS FIALHO DO NASCIMENTO PEREIRA RA: 820142478**

Sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), estudo de caso em uma estrutura predial

Trabalho de Conclusão de Curso (ATCC),
apresentado à Universidade São Judas
Tadeu como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Eletricista.

Orientador: Professor Dr. Gilberto Murakami

DECLARAÇÃO

A Revista Caderno Pedagógico, ISSN 1983-0882, declara para os devidos fins, que o artigo intitulado “**Sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), estudo de caso em uma estrutura predial**” de Lucas Basílio Bilak, Marcio Caldas Pereira, Thiago Stutz da Silva, Vinicius Fialho do Nascimento Pereira, Anderson Figueiredo da Costas, Iguatinã de Melo Costa, Gilberto Murakami, foi publicado no v.20,n.5, p. 1216-1243, 2023.

Link:

<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/1805>

DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv20n5-011>

Por ser a expressão da verdade, firmamos a presente declaração

Curitiba, 24 de Novembro de 2023.

Equipe Editorial



Código QR de validade

Sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), estudo de caso em uma estrutura predial

Atmospheric discharges protections systems (ADPS), case study in a building structure

DOI: 10.54033/cadpedv20n5-011

Recebimento dos originais: 20/10/2023
Aceitação para publicação: 20/11/2023

Lucas Basílio Bilak

Graduando em Engenharia Elétrica
Instituição: Universidade São Judas Tadeu (USJT)
Endereço: Av. Imperatriz Leopoldina, 112, Vila Leopoldina, São Paulo - SP
E-mail: lucasbilak.1381@aluno.saojudas.br

Marcio Caldas Pereira

Graduando em Engenharia Elétrica
Instituição: Universidade São Judas Tadeu (USJT)
Endereço: Av. Imperatriz Leopoldina, 112, Vila Leopoldina, São Paulo - SP
E-mail: marciopereira.1383@aluno.saojudas.br

Thiago Stutz da Silva

Graduando em Engenharia Elétrica
Instituição: Universidade São Judas Tadeu (USJT)
Endereço: Av. Imperatriz Leopoldina, 112, Vila Leopoldina, São Paulo - SP
E-mail: thiagosilva.3601@aluno.saojudas.br

Vinicius Fialho do Nascimento Pereira

Graduando em Engenharia Elétrica
Instituição: Universidade São Judas Tadeu (USJT)
Endereço: Av. Imperatriz Leopoldina, 112, Vila Leopoldina, São Paulo – SP
E-mail: viniciuspereira.2478@aluno.saojudas.br

Anderson Figueiredo da Costas

Doutorando em Engenharia de Ciência e Materiais
Instituição: Universidade São Judas Tadeu (USJT)
Endereço: Av. Imperatriz Leopoldina, 112, Vila Leopoldina, São Paulo - SP
E-mail: anderson.costa@saojudas.br

Iguatinã de Melo Costa

Doutor em Ciências
Instituição: Universidade São Judas Tadeu (USJT)
Endereço: Av. Imperatriz Leopoldina, 112, Vila Leopoldina, São Paulo - SP
E-mail: iquatina.costa@saojudas.br

Gilberto Murakami

Doutor em Ciências

Instituição: Universidade São Judas Tadeu (USJT)

Endereço: Av. Imperatriz Leopoldina, 112, Vila Leopoldina, São Paulo - SP

E-mail: gilberto.murakami@saojudas.br

RESUMO

A descarga atmosférica é um fenômeno meteorológico que pode causar danos significativos a seres vivos e equipamentos. Tal fenômeno envolve a transferência de uma grande quantidade de energia elétrica entre a atmosfera e a superfície terrestre. A engenharia desempenha um papel fundamental na concepção do projeto, estruturas, edifícios e instalações industriais resistentes a raios, e não menos importante o dimensionamento adequado, pois é essencial para mitigar os riscos associados. Para isso, é necessário levar em consideração variáveis como a localização geográfica, a frequência de tempestades e a natureza das estruturas a serem protegidas. Além disso, é importante destacar a ameaça que as descargas atmosféricas representam para seres humanos e outros seres vivos, uma vez que as correntes elétricas envolvidas podem causar lesões graves ou fatais. Este trabalho teve o objetivo demonstrar a formação de raios na natureza, calcular locais que estão sujeitos a descargas conforme probabilidade em referências do instituto nacional de pesquisas espaciais entre outras fundamentações teóricas. Realizou-se um estudo de caso, apresentando projeto de SPDA para um prédio residencial fictício de oito andares, em endereço na cidade de Osasco/SP, exemplificando a seleção do tipo de SPDA, número de descidas para aterramento de malha, levantamento de materiais, e gerenciamento de risco para aplicação de sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

Palavras-chave: descarga atmosférica, SPDA, prédio, projeto.

ABSTRACT

Atmospheric discharge is a meteorological phenomenon that can cause significant damage to living beings and equipment. This phenomenon involves the transfer of a large amount of electrical energy between the atmosphere and the Earth's surface. Engineering plays a fundamental role in the design of lightning-resistant projects, structures, buildings and industrial facilities, and no less important is adequate sizing, as it is essential to mitigate the associated risks. To do this, it is necessary to take into account variables such as geographic location, the frequency of storms and the nature of the structures to be protected. Furthermore, it is important to highlight the threat that lightning strikes pose to humans and other living beings, as the electrical currents involved can cause serious injuries or fatalities. This work aimed to demonstrate the formation of lightning in nature, calculate locations that are subject to discharges according to probability in references from the national institute for space research, among other theoretical foundations. A case study was carried out, presenting an ADPS project for a fictitious eight-story residential building, at an address in the city of Osasco/SP, exemplifying the selection of the type of SPDA, number of descents

for mesh grounding, lifting of materials, and risk management for the application of Atmospheric discharges protections systems.

Keywords: atmospheric discharge, ADPS, building, project.

1 INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas, ou raios, representam um dos fenômenos naturais mais impressionantes e, ao mesmo tempo, perigosos que a atmosfera da Terra pode proporcionar. Suas manifestações espetaculares e imprevisíveis, que incluem relâmpagos, trovões e até mesmo a formação de relâmpagos em esferas, são fontes de fascinação e temor desde a origem, seja pelo som característico ou pelos estragos deixados. No entanto, além de sua natureza espetacular, as descargas atmosféricas também carregam um potencial destrutivo significativo, representando sérios riscos para a vida humana e propriedades. Segundo a NBR 5419/1, os danos de uma descarga atmosférica podem se estender além da estrutura atingida, e causar danos e falhas à vizinhança.

O sistema utilizado para proteger pessoas, edifícios, prédios, tanques, tubulações, equipamentos e outros é conhecido como Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). Torna-se evidente ao considerarmos os impactos negativos que as descargas podem causar. Incêndios, danos estruturais, interrupções de sistemas elétricos e, infelizmente, perda de vidas humanas estão entre as consequências mais graves. Portanto, a implementação adequada de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas não é apenas uma medida preventiva, mas também uma salvaguarda essencial para a preservação da vida humana e a manutenção da infraestrutura. Entre 2000-2019 o número de mortes chegou a 2 194, sendo o estado de São Paulo o líder com 327 casos, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para compreender a complexidade das descargas atmosféricas e reconhecer a necessidade de medidas preventivas, possibilitando contribuir para um ambiente mais seguro e resiliente, protegendo vidas e bens valiosos de um dos fenômenos naturais mais desafiadores e perigosos que a Terra apresenta. Através do desenvolvimento será possível fornecer uma visão aprofundada da

importância dos SPDA como parte essencial da engenharia de segurança e da proteção da sociedade contra os caprichos da natureza em um edifício fictício.

2 RAIOS

Desde a origem da humanidade, as descargas atmosféricas, frequentemente associadas a raios, têm sido objeto de grande fascínio e, em muitas culturas, cercadas por um profundo tabu. Acreditava-se que os raios eram manifestações divinas que tinham o poder de influenciar o destino da Terra.

Graças aos estudos e experimentos pioneiros de Benjamin Franklin, fomos capazes de avançar de maneira revolucionária em nossa compreensão da eletricidade e das descargas atmosféricas. Um dos aspectos mais notáveis de suas contribuições foi a introdução dos conceitos fundamentais de "positivo" e "negativo" para descrever as cargas elétricas. Essa distinção tornou-se a base da teoria eletrostática, permitindo-nos compreender como as cargas elétricas interagem e influenciam fenômenos elétricos, incluindo as descargas atmosféricas. [ISAACSON, Walter, São Paulo.]

2.1 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NO BRASIL

Conforme dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Brasil encerrou o ano de 2022 com um número recorde de registros de quedas de raios, totalizando 190 milhões. Surpreendentemente, entre janeiro e fevereiro de 2023, já tivemos um aumento de 27% em relação à quantidade de raios em 2022. Mudanças climáticas e urbanização são fatores influentes para esse aumento, os números evidenciam a crescente frequência de eventos de raios no país.

O País está na lista dos países com mais raios do mundo, isso acontece devido à sua extensa localização na zona tropical do planeta, o Brasil está situado na região central onde o clima é mais quente, criando condições favoráveis para a formação de tempestades e raios. (INPE, 2023).

Os raios representam uma ameaça potencial à vida, à propriedade e à infraestrutura, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas e nas regiões mais afetadas. Portanto, é essencial que as autoridades, especialistas em meteorologia e o público em geral estejam cada vez mais cientes dos riscos

associados a esses fenômenos naturais e adotem medidas preventivas e protocolos de segurança. Além disso, a pesquisa contínua e a coleta de dados, como os fornecidos pelo (INPE), são fundamentais para melhorar nossa compreensão das descargas atmosféricas e aprimorar a capacidade de prever e se proteger contra esses eventos climáticos potencialmente perigosos.

3 DANOS ESTRUTURAIS E EM EQUIPAMENTOS

Descargas atmosféricas podem causar danos físicos às estruturas atingidas. Isso inclui danos à alvenaria, ao concreto, às estruturas metálicas e a outros materiais de construção. Estes danos podem variar de fissuras superficiais a danos estruturais mais graves, dependendo da intensidade da descarga estruturas próximas também podem ser afetadas. Elas podem resultar em danos mecânicos a estruturas, inclusive a ocorrência de incêndios ou explosões devido ao plasma de alta intensidade. Além disso, a corrente do raio pode superaquecer condutores elétricos, levando a faíscas devido a sobretensões em acoplamentos indutivos e resistivos. (SPDA: sistemas de proteção contra descargas atmosféricas: teoria, prática e legislação / André Nunes de Souza, Érica (2020).

As pessoas também correm riscos quando ocorrem descargas atmosféricas, uma vez que podem ser expostas a tensões de passo e de toque, o que pode causar danos físicos. Além disso, equipamentos e sistemas internos podem sofrer falhas ou danos devido à interferência das ondas eletromagnéticas geradas pelas descargas atmosféricas. (SPDA: sistemas de proteção contra descargas atmosféricas: teoria, prática e legislação / André Nunes de Souza, Érica (2020).

É possível identificar as fontes de danos às estruturas causados pelo ponto de impacto das descargas atmosféricas:

- S1 - descarga atmosférica direta na estrutura;
- S2 - descarga atmosférica próxima da estrutura;
- S3 - descarga atmosférica direta na linha;
- S4 - descarga atmosférica próxima da linha.

S1 representa a situação que tem o potencial de causar danos mais graves à estrutura, ao conteúdo e às pessoas, seguida por S3, S2 e S4.

Entretanto, quando se trata de S2 e S4, observam-se somente falhas no funcionamento dos sistemas elétricos, sem representar ameaças à vida humana. As consequências para as estruturas são categorizadas em três tipos (D1, D2 e D3), e cada uma dessas categorias resulta em até quatro tipos diferentes de perdas (L1, L2, L3 e L4).

Os tipos de danos que podem ser causados pelas descargas atmosféricas, sendo:

- D1 - ferimentos a seres vivos devido ao choque elétrico;
- D2 - danos físicos;
- D3 - falhas de sistemas eletroeletrônicos.

Cada um dos danos, isolados ou combinados, resulta em diferentes tipos de perdas:

(Lx) à estrutura, assim definidas:

- L1 - perda da vida humana;
- L2 - perda de serviços públicos;
- L3 - perda de patrimônio cultural;
- L4 - perda de valores econômicos.

Conforme figura 1 abaixo, podemos identificar as fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto provenientes de uma descarga atmosférica:

Figura 1 – Danos e Perdas.

Ponto de Impacto		Fonte de Dano	Tipo de Dano	Tipo de Perda
Estrutura		S1	D1 D2 D3	L1, L4' L1, L2, L3, L4 L1 ² , L2, L4
Nas Proximidades de uma estrutura		S2	D3	L1 ² , L2, L4
Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura		S3	D1 D2 D3	L1, L4' L1, L2, L3, L4 L1 ² , L2, L4
Proximidades de uma linha elétrica ou tubulação metálica		S4	D3	L1 ² , L2, L4

1 – Somente para propriedades onde pode haver perdas de animais.
2 – Somente para estruturas com risco de explosão, hospitais ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo.

Fonte: ELETROFIKAS ENGENHARIA IGOR CARVALHO.

Descargas atmosféricas são eventos naturais que não podem ser evitados ou desviados. No entanto, é possível e apropriado adotar medidas de proteção para minimizar ou prevenir danos tanto à população quanto às edificações. Isso enfatiza a importância da instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Entretanto, nem todas as estruturas requerem um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA); é fundamental avaliar diversas variáveis e conduzir uma análise específica para cada situação a fim de determinar se a instalação de um SPDA é necessária. A NBR 5419 considera quatro riscos potenciais que influenciam a tomada de decisão:

- R1: risco de perda ou ferimentos temporários e permanentes em vidas humanas;
- R2: risco de perdas de serviços ao público;
- R3: risco de perdas do patrimônio cultural;
- R4: risco de perda de valores econômicos.

Assim, é imperativo realizar uma análise minuciosa desses riscos. A instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) se torna necessária em uma edificação, a menos que o risco de ocorrência de problemas esteja abaixo do limite tolerável. Os valores de risco tolerável para diferentes tipos de perdas podem ser identificados na norma conforme tabela 1.

Tabela 1 – Tipo de Perda.

Tipo de Perda	Risco Tolerável
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: NBR 5419/3.

O risco tolerável para o tipo de perda L4 é fixado em 10^{-3} caso os dados para comparação custo/benefício não sejam fornecidos.

4 ABNT NBR 5419/1:2015

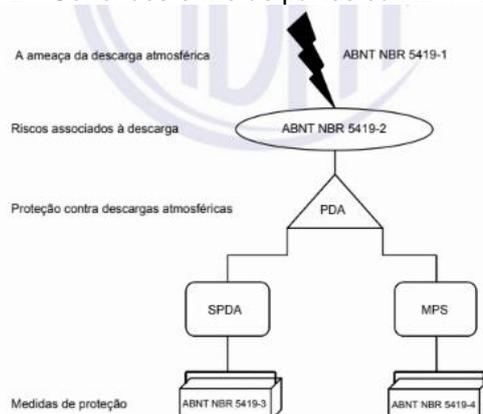
Em conformidade com a IEC 62305/201 O, a ABNT NBR 5419 segue com a mesma estrutura e organização, sendo constituída pelos seguintes documentos normativos:

4.1 PRINCÍPIOS GERAIS (ABNT NBR 5419:1)

A NBR 5419 é uma norma técnica brasileira que estabelece os critérios e diretrizes para o projeto, a implementação e a manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, com o objetivo de minimizar os riscos de danos causados por raios em estruturas e equipamentos. A norma está dividida em várias partes, e na primeira parte, são abordados os conceitos básicos e definições fundamentais para a compreensão do tema.

“As medidas de proteções consideradas na ABNT NBR 5419 são comprovadamente eficazes na redução dos riscos associados às descargas atmosféricas”. (NBR 5419/2).

Figura 2 - Conexões entre as partes da ABNT NBR 5419.



Fonte: ABNT 5419/1.

Conforme a Figura 2 acima, o PDA é o sistema completo de proteção em estruturas contra descargas atmosféricas, incluindo sistemas internos, externos, equipamentos e pessoas. Dentro dele temos o SPDA que é sistema externo para proteção contra descargas atmosféricas e o MPS, que são medidas internas contra surtos provocados por descargas atmosféricas.

Nesta primeira parte da NBR 5419, são definidos os principais termos e conceitos relacionados à proteção contra descargas atmosféricas, incluindo:

Atmosfera Elétrica: Refere-se às condições elétricas na atmosfera, que podem resultar em descargas atmosféricas, como raios.

Descarga Atmosférica: É a transferência de eletricidade entre a atmosfera e a Terra, podendo ocorrer de diversas formas, como raios nuvem-solo, raios intra e internuvens, entre outras.

Equipotencialização: Trata-se do processo de igualar os potenciais elétricos em uma estrutura ou sistema para reduzir os riscos de danos causados por raios.

Para-raios: São dispositivos projetados para atrair e conduzir descargas atmosféricas de forma segura para o solo, protegendo edificações e equipamentos.

Zona de Proteção: É a área em torno de uma estrutura que precisa ser protegida contra descargas atmosféricas, e é subdividida em Zona de Proteção Direta e Zona de Proteção Indireta.

Métodos de Proteção: São abordados os métodos de proteção contra descargas atmosféricas, como o uso de para-raios, sistemas de aterramento e outros dispositivos.

Níveis de Proteção: A norma estabelece diferentes níveis de proteção para estruturas, dependendo da importância e do tipo da edificação.

“Quatro classes de SPDA (I, II, III e IV) são definidas como um conjunto de regras de construção, baseadas nos correspondentes níveis de proteção (NP). Cada conjunto inclui regras dependentes do nível de proteção (por exemplo, raio da esfera rolante, largura da malha etc.) e regras independentes do nível de proteção (por exemplo, seções transversais de cabos, materiais etc)”. (NBR5419/1).

Sistemas de Proteção: São mencionados os diferentes componentes e sistemas que podem ser utilizados para proteger edificações e equipamentos contra raios.

Essa primeira parte da NBR 5419 é fundamental para que os profissionais envolvidos no projeto e na instalação de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas compreendam os termos e conceitos essenciais relacionados a esse tema. Ela serve como base para a implementação das diretrizes mais específicas e técnicas presentes nas partes subsequentes da norma.

4.2 GERENCIAMENTO DE RISCO (ABNT NBR 5419:2)

Enquanto a primeira parte da NBR 5419 se concentra em definir conceitos e termos fundamentais, a segunda parte entra em detalhes sobre os princípios gerais de proteção e os critérios para o projeto de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. Abaixo resumo das principais diretrizes e tópicos abordados na segunda parte:

Os critérios para o Projeto de Proteção, detalham os critérios e parâmetros a serem considerados no projeto de sistemas de proteção contra raios. Inclui a análise de risco, que leva em conta a probabilidade de ocorrência de descargas atmosféricas em uma determinada região.

“O número das descargas atmosféricas que influenciam a estrutura depende das dimensões e das características das estruturas e das linhas conectadas, das características do ambiente da estrutura e das linhas, assim como da densidade de descargas atmosféricas para a terra na região onde estão localizadas a estrutura e as linhas. A probabilidade de danos devido à descarga atmosférica depende da estrutura, das linhas conectadas, e das características da corrente da descarga atmosférica, assim como do tipo e da eficiência das medidas de proteção efetuadas”. (NBR 5419/2).

O dimensionamento dos sistemas de proteção define os parâmetros tais como o número e o número e a localização dos captosres (para-raios), bem como o sistema de aterramento, considerando a geometria e a altura das estruturas.

Sistemas de Aterramento: aborda os requisitos para sistemas de aterramento, que são essenciais para dissipar a corrente das descargas atmosféricas de forma segura para o solo.

Escolha de Materiais e Componentes: orienta sobre a seleção adequada de materiais e componentes para os sistemas de proteção, garantindo sua eficácia e durabilidade.

Documentação e Manutenção: destaca a importância de documentar o projeto e a instalação dos sistemas de proteção. Recomenda procedimentos de manutenção para garantir que os sistemas permaneçam eficazes ao longo do tempo.

Segundo a NBR5419/3, essas diretrizes técnicas detalhadas são essenciais para o projeto e a implementação de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. Ela é crucial para garantir a segurança de pessoas, edificações e equipamentos em áreas sujeitas a raios.

4.3 DANOS FÍSICOS ÀS ESTRUTURAS E PERIGO À VIDA (ABNT NBR 5419:3)

A NBR 5419, tem foco em danos físicos a estruturas e perigos à vida com ênfase à proteção no interior e ao redor de uma estrutura e danos contra seres vivos devido a tensões de toque e passo.

O SPDA externo é um componente essencial de proteção utilizado para mitigar os efeitos de descargas atmosféricas em estruturas, prevenindo danos e incêndios.

Diferentemente do SPDA externo, que se concentra em proteger a estrutura principal, o SPDA interno tem como objetivo minimizar os riscos de centelhamento e proteger os ocupantes e equipamentos dentro da edificação.

“O tipo e localização de um SPDA devem ser cuidadosamente considerados no projeto inicial de uma nova estrutura, possibilitando, desta forma, um uso otimizado das partes eletricamente condutoras desta. Utilizando essa premissa na fase de projeto, a construção de uma instalação ou edificação é realizada de forma a preservar a estética e melhorar a eficácia do SPDA com custo e esforços minimizados”. (NBR5419/3)

A Manutenção, inspeção e documentação de um SPDA devem ocorrer periodicamente, com objetivo de em manter o SPDA de acordo com a norma, manter os componentes em boas condições, para que não ocorram corrosões e assegurar que sempre que houver construção ou reforma ou algo que altere as

condições iniciais do projeto estejam incorporados no SPDA e enquadrados conforme norma.

As inspeções devem ser feitas durante e após a construção da estrutura, após algum reparo, semestralmente (visual) e periodicamente com profissional capacitado e habilitado para exercer tal atividade, com emissão de documento que garante a eficácia do sistema para proteção de estruturas, pessoas e equipamentos.

“A periodicidade das inspeções e emissão de documento “deve ser “um ano, para estruturas contendo munição ou explosivos, ou em locais expostos à corrosão atmosférica severa (regiões litorâneas, ambientes industriais com atmosfera agressiva etc.), ou ainda estruturas pertencentes a fornecedores de serviços considerados essenciais (energia, água, sinais etc.); três anos, para as demais estruturas”. (NBR5419/3).

4.4 PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS (ABNT NBR 5419:4)

As descargas atmosféricas, em sua capacidade de causar danos, representam fenômenos extremamente energéticos. Elas liberam uma quantidade significativa de energia, da ordem de centenas de megajoules. Em contrapartida, é importante notar que mesmo milijoules de energia podem ser suficientes para danificar os equipamentos eletrônicos sensíveis encontrados em sistemas eletroeletrônicos presentes nas estruturas. Isso evidencia a necessidade de implementar medidas de proteção adicionais para resguardar esses equipamentos.

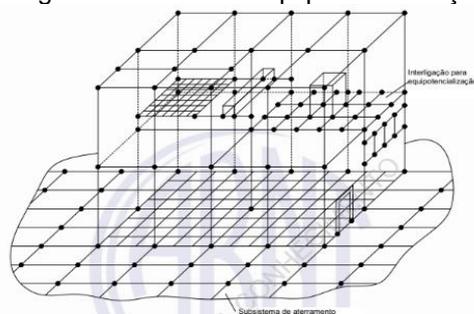
“A necessidade desta Norma justifica-se pelo crescente custo associado às falhas de sistemas eletroeletrônicos causadas pelos efeitos eletromagnéticos das descargas atmosféricas. Particularmente importantes são os sistemas eletrônicos usados no armazenamento e processamento de dados, assim como no controle e segurança de processos para plantas de considerável investimento, tamanho e complexidade (para as quais as consequências são muito indesejáveis por razões de custo e segurança)”. (NBR5419/4).

O aterramento e equipotencialização do sistema SPDA é fundamental para segurança da estrutura e dos elementos condutores com a terra, permitindo que a corrente de uma descarga seja dissipada com segurança no solo. Diminuindo as diferenças de potencial elétrico que podem ocorrer numa

descarga atmosférica, a equipotencialização minimiza o risco de faíscas, choques elétricos e danos a equipamentos elétricos e eletrônicos.

Por isso a importância do aterramento e da equipotencialização como medidas essenciais para garantir eficácia e a segurança dos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. Conforme a NBR 5419/4 uma interligação e malha de equipotencialização tem as características similares a Figura 3.

Figura 3 - Malha de equipotencialização.



Fonte: NBR 5419/4.

5 ESTUDO DE CASO

Será realizado estudo de caso, para trazer ao trabalho informações reais sobre o projeto de implantação de SPDA.

5.1 GEOLOCALIZAÇÃO

A edificação utilizada para estudo de caso é fictícia, e de uso residencial, com 8 andares e 120 habitantes. Sua localização será com base em endereço real, com área do terreno em 3 697m² e perímetro 297,28m, conforme a Figura 4, onde futuramente será construído um empreendimento e possui Linhas de energia (200m) e de telefonia (100m) aéreas e sem blindagem.

O endereço fica na Rua Vicente Alves da Silva, 600 – São Paulo - Jardim Roberto - CEP: 06170-445 (23°32'49.0"S 46°48'05.5"W).

Figura 4 - Área construção prédio circulado em amarelo.



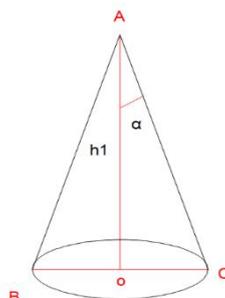
Fonte: Google Earth 05/10/2023.

5.2 PROJETO SPDA TIPO FRANKLIN – CÁLCULO DE RAIOS MÍNIMOS

A zona de proteção é definida por um cone, cuja ponta está localizada na extremidade superior do captor, e cuja linha lateral forma um ângulo de α° em relação à vertical, resultando em uma área de captação na base do cone com valor determinado pela equação.

É necessário estabelecer uma proteção para as bordas das partes superiores da estrutura, através de um condutor, compondo a malha de interligação dos captores conforme Figura 5.

Figura 5: Modelo de cone de zona de proteção.



Fonte: O AUTOR.

Onde:

- A: topo do captor;
- B: plano de referência;
- OC: raio da base do cone de proteção;
- h1: altura de um mastro acima do plano de referência;
- α : ângulo de proteção;

O volume provido por um mastro é definido pela forma de um cone circular no qual o vértice está posicionado no eixo do mastro.

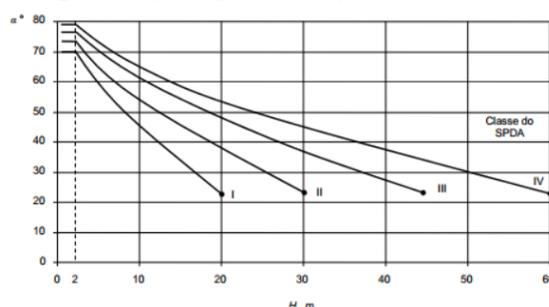
$$Rp(OC) = h1 \times tg(a)$$

Onde:

Rp : raio da base do cone de proteção (M);
 $h1$: altura da extremidade do captor (M);
 α : ângulo de proteção com a vertical.

De acordo com a NBR5419-3, temos a altura do captor em relação ao plano de referência, o ângulo e as classes, conforme gráfico 1.

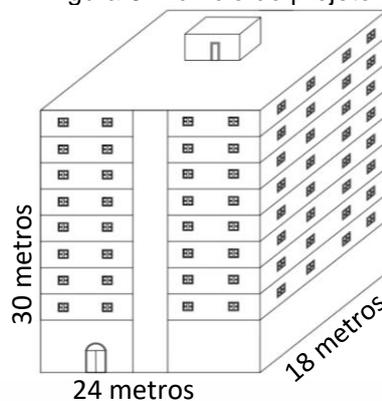
Gráfico 1: Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA.



Fonte: NBR5419/3.

O edifício utilizado para os estudos e desenvolvimento de sistema de proteção possui 8 andares, térreo e casa de máquina acima da cobertura, possui altura de 30 metros e dimensões, conforme a Figura 6:

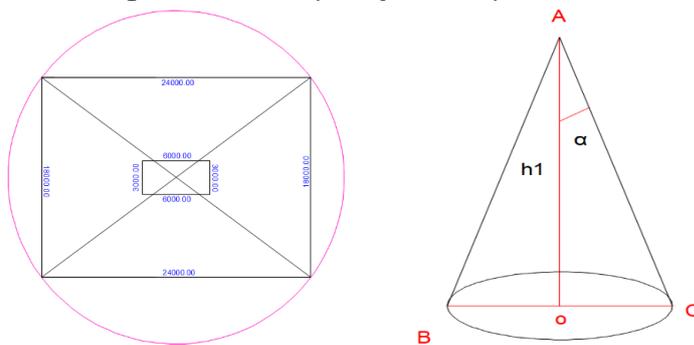
Figura 6: Edifício do projeto.



Fonte: O AUTOR.

A instalação do captor é localizada centralizada no topo da estrutura, criando um ângulo de proteção, conforme Figura 7 e equação abaixo:

Figura 7: Raio de proteção do captor adotado.



Fonte: O AUTOR.

$$Rp(OC) = \frac{\sqrt{18^2 + 24^2}}{2} = 15m$$

15 metros é o raio mínimo.

6 metros é a altura do modelo de captor Franklin adotado.

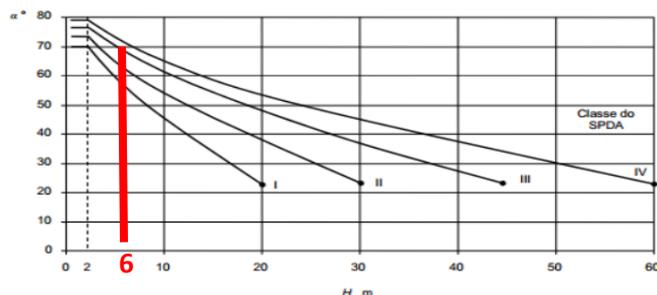
$$15 = 6 * \tan \tan (a)$$

$$\tan \tan (a) = \frac{15}{6} = 2,5$$

$$A = \arctg\left(\frac{15}{6}\right) = 68,19^\circ$$

Através dos cálculos é possível identificar que 15 metros é o raio mínimo e ângulo de proteção é de 68,19°, nessa condição específica, somente a classe III atende. Conforme o gráfico 2:

Gráfico 2: Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA.



Fonte: NBR5419/3.

5.3 CÁLCULO DE MALHAS

A malha captora se localiza na parte superior da estrutura e nela é calculado a quantidade de condutores, seguindo por padrão as maiores e menores distancias da área a ser protegida, conforme equação e Figura 8:

$M1$ = Maior distância (m)

$M2$ = Menor distância (m)

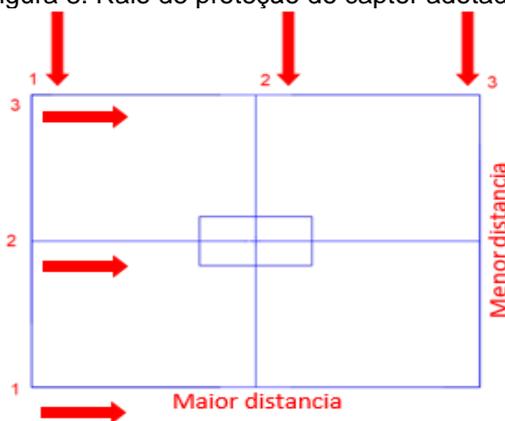
D = Distância entre descidas (m)

D = Distância entre descidas (m)

Número de condutores da maior malha= 3

Número de condutores da menor malha= 3

Figura 8: Raio de proteção do captor adotado.



Fonte: O AUTOR.

5.4 CÁLCULO DE DESCIDAS

As descidas são os condutores que descem ao longo da edificação, ligando a malha captora ao solo. O projeto e uso adequado de descidas é

fundamental para garantir a eficiência do sistema de proteção, conforme equações e Figura 9:

P = Perímetro da edificação (m)

$$P = 18 \times 2 + 24 \times 2 = 84$$

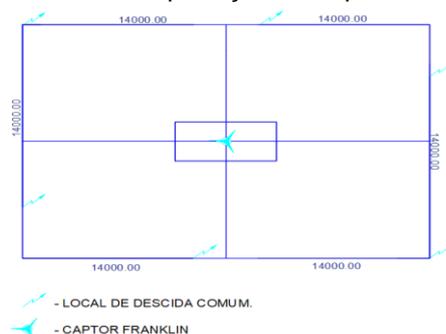
D = Distância entre descidas (m)

$$D = 15$$

Número de descidas = 5,6

Projeto será adotado com 6 descidas.

Figura 9: Raio de proteção do captor adotado.



Fonte: O AUTOR.

Para o projeto será utilizado 6 descidas com distâncias entre si de 14 metros, como o sistema adotado é de classe III, por padrão é necessário um espaçamento de 15 metros, porém a norma NBR5419 notifica que é aceitável uma variação entre descidas de $\pm 20\%$, conforme Tabela 2:

Tabela 2: Raio de proteção do captor adotado.

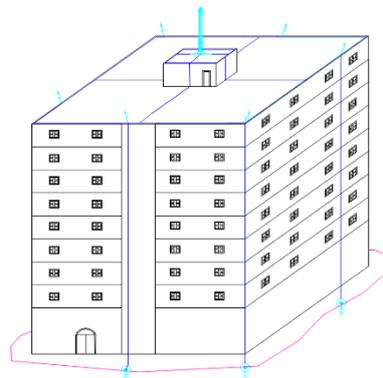
Classe do SPDA	Distâncias (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

NOTA: é aceitável que o espaçamento dos condutores de descidas tenha no máximo 20% além dos valores acima.

Fonte: NBR5419.

A edificação possui uma casa de máquinas na cobertura, essa estrutura se proteja mais de 30cm do plano da malha captora e não é constituída de materiais condutores, neste caso adotamos um captor Franklin que é conectado à malha, conforme a Figura 10:

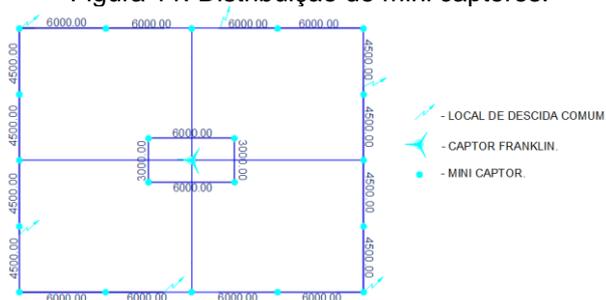
Figura 10: Estrutura de malha e descidas.



Fonte: O AUTOR.

Recomenda-se a instalação de captosres auxiliares verticais distribuídos ao longo da malha captora, evitando o centelhamento provido ao impacto das descargas atmosféricas que danificam o material da cobertura. A norma NBR5419/2015 não exige a instalação de mini captosres ou terminais aéreos já que a eficiência da gaiola não depende deles, porém, sua instalação é recomendada para preservar os cabos e barras de possíveis danos térmicos em casos de descargas diretas sobre eles. Caso sejam instaladas, a recomendação é utilizar em quinas, cruzamento de cabos e a cada 5 metros de perímetro. Em nosso projeto foi instalado minicaptosres distribuídos conforme a Figura 11:

Figura 11: Distribuição de mini captosres.



Fonte: O AUTOR.

Foi utilizado um total de 20 minicaptosres distribuídos pela malha, sendo 16 minicaptosres na malha captora e 4 minicaptosres + 1 captor Franklin na estrutura elevada da casa de máquinas.

5.5 RESISTIVIDADE DO SOLO

$$p = \frac{4\pi \cdot a \cdot \left(\frac{V}{I}\right)}{1 + \left(\frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}}\right) - \left(\frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}\right)}$$

Onde:

p = Resistividade do solo;
 a = Distância entre as hastes de medição;
 b = Profundidade de aterramento menor que $= \frac{a}{10}$;
 V = tensão aplicada;
 I = corrente aplicada.

Durante o teste foi realizado o espaçamento entre hastes de 1 metro.

Com resistência de: **75,15 Ω**

Durante o teste foi realizado o espaçamento entre hastes de 1 metro.

Com resistência de: **21,92 Ω**

5.6 HASTE DE ATERRAMENTO

Para a realização do cálculo de resistência da haste no solo é necessário realizar as seguintes expressões abaixo:

$$R = \frac{p \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot l}{a}\right)}{2\pi \cdot l}$$

Onde:

l = Comprimento da haste;
 a = Raio da haste.

Haste de aterramento utilizada no projeto é de 3 metros com diâmetro de 5/8”.

Estamos considerando a resistividade do solo como 140Ω, temos a seguinte equação.

Terra de jardim com 50% de umidade.

$$a = 1 = 2,54 = \left(\frac{5}{8}\right) \cdot \frac{(2,54)}{100} = 0,015875$$

O raio da haste em metros é de 0,015875.

$$R = \frac{p \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot l}{a}\right)}{2\pi \cdot l} = \frac{140 \cdot \ln\left(\frac{6}{0,015875}\right)}{2\pi \cdot 3} = 26,97\Omega$$

Estamos considerando a resistividade do solo como 480Ω , temos a seguinte equação.

Terra de jardim com 20% de umidade.

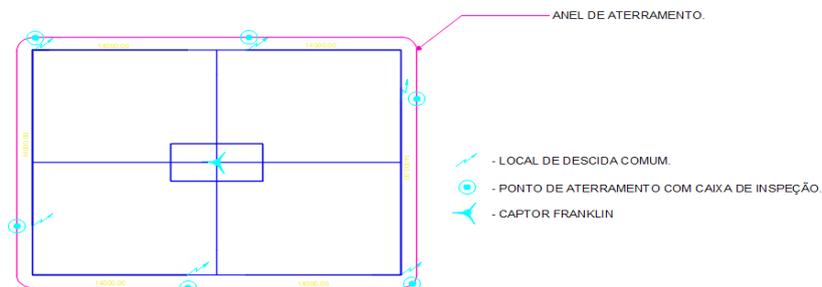
$$a = 1 = 2,54 = \left(\frac{5}{8}\right) \cdot \frac{(2,54)}{100} = 0,015875$$

O raio da haste em metros é de 0,015875.

$$R = \frac{p \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot l}{a}\right)}{2\pi \cdot l} = \frac{480 \cdot \ln\left(\frac{6}{0,015875}\right)}{2\pi \cdot 3} = 151,12\Omega$$

O eletrodo de aterramento em anel deve ser enterrado na profundidade de no mínimo 0,5m e permanecer posicionado à distância aproximada de 1m ao redor das paredes externas da estrutura. A profundidade de enterramento e o tipo de eletrodos devem ser constituídos de forma a minimizar os efeitos de corrosão e dos efeitos causados pelo ressecamento do solo e desta forma estabilizar a qualidade e efetividade do conjunto. Os eletrodos devem ser instalados de tal maneira a permitir a inspeção durante a obra. Conforme a Figura 12 abaixo, utilizamos 6 hastes conectadas ao anel.

Figura 12: Anel de aterramento.

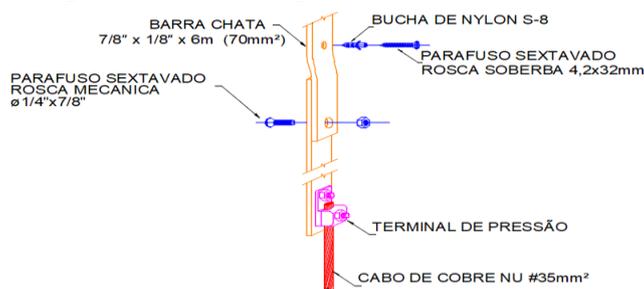


Fonte: O AUTOR.

6 MONTAGEM DA ESTRUTURA

O anel de aterramento deve ser feito em cabo de cobre nu de 50mm². Todas as hastes de aterramento são conectadas ao anel através de conectores tipo grampo "U" e devem possuir caixas de inspeção para facilitar a manutenção, limpeza e medições do sistema. Algumas das formas de redução da resistência de terra é a instalação de hastes profundas e eletrodos em paralelo. Na edificação apresentada no estudo cada descida irá possuir uma haste de 3 metros conectadas ao anel. Conforme a Figura 13 abaixo é possível verificar um conjunto de descidas:

Figura 13: Montagem e conexão de gaiola com anel de aterramento - ligação.



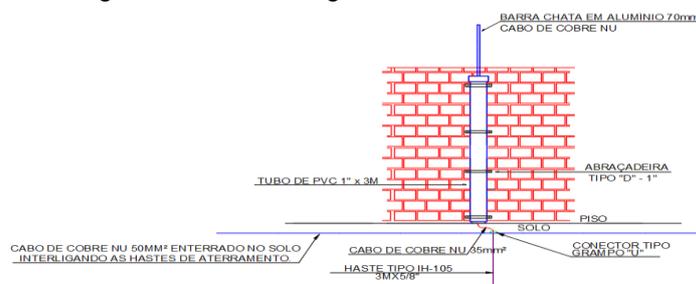
EMENDA ENTRE BARRA CHATA DE ALUMÍNIO COM CABO DE COBRE NU 35MM²

Fonte: O AUTOR.

As barras chatas de alumínio da gaiola descem fixadas através das paredes da edificação e são conectadas a cabos de cobre nu de 35mm² através de terminais de pressão. Essas conexões são protegidas por um eletroduto de PVC preto de 1", com altura de 3 metros. Esses tubos têm a função de proteger

as conexões contra fatores externos, como umidade, corrosão e intempéries. Conforme a Figura 14 abaixo:

Figura 14: Montagem e conexão de gaiola com anel de aterramento - conexão.



Fonte: O AUTOR.

O cabo de cobre nu de 35mm² desce protegido até a caixa de inspeção localizada no solo, na caixa o cabo de descida se conecta a haste e ao anel de aterramento. A caixa possui um diâmetro de 300mm.

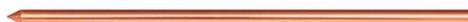
Figura 15: Exemplo de caixa de inspeção.



Fonte: GROMANN – MATERIAL ELÉTRICO.

O modelo de haste utilizado na estrutura possui comprimento de 3 metros e diâmetro de 5/8”, fabricante: OLIVIO S/A, produzida em aço carbono e cobre eletrolítico.

Figura 16: Haste de aterramento.



Fonte: SANTIL.

A estrutura de alumínio da gaiola é formada por barras chatas de alumínio. O alumínio é um excelente condutor elétrico, possui uma baixa densidade e alta resistência a corrosão, desta forma é o material ideal para áreas externas e

desenvolvimento de projetos com custo mais reduzido, por ser um metal leve e com propriedades químicas suaves. Conforme Tabela 3 abaixo:

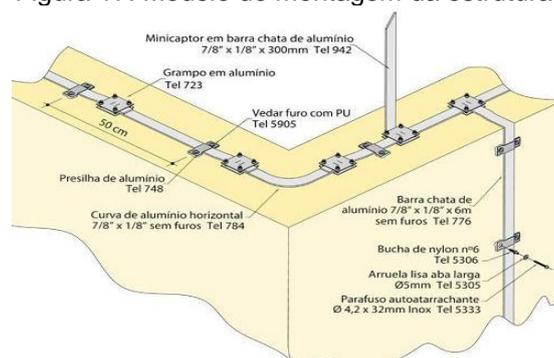
Tabela 3: Condutividade elétrica de materiais.

Condutividades Elétricas	
Material	Condutividade (S.m/mm²)
Prata	62,5
Cobre puro	61,7
Ouro	43,5
Alumínio	34,2
Tungstênio	18,18

Fonte: DESTERRO ELETRICIDADE.

Para a construção das malhas e descidas é necessário a fixação através de buchas e parafusos. É importante garantir que o material condutor seja contínuo, sem aberturas, rachaduras ou lacunas que permitam a entrada de campos eletromagnéticos. Qualquer abertura ou fenda deve ser selada com material condutor. As juntas e selagens da Gaiola de Faraday também devem ser condutoras para garantir a continuidade elétrica. Conforme a Figura 17 abaixo:

Figura 17: Modelo de montagem da estrutura.

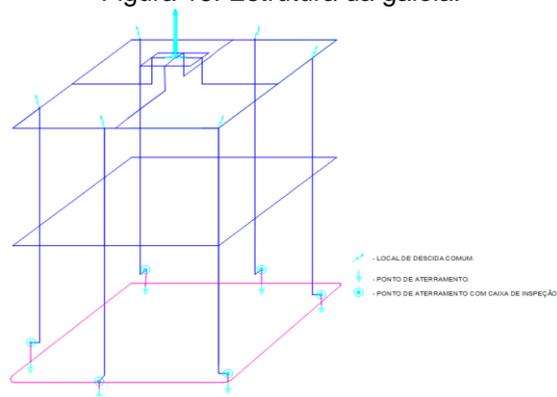


Fonte: TERMOTÉCNICA – PARA-RAIOS.

A estrutura possui um anel intermediário conectando as descidas, e sua função é distribuir as correntes elétricas que estão circulando pela gaiola, assim como a malha deve possuir distância de 15 metros. Quanto mais espesso for o material condutor, mais eficaz será a Gaiola. No entanto, o alumínio é um metal

relativamente fino, por isso, é importante que as fitas sejam densamente conectadas. Conforme a Figura 18 abaixo:

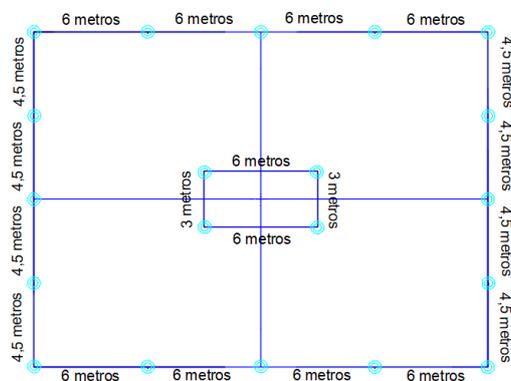
Figura 18: Estrutura da gaiola.



Fonte: O AUTOR.

É necessário a instalação de mini captores na parte superior da estrutura, eles têm função de facilitar a recepção da descarga atmosférica, se tornando pontos preferenciais de impacto dos raios sobre a cobertura. O modelo de mini captor adotado no projeto é MON-125 com fixação horizontal com 1 furo, possui altura de 300mm, fabricado em alumínio. A norma não exige a instalação dos captores auxiliares, mas é recomendado devido a fácil manutenção e barateamento, caso seja necessário a substituição das malhas de alumínio da estrutura. Conforme a Figura 19 abaixo:

Figura 19: Cobertura e dimensionamento de mini captores.

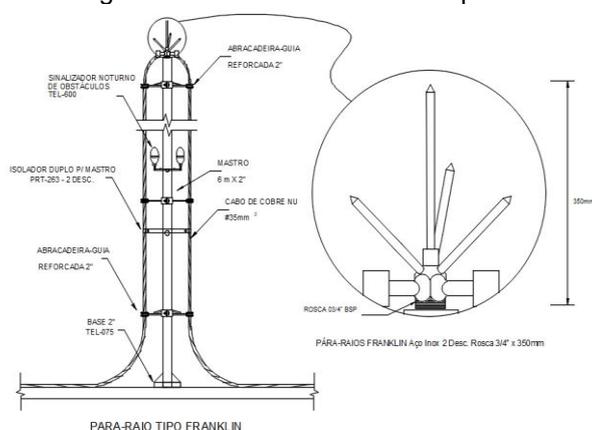


Fonte: O AUTOR.

O captor Franklin se localiza centralizado na edificação, acima da casa de máquinas localizado na cobertura, o modelo adotado possui mastro telescópico

de 6 metros em aço galvanizado a fogo. O captor possui duas descidas, fabricado em aço Inox e fixado na ponta mais alta do mastro, conectado a cabos de cobre nu de 35 mm² que descem fixados através de abraçadeiras e são ligados diretamente a malha. O mastro deve ser fixado através de uma base de 2” fixada com parafusos na estrutura do edifício com o auxílio de conjuntos de fixação rígidos. No desenvolvimento do projeto será instalado sinalizador de obstáculos. Conforme a Figura 20 abaixo:

Figura 20: Modelo de haste e captor.



Fonte: O AUTOR.

7 CONCLUSÃO

Com base nas informações fornecidas no trabalho, é evidente que os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) desempenham um papel crítico na prevenção de danos, da vida humana e dos bens materiais. A implementação adequada de SPDA é uma medida essencial para mitigar os riscos associados a descargas atmosféricas, que podem resultar em incêndios, danos estruturais, falhas em sistemas elétricos e, em casos extremos, perda de vidas humanas.

O estudo de caso realizado em um prédio residencial fictício de oito andares em Osasco, SP, fornece um exemplo prático de como o dimensionamento adequado, a seleção apropriada de materiais e o gerenciamento de riscos são fundamentais para a eficácia dos sistemas de proteção.

Além disso, ao compreender a formação de raios na natureza e os mecanismos por trás das descargas atmosféricas, o trabalho destaca a importância de considerar variáveis como localização geográfica, frequência de tempestades e natureza das estruturas a serem protegidas ao projetar e implementar SPDA.

As consequências dos danos estruturais e de equipamentos devido a descargas atmosféricas são abordadas em detalhes, ressaltando os diversos tipos de danos e perdas que podem resultar desses eventos.

Considerando o contexto nacional, onde o Brasil registra uma alta incidência de descargas atmosféricas, é crucial a conscientização sobre a importância da implementação de medidas de proteção adequadas, como o SPDA. Este estudo contribui significativamente para uma compreensão mais abrangente da importância dos SPDA como parte essencial da engenharia de segurança e da proteção da sociedade contra os riscos associados a um dos fenômenos naturais mais desafiadores e perigosos.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-1**, Rio de Janeiro, 2015.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-2**, Rio de Janeiro, 2015.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-3, Rio de Janeiro, 2015.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-4**, Rio de Janeiro, 2015.

<http://www.inpe.gov.br>, acesso em 05.10.2023.

SOUZA, A.; RODRIGUES, J.; BORELLI, R.; BARROS, B. **SPDA, sistema de proteção contra descargas atmosféricas**: Teoria, prática e legislação. 2^o edição. São Paulo: Editora Érica, 2020.

<https://tel.com.br/produto/barras-chatas-em-aluminio/>, acesso em 05/10/2023.