



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO ENGENHARIA ELÉTRICA

ISABELLE MUSSATTO SILVA
MAURÍCIO MILLER MOREIRA MATTOS

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE TÉCNICA DO SISTEMA DE
PROTEÇÃO CONTRA DESCARGA ATMOSFÉRICA E
ATERRAMENTO DA BIBLIOTECA JOÃO PAULO II - IFTO
CAMPUS PALMAS

PALMAS-TO

2025



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO ENGENHARIA ELÉTRICA

ISABELLE MUSSATTO SILVA
MAURÍCIO MILLER MOREIRA MATTOS

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE TÉCNICA DO SISTEMA DE
PROTEÇÃO CONTRA DESCARGA ATMOSFÉRICA E
ATERRAMENTO DA BIBLIOTECA JOÃO PAULO II - IFTO
CAMPUS PALMAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel do Curso de Graduação de Engenharia Elétrica do Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Dr. Antônio Marcelino da Silva Filho

Palmas-TO
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S586e Silva, Isabelle Mussatto
ESTUDO DE CASO: ANÁLISE TÉCNICA DO SISTEMA DE
PROTEÇÃO CONTRA DESCARGA ATMOSFÉRICA E
ATERRAMENTO DA BIBLIOTECA JOÃO PAULO II - IFTO CAMPUS
PALMAS / Isabelle Mussatto Silva, Maurício Miller Moreira Mattos. –
Palmas, TO, 2025.
59 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: Dr. Antônio Marcelino da Silva Filho

1. Analisar o Sistema de Proteção Contra Descarga Atmosférica -
SPDA. 2. Analisar o Aterramento. 3. Biblioteca João Paulo II - IFTO. I.
Mattos, Maurício Miller Moreira. II. Filho, Antônio Marcelino da Silva
III. , . IV. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).

ISABELLE MUSSATTO SILVA
MAURÍCIO MILLER MOREIRA MATTOS

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE TÉCNICA DO SISTEMA DE PROTEÇÃO
CONTRA DESCARGA ATMOSFÉRICA E ATERRAMENTO DA
BIBLIOTECA JOÃO PAULO II - IFTO CAMPUS PALMAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel do Curso de Graduação de Engenharia
Elétrica do Instituto Federal do Tocantins, Campus
Palmas.

Aprovado em: 17/02/2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ANTONIO MARCELINO DA SILVA FILHO**
Data: 12/03/2025 20:59:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Antônio Marcelino da Silva Filho
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **KAISSON TEODORO DE SOUZA**
Data: 12/03/2025 13:45:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Kaison Teodoro de Souza
Membro da Banca Avaliadora

Documento assinado digitalmente
 **CELIVAN FERREIRA VIEIRA**
Data: 12/03/2025 15:26:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Celivan Ferreira Vieira
Membro da Banca Avaliadora

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo analisar o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) da Biblioteca João Paulo II, no IFTO Campus Palmas a fim de auxiliar na elaboração de um futuro laudo técnico de avaliação dos subsistemas que compõem o SPDA. Os resultados mostraram que o sistema não atende às normas técnicas da ABNT 5419:2015, principalmente no que diz respeito à resistência de continuidade entre as partes metálicas conectadas e à quantidade insuficiente de descidas, além da distribuição irregular das mesmas. As falhas comprometem a eficácia do SPDA, colocando em risco a segurança do patrimônio e das pessoas. A pesquisa propõe medidas corretivas, como o aumento do número de descidas e a melhoria da continuidade elétrica, para garantir a conformidade com as normas e a proteção adequada contra descargas atmosféricas, ressaltando a importância de manutenções periódicas e revisões no sistema.

Palavras-Chave: Sistema de Proteção Contra Descarga Atmosférica, SPDA, descargas atmosféricas, sistema de aterramento, norma, NBR 5419:2015, NBR 15749:2009, continuidade, método de proteção.

ABSTRACT

This thesis aims to analyze the Lightning Protection System (LPS) of the João Paulo II Library at IFTO Palmas Campus in order to assist in the preparation of a future technical report evaluating the subsystems that make up the LPS. The results showed that the system does not meet the technical standards of ABNT 5419:2015, mainly regarding the continuity resistance between connected metallic parts and the insufficient number of down conductors, as well as their irregular distribution. These failures compromise the effectiveness of the LPS, putting the safety of both the property and individuals at risk. The research proposes corrective measures, such as increasing the number of down conductors and improving electrical continuity, to ensure compliance with the standards and adequate protection against lightning strikes, emphasizing the importance of periodic maintenance and system reviews.

Keywords: Lightning Protection System, LPS, lightning strikes, grounding system, standard, NBR 5419:2015, NBR 15749:2009, continuity, protection method.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de Descargas Atmosféricas do Biênio 2018/2019.....	19
Figura 2 - Instalação SPDA.....	20
Figura 3 - Fluxograma NBR 5419:2015 PARTE 01.....	21
Figura 4 - Fluxograma NBR 5419 : 2015 PARTE 2.....	23
Figura 5 - Fluxograma NBR 5419 : 2015 PARTE 3.....	24
Figura 6 - Fluxograma NBR 5419 : 2015 PARTE 4.....	26
Figura 7 - Ângulo de proteção correspondente a classe de SPDA.....	28
Figura 8 - Cone de proteção promovido por um mastro.....	29
Figura 9 - Posicionamento do subsistema de captação conforme método da esfera rolante.....	30
Figura 10 - Haste de aterramento.....	32
Figura 11 - Fluxograma da ABNT NBR 15749 : 2009.....	34
Figura 12 - Fluxograma de metodologia	36
Figura 13 - Biblioteca João Paulo II.....	39
Figura 14 - Projeto do subsistema de captação referente ao telhado com laje impermeabilizada.....	42
Figura 15 - Registro fotográfico do telhado com laje impermeabilizada.....	42
Figura 16 - Registro fotográfico do telhado com laje impermeabilizada.....	43
Figura 17 - Registro fotográfico do minicaptor.....	43
Figura 18 - Projeto arquitetônico referente ao telhado com laje impermeabilizada.....	44
Figura 19 - Projeto do subsistema de captação natural referente ao telhado com telha metálica.....	45
Figura 20 e 21 - Medição da espessura da telha metálica de zinco realizada com paquímetro.....	46

Figura 22 e 23 - Descidas desconectadas da malha de aterramento e conectadas aos terminais do miliohmímetro.....	47
Figura 24 - Resultado da medição.....	47
Figura 25 - Projeto do subsistema de descida.....	48
Figura 26 e 27 - Cordoalha de descida.....	49
Figuras 28 e 29 - Disposição das hastes para medição da resistência de aterramento.....	50
Figura 30 - Resultado no Terrômetro a distância de 23 metros.....	51
Figura 31 - Resultado no Terrômetro a distância de 24 metros.....	52
Figura 32 - Resultado no Terrômetro a distância de 24 metros.....	52
Figura 33 a 35 - Cordoalha do anel de aterramento.....	53
Figura 36 - Placa de advertência.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA.....	30
Tabela 2 - Equipamentos utilizados.....	38
Tabela 3 - Níveis de proteção.....	40
Tabela 4 - Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistemas de captação.....	45
Tabela 5 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas.....	49
Tabela 6 - Resultados obtidos através das medições em campo.....	51
Tabela 7 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento.....	54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. PROBLEMA DE PESQUISA	11
3. JUSTIFICATIVA	12
4. OBJETIVOS	14
4.1 - Objetivo geral	14
4.2 - Objetivo específico	14
5. REFERENCIAL TEÓRICO	15
5.1 - Descargas atmosféricas	15
5.1.1 - Formação da descarga	15
5.1.2 - Tipos de descargas	16
5.1.3 - Tensões de toque e de passo	16
5.1.4 - Parâmetros da descarga	17
5.1.5 - Impactos causados	18
5.2 - Sistema de proteção contra descargas atmosféricas	20
5.2.1 - Normas e Resoluções	20
5.2.1.1 - Diretrizes gerais da norma ABNT NBR 5419:2015 - PARTE 1	20
5.2.1.2 - Diretrizes gerais da norma ABNT NBR 5419:2015 - PARTE 2	22
5.2.1.3 - Diretrizes gerais da norma ABNT NBR 5419:2015 - PARTE 3	23
5.2.1.4 - Diretrizes gerais da norma ABNT NBR 5419:2015 - PARTE 4	25
5.2.2 - Métodos de SPDA	26
5.2.2.1 - Método do ângulo de proteção (Franklin)	28
5.2.2.2 - Método da Esfera Rolante (Modelo Eletro geométrico)	29
5.2.2.3 - Método das Malhas (Gaiola de Faraday)	31
5.3 - Aterramento Elétrico	31
5.3.1 - Resistividade do solo	32
5.3.2 - Normas e Resoluções para aterramentos	33
5.3.2.1 - Diretrizes gerais da norma ABNT NBR 15749:2009	33
6. METODOLOGIA	36

7. RESULTADOS	38
7.1 - Equipamentos utilizados	38
7.2 - Características do local	39
7.3 - Gerenciamento de risco	39
7.4 - Avaliação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas.....	41
7.4.1 - Subsistema de captação	41
7.4.2 - Subsistema de descidas	46
7.4.3 - Medição da resistência de aterramento	50
7.4.4 - Subsistema de aterramento	53
7.5 - Inspeções de um SPDA	54
7.6 - Recomendações para proteção da área	55
8. CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	58

1 - INTRODUÇÃO

A segurança das instalações elétricas em edificações é um aspecto fundamental para a proteção de pessoas, equipamentos e acervos, especialmente em locais que abrigam grande número de usuários e valiosas fontes de informação, como bibliotecas. O Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e o aterramento elétrico adequado são componentes essenciais para garantir a integridade das estruturas e a segurança dos ocupantes.

Sendo o SPDA um conjunto de medidas e dispositivos projetados para proteger edifícios e estruturas contra os danos causados por raios, podendo associar-se com um "escudo" que defende uma construção, agindo de forma que capta e direciona a energia da descarga para o solo de maneira segura através de para-raios, condutores e dispositivos de aterramento que trabalham juntos para garantir que a eletricidade do raio não cause danos à estrutura ou aos seus ocupantes.

O aterramento elétrico é a parte do SPDA que garante que o fluxo elétrico do raio siga um trajeto seguro e controlado. São como um sistema de escoamento seguro para eletricidade, quando acontece uma descarga atmosférica, a corrente elétrica pode tentar seguir por caminhos que não são seguros, sendo assim, o papel do aterramento é de suma importância para a continuação do Sistema de Proteção.

No contexto do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), Campus Palmas, a biblioteca João Paulo II destaca-se como um ambiente de grande relevância acadêmica e social. Assim, a importância deste estudo reside na necessidade de prevenir danos materiais e assegurar a continuidade das atividades acadêmicas e culturais no campus. Além disso, o trabalho contribuirá para a atualização das práticas de segurança, alinhando-as às exigências técnicas e legais, e propondo melhorias, quando necessário.

2 - PROBLEMAS DE PESQUISA

A Biblioteca João Paulo II, localizada no Campus Palmas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO, desempenha um papel central na vida acadêmica e cultural, não apenas para os docentes e discentes do Campus, visto que muitas pessoas de outras instituições também frequentam o local. Dada a sua importância, é imperativo que suas instalações estejam adequadamente protegidas contra riscos, especialmente aqueles relacionados a descargas atmosféricas e falhas no sistema de aterramento. Em vista disso, surge o problema de pesquisa proposto verificar se o sistema de SPDA e aterramento da biblioteca atendem às exigências das normas técnicas vigentes e oferecem a segurança necessária para a proteção das pessoas, equipamentos e acervos.

Este problema de pesquisa busca investigar a conformidade dos sistemas instalados com as normativas, identificar possíveis deficiências e propor soluções que possam garantir a segurança da edificação e seus usuários. A relevância desta investigação está na necessidade de minimizar riscos de acidentes, preservando a vida humana e o patrimônio material.

3 - JUSTIFICATIVA

A segurança das instalações elétricas e das edificações é um tema de extrema relevância, especialmente em ambientes que concentram grande quantidade de pessoas e recursos valiosos, como as bibliotecas. A biblioteca João Paulo II, situada no IFTO Campus Palmas, não apenas serve como um centro de conhecimento e aprendizado, mas também abriga um acervo de importância significativa para a comunidade acadêmica e para a sociedade. Nesse contexto, a implementação e manutenção adequadas do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e do sistema de aterramento são essenciais para garantir a integridade das instalações, a proteção dos usuários e a preservação do acervo.

A região de Palmas, no estado do Tocantins, é conhecida por sua alta incidência de raios, o que eleva a importância de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) bem projetado e mantido. A falha em garantir a conformidade desse sistema com as normas técnicas vigentes pode resultar em sérios danos materiais e, mais preocupante, em riscos à vida humana. Da mesma forma, o sistema de aterramento, quando inadequado, pode não só comprometer a segurança elétrica da edificação, mas também afetar o funcionamento de equipamentos eletrônicos sensíveis, essenciais para as atividades acadêmicas e administrativas.

Este trabalho se justifica pela necessidade de assegurar que a biblioteca João Paulo II esteja devidamente protegida contra esses riscos, por meio de uma avaliação rigorosa dos sistemas de SPDA e aterramento. A conformidade com as normas técnicas, como a NBR 5419:2015, é essencial para garantir que as medidas de proteção sejam eficazes e que eventuais deficiências sejam identificadas e corrigidas.

Além disso, este estudo tem o potencial de contribuir para a melhoria contínua das práticas de segurança no IFTO, servindo como referência para outras edificações do campus e até mesmo para outras instituições. A elaboração de um laudo técnico sobre o SPDA e o sistema de aterramento permitirá a identificação de possíveis falhas e a proposição de melhorias, contribuindo para a segurança de todos os que utilizam o espaço, além de preservar o patrimônio da instituição.

Portanto, a realização deste trabalho é de suma importância não apenas para garantir a proteção da biblioteca João Paulo II, mas também para reforçar a segurança

global das instalações do IFTO, contribuindo para a preservação de vidas humanas e de recursos materiais valiosos.

4 - OBJETIVOS

4.1 - Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo realizar uma avaliação técnica do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e do sistema de aterramento da Biblioteca João Paulo II, localizada no Instituto Federal do Tocantins - IFTO, Campus Palmas. Com o intuito de verificar a continuidade nos sistemas e assim assegurar a eficiência do sistema, podendo assim evitar com que sejam danificados quaisquer tipos de equipamentos e circuitos elétricos e eletrônicos, além de proporcionar segurança às pessoas que circulam na região da biblioteca com segurança e sem medo de qualquer consequência que uma descarga atmosférica possa causar a sua saúde.

4.2 - Objetivo específico

- Coletar informações técnicas sobre a área analisada e inspecionar visualmente o local;
- Realizar medições de resistência de aterramento, de continuidade do SPDA, levantar eventuais falhas ou inadequações nos sistemas de SPDA e aterramento;
- Elaborar análise técnica sobre os dados coletados, calcular o gerenciamento de risco e propor alterações ou melhorias, caso julgado necessário.

5 - REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 - DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

De acordo com o INPE (2020), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, as descargas atmosféricas são fenômenos naturais elétricos de grande extensão, podendo alcançar vários quilômetros, e de elevada intensidade, com picos de corrente superiores a um quilo ampere, ocorrem em decorrência do acúmulo de cargas elétricas em áreas específicas da atmosfera, geralmente em condições de tempestade.

O Brasil é um dos países mais atingidos por descargas atmosféricas no mundo, devido à sua localização geográfica, grande extensão territorial e clima tropical. De acordo o Grupo de Eletricidade Atmosférica (Elat) do Inpe, anualmente caem em todo o Brasil cerca de 50 a 70 milhões de raios e em média 100 pessoas morrem atingidas por um raio, por ano (INPE, 2020).

5.1.1 - FORMAÇÃO DA DESCARGA

O processo de descarga é iniciado quando o campo elétrico gerado pelo acúmulo de cargas excede a rigidez dielétrica do ar, isto é, a capacidade do ar de atuar como um isolante elétrico, em um ponto específico na atmosfera, que pode estar localizado dentro da nuvem ou próximo ao solo. A quebra dessa rigidez resulta em um movimento rápido de elétrons, deslocando-se de uma região carregada negativamente para outra carregada positivamente, causando um rompimento das barreiras do som (trovão) e o clarão. As descargas atmosféricas podem ser classificadas conforme o local onde se originam e o local onde terminam (INPE, 2020).

O ELAT que é um grupo de eletricidade atmosférica do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), projetou um estudo no qual mostra que o período de maior incidência de mortes causadas por raios é no verão e na primavera, esses que em forma de porcentagem, somam 76% de todas as mortes durante o ano, sendo 43% no verão e 33% na primavera, tendo como tempo de estudo o intervalo de tempo entre os anos de 2000 à 2019 (INPE, 2020).

No Tocantins, coincidentemente temos o período chuvoso combinando com o intervalo de tempo com maior número de mortes causadas por descargas atmosféricas no Brasil, tendo que esse espaço de tempo vai da última parte do mês de setembro, onde começa a primavera, até o segundo terço do mês de março, em que se encerra o verão. Desta forma é preciso mais precaução e atenção destinada a segurança contra raios na região e principalmente na capital, onde tem-se a maior densidade demográfica do estado (INPE, 2020).

5.1.2 - TIPOS DE DESCARGAS

Existem algumas tipificações dos tipos de descargas atmosféricas, nas quais são nomeadas como direta, indireta, estas podendo ser dividida em lateral e por contato, que por definição possuem diferenças que são baseadas na forma de que o raio atinge e se propaga em objetos, animais e pessoas que estejam próximas ao local da descarga (VISACO FILHO, 2005).

Na descarga atmosférica direta, temos o raio atingindo diretamente a estrutura, objeto, solo, animal ou até mesmo alguma árvore, neste caso temos a corrente atingindo um ponto específico, podendo causar danos severos ao local atingido (VISACO FILHO, 2005).

Quando é discutido sobre as descargas indiretas, tem-se por significado usual uma corrente que por indução eletromagnética é capaz de acarretar avarias. Nas subdivisões (lateral e por contato) as principais diferenças estão na forma que a corrente é propagada e quais os danos que são causados devido a esse elevado fluxo de energia (VISACO FILHO, 2005).

5.1.3 - TENSÕES DE TOQUE E DE PASSO

A tensão de toque é a diferença de potencial elétrico entre as mãos e os pés de uma pessoa que toca em uma estrutura energizada, como um poste atingido por um raio. Essa diferença pode causar um choque elétrico, sendo um fator crítico na proteção contra descargas atmosféricas, pois indica o risco de choques ao entrar em

contato com uma estrutura eletrificada (SOUZA; RODRIGUES; BORELLI; BARROS, 2020).

Por outro lado, a tensão de passo é a diferença de potencial entre dois pontos do solo, que são alcançados pelos pés de uma pessoa caminhando sobre a área onde uma descarga atmosférica dissipou sua energia. Esse potencial é gerado porque a corrente do raio se espalha pelo solo a partir do ponto de impacto. Assim como a tensão de toque, a tensão de passo pode causar um choque elétrico se a corrente resultante passar através do corpo humano (VISACO FILHO, 2005).

Ambas as tensões são consideradas ao projetar sistemas de aterramento e proteção contra descargas atmosféricas, uma vez que elas representam riscos significativos para a segurança das pessoas que estejam próximas ao ponto de impacto de um raio (SOUZA; RODRIGUES; BORELLI; BARROS, 2020).

5.1.4 - PARÂMETROS DA DESCARGA

Os parâmetros de uma descarga atmosférica, ou raio, incluem diversas características físicas e elétricas que determinam sua intensidade e efeitos. Entre os principais parâmetros está a corrente de pico, que representa a corrente máxima atingida durante a descarga, variando de alguns milhares a centenas de milhares de amperes. O tempo de subida, que é o intervalo necessário para a corrente alcançar o pico após o início da descarga, costuma variar de microssegundos a dezenas de microssegundos (MONTEIRO, 2016).

Outro aspecto importante é a duração total da descarga, que pode variar de dezenas de microssegundos a centenas de milissegundos, englobando tanto a fase inicial quanto a fase de retorno da corrente. Além disso, a carga transferida, que se refere à quantidade total de carga elétrica movimentada durante a descarga, é medida em coulombs e influencia diretamente na intensidade do fenômeno (SOUZA; RODRIGUES; BORELLI; BARROS, 2020).

A energia liberada durante o processo, resultante da corrente e da duração do raio, é responsável pelo aquecimento e pela luminosidade intensa observada. Outro

parâmetro a ser considerado é o número de descargas, uma vez que um único raio pode consistir em várias descargas ou pulsos subsequentes (MONTEIRO, 2016).

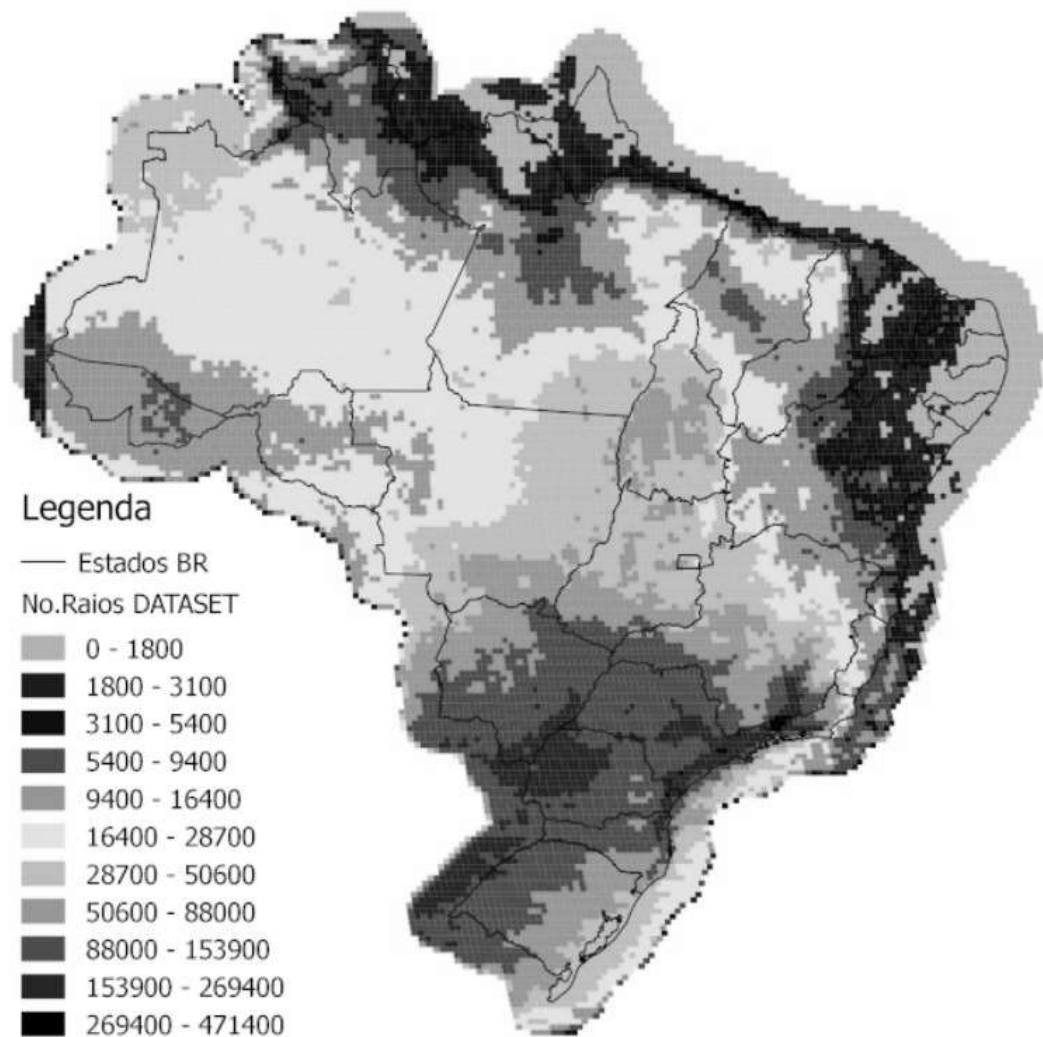
Por fim, a tensão elétrica, que é a diferença de potencial entre a nuvem e o solo ou entre diferentes partes da nuvem, pode alcançar centenas de milhões de volts, sendo um fator determinante para a ocorrência do raio. Esses parâmetros são essenciais para a compreensão do impacto das descargas atmosféricas e para o desenvolvimento de sistemas de proteção, como os SPDA (SOUZA; RODRIGUES; BORELLI; BARROS, 2020).

5.1.5 - INCIDÊNCIA DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Os raios, também conhecidos como descargas atmosféricas, são fenômenos naturais que acontecem com uma certa frequência em várias partes do Brasil, sendo mais comuns durante o período das chuvas. Esse fenômeno ocorre quando há uma diferença de carga elétrica entre as nuvens e a terra, resultando em uma descarga de energia intensa.

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a incidência de raios no país pode variar bastante dependendo da região, com algumas áreas sendo mais propensas a esses eventos do que outras. O INPE elaborou um mapa de densidade de descargas atmosféricas, que mostra claramente que as regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil são as que mais registram esse tipo de fenômeno. Esse padrão de maior ocorrência de raios nessas áreas reflete características climáticas e geográficas específicas, como o calor intenso, a alta umidade e as condições meteorológicas que favorecem a formação das tempestades que ocasionam os raios.

Figura 1 - Mapa de Descargas Atmosféricas do Biênio 2018/2019



Fonte: INPE/CGPDI.

A Figura 1 mostra o quanto o Tocantins é atingido por descargas atmosféricas, essas características são possíveis devido às suas condições climáticas, já que possui elevada temperatura e alta umidade do ar, que são ideais para a formação de tempestade. O calor intenso durante a estação chuvosa contribui para a instabilidade atmosférica, favorecendo o desenvolvimento de nuvens carregadas, que ocasionam os raios.

5.2 - SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

O Sistema de Proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), é um conjunto de dispositivos instalados em edificações com o objetivo de proteger as estruturas e seus ocupantes contra os efeitos de raios. O sistema inclui captadores, como por exemplo os da Figura 2, condutores de descida e sistemas de aterramento, tais elementos captam e conduzem a corrente do raio de forma segura até o solo, evitando danos estruturais e riscos de incêndio. O SPDA é essencial em áreas sujeitas a descargas atmosféricas frequentes, garantindo a segurança de pessoas e equipamentos (SOUZA; RODRIGUES; BORELLI; BARROS, 2020).

Figura 2 - Instalação SPDA



Fonte: Site Token Engenharia. Disponível em:

<<https://tokenengenharia.com.br/servicos/laudo-de-spda/>> Acesso em: 12 ago. 2024.

5.2.1- NORMAS E RESOLUÇÕES

5.2.1.1 - Diretrizes gerais da norma ABNT NBR 5419 : 2015 - PARTE 1

A Parte 1 da NBR 5419:2015 estabelece os princípios gerais para o projeto, a instalação e a manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas

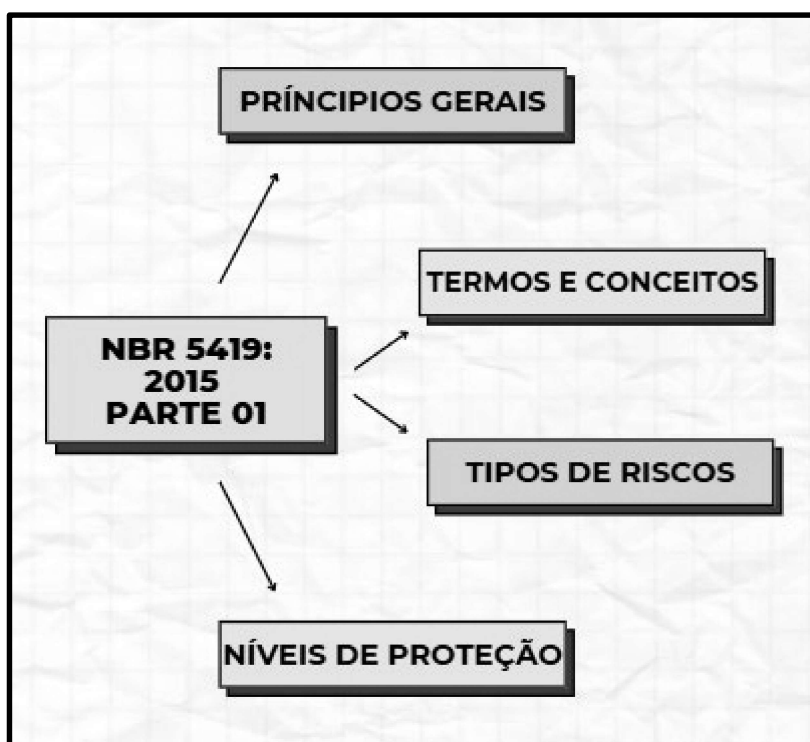
em estruturas e instalações, é aplicável a todos os tipos de estruturas, sejam elas residenciais, comerciais, industriais ou outras (ABNT, 2015).

A norma fornece definições detalhadas dos termos e conceitos usados no contexto da proteção contra raios, como “zona de proteção contra raios”, “descargas atmosféricas diretas”, “descargas atmosféricas indiretas” entre outros. Explica os diferentes tipos de descargas atmosféricas que podem ocorrer e como elas interagem com as estruturas (ABNT, 2015).

Define os tipos de riscos associados às descargas atmosféricas, incluindo danos físicos às estruturas, perigo para as pessoas e interrupções em sistemas elétricos e eletrônicos. A norma apresenta uma metodologia para avaliar o risco de danos causados por raios em uma estrutura, que deve ser considerada no projeto do SPDA (ABNT, 2015).

Descreve os diferentes níveis de proteção que podem ser aplicados, variando de acordo com o risco e a importância da estrutura a ser protegida. Possui orientações sobre os requisitos mínimos para que uma estrutura esteja protegida adequadamente contra descargas atmosféricas (ABNT, 2015).

Figura 3 - Fluxograma ABNT NBR 5419:2015 PARTE 01



Fonte: Autoria própria.

5.2.1.2 - Diretrizes gerais da norma ABNT NBR 5419 : 2015 - PARTE 2

A Parte 2 da NBR 5419:2015 estabelece os requisitos para a avaliação do risco de descargas atmosféricas em uma estrutura, além de fornecer métodos para reduzir esses riscos a níveis aceitáveis. Utilizada para determinar a necessidade de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) e para definir o nível de proteção necessário. A NBR 5419:2015-2 pode ser aplicada em diferentes tipos de estruturas, incluindo residenciais, industriais, áreas abertas e comerciais, afinal, orienta como adaptar as medidas de proteção com base nas características específicas da estrutura e do ambiente em que está localizada (ABNT, 2015).

A norma apresenta uma metodologia para a avaliação do risco, conhecida como “Gerenciamento de risco”, que inclui: a identificação das fontes de risco que podem afetar a estrutura, como descargas indiretas, diretas e possíveis impactos; avaliação quantitativa do risco para determinar a probabilidade de ocorrência de danos e as consequências associadas; estabelece limites de risco que são aceitáveis para a estrutura em questão, com base em parâmetros como perda de vidas humanas, danos econômicos e interrupção de serviços. Após a avaliação do risco é possível definir o nível de proteção que deve ser aplicado no local, variando desde uma proteção básica a uma proteção mais complexa, dependendo da estrutura e da exposição ao risco de raios (ABNT, 2015).

Outrossim, sugere diferentes medidas de proteção que podem ser aplicadas para mitigar os riscos identificados, como exemplo, a aplicação de um sistema para desviar as correntes de raios para a terra de forma segura (SPDA), instalação de dispositivos de proteção contra surtos (DPS) para proteção dos sistemas elétricos e eletrônicos, ou medidas estruturais que envolvem alterações na estrutura física para a instalação de gaiolas de Faraday ou uso de materiais condutivos (ABNT, 2015).

Por fim, em seu “Anexo E” de acordo com a norma traz estudos de caso relevantes a uma casa de campo, um edifício de escritórios, um hospital e um bloco de apartamentos com o objetivo de mostrar como calcular o risco e determinar a necessidade de proteção; a contribuição dos diferentes componentes de risco ao risco total; o efeito das diferentes medidas de proteção para diminuir os riscos; o método

de seleção por meio de diferentes soluções de proteção considerando a eficiência de custo (ABNT, 2015).

Figura 4 - Fluxograma ABNT NBR 5419 : 2015 PARTE 2



Fonte: Autoria própria.

5.2.1.3 - Diretrizes gerais da norma ABNT NBR 5419 : 2015 - PARTE 3

A Parte 3 da NBR 5419:2015 é destinada a fornecer diretrizes para a proteção de estruturas contra danos físicos e para a segurança das pessoas em caso de uma descarga atmosférica. A norma trata dos elementos práticos e técnicos que compõem o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), indicando todos os parâmetros dos componentes e métodos para execução. A norma estabelece a importância de realizar inspeções regulares no SPDA para garantir que ele continue funcionando corretamente ao longo do tempo (ABNT, 2015).

A norma apresenta os elementos que compõem os três subsistemas. O subsistema de captação são os componentes que recebem a descarga atmosférica, podem ser hastes metálicas, condutores de malha ou outros dispositivos. O

subsistema de descida são os condutores que transportam a corrente da descarga do captor para a terra. Por fim, o subsistema de aterramento é responsável por dispersar a corrente da descarga no solo de forma segura (ABNT, 2015).

A norma traz medidas de proteção contra danos físicos em estruturas, contra incêndios e explosões para o caso de locais que possuem materiais inflamáveis dentro ou nas proximidades, fornece diretrizes sobre a instalação de dispositivos para a proteção de sistemas elétricos e eletrônicos, descreve como realizar e ressalta a importância da equipotencialização para minimizar as diferenças de potencial dentro da estrutura conectando todas as partes metálicas principais a um potencial comum (ABNT, 2015).

Figura 5 - Fluxograma NBR 5419 : 2015 PARTE 3



Fonte: Autoria própria.

5.2.1.4 - Diretrizes gerais da norma ABNT NBR 5419 : 2015 - PARTE 4

A Parte 4 da NBR 5419:2015 define as medidas de proteção para reduzir as falhas em sistemas elétricos e eletrônicos internos das estruturas, evidenciando consequências e impactos. As consequências podem ser perda patrimonial, acidentes pessoais ou perda de vida, paralisação de atividades do local e prejuízos com paradas ou perdas financeiras (ABNT, 2015).

A norma define como deve ser o projeto de medidas de proteção contra surtos (MPS), recomendando a definição de zonas de proteção para dimensionar as MPS's adequadas levando em consideração os riscos existentes em cada zona, ou seja, a quantidade de pessoas, tempo de permanência e tipo de atividade desenvolvida (ABNT, 2015).

A norma define diferentes tipos de inspeções, incluindo inspeções visuais, medidas e verificações, que devem ser realizadas em intervalos regulares ou após eventos significativos, como uma descarga atmosférica direta. A frequência das inspeções depende de fatores como a idade do sistema, o ambiente em que a estrutura está localizada e o histórico de descargas atmosféricas na área, porém, normalmente as inspeções devem ser realizadas anualmente ou conforme especificado pelo projetista. Além disso, a norma exige que todos os procedimentos de inspeção, manutenção e ensaios sejam documentados detalhadamente. Esses registros são essenciais para monitorar o desempenho do SPDA ao longo do tempo e para garantir a conformidade com as normas, após a inspeção deve ser emitido um relatório que ateste a conformidade do sistema com os requisitos da norma (ABNT, 2015).

Figura 6 - Fluxograma ABNT NBR 5419 : 2015 PARTE 4



Fonte: Autoria própria.

5.2.2 - MÉTODOS DE SPDA

Os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) podem ser projetados de diferentes maneiras, dependendo das características da edificação e da segurança que se deseja alcançar. Três métodos principais são utilizados: o método Franklin, a gaiola de Faraday, e o método de esfera rolante. Cada um deles tem suas particularidades e é escolhido com base no tipo de construção e na necessidade de proteção (ABNT, 2015).

O método Franklin, também conhecido como método de pontas ou para-raios, é talvez o mais conhecido. Nele, hastes metálicas pontiagudas são instaladas nas partes mais altas de uma edificação, como no topo de prédios ou torres. Essas hastes, chamadas de captore, funcionam como "iscas" para atrair os raios, direcionando a descarga elétrica para o solo de forma controlada e segura. Isso ajuda a proteger a estrutura do impacto direto de um raio (ABNT, 2015).

Já o método da gaiola de Faraday é ideal para construções maiores e mais complexas. Nesse método, uma rede de cabos metálicos é instalada em torno da edificação, criando uma espécie de "gaiola" que distribui a energia de um raio por toda

a estrutura. Essa energia é então direcionada ao solo, espalhando a carga elétrica de maneira uniforme. Esse método é bastante eficaz para proteger grandes edifícios, como indústrias ou torres, pois cobre uma área extensa de forma eficiente (ABNT, 2015).

Por fim, o método de esfera rolante é um pouco mais técnico e é usado para edificações com formas mais irregulares, como telhados inclinados ou construções com diferentes alturas. Nesse método, imagina-se uma esfera de determinado raio "rolando" sobre a superfície do prédio. Se a esfera tocar em algum ponto da edificação, esse ponto é considerado vulnerável e, portanto, precisa de proteção. Esse método ajuda a identificar pontos que podem não ser cobertos por outros sistemas de proteção, garantindo uma cobertura mais completa (ABNT, 2015).

Os SPDA's precisam escoar toda a corrente advinda da descarga atmosférica e canalizar isso de alguma forma para o solo da maneira mais segura e eficaz possível, para isso servem as descidas e essas são distintas com relação a forma que é implementada, sendo elas externas ou internas (ABNT, 2015).

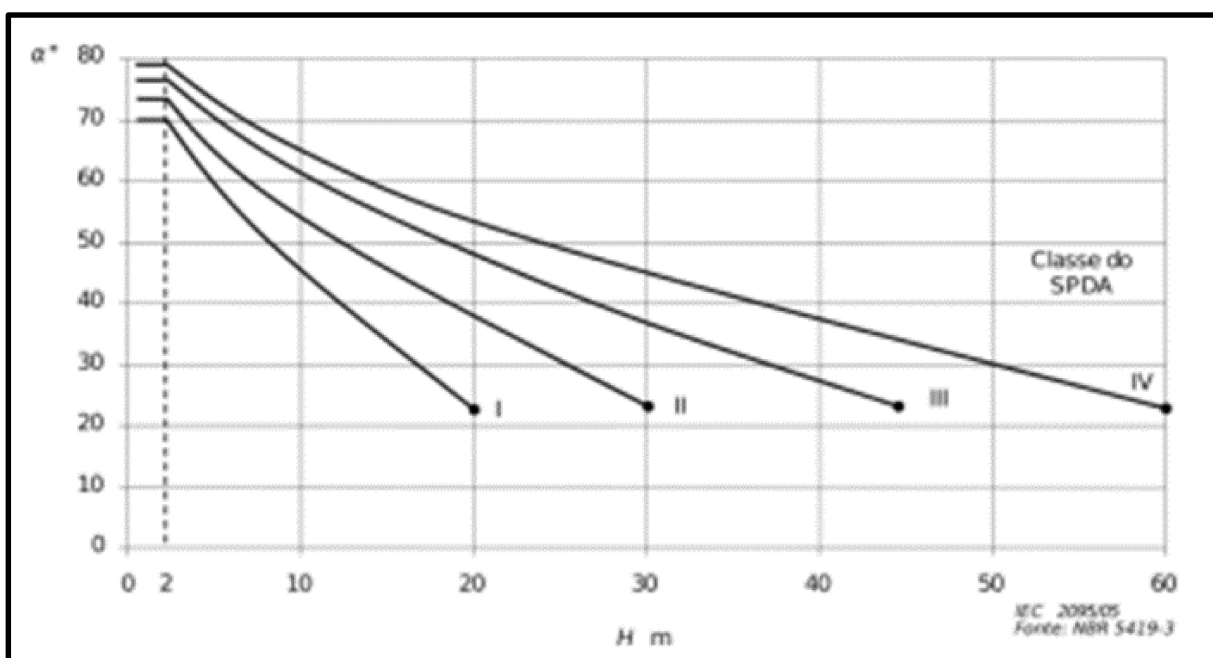
A descida externa é o método mais comum e simples. Aqui, cabos condutores são instalados na parte externa da edificação, geralmente ao longo das fachadas. Esses cabos, feitos de cobre ou alumínio, são visíveis, porém devem estar isolados para que não ocorra contato com pessoas e estrutura possibilitando uma fuga de corrente, e são responsáveis por conduzir a corrente elétrica do para-raios até o solo. Esse tipo de instalação é prático e fácil de manter, mas precisa ser projetado para não prejudicar a aparência do prédio e manter uma distância segura de áreas onde as pessoas circulam (ABNT, 2015).

Quando a aparência da fachada é uma prioridade ou há necessidade de maior proteção contra vandalismo, a descida interna pode ser uma boa opção. Nesse caso, os cabos condutores são instalados dentro das paredes ou passam por conduítes internos. Embora esse método preserve a estética externa, ele requer cuidados extras durante a instalação para evitar interferências nos sistemas elétricos internos e garantir que tudo esteja bem isolado e seguro (ABNT, 2015).

5.2.2.1 - Método do ângulo de proteção (Franklin)

O método do ângulo de proteção é adequado para edificações de formato simples, mas está sujeito aos limites de altura dos captores indicados na Figura 7. Este método tem como característica a instalação de um mastro acima da estrutura a ser protegida. A posição do subsistema de captação é considerada adequada se a estrutura a ser protegida estiver situada totalmente dentro do volume de proteção provido pelo subsistema de captação. Para definir o ângulo de proteção é necessário analisar o gráfico de curvas da ABNT NBR 5419:2015-3 representado na Figura 7 abaixo (ABNT, 2015).

Figura 7 - Ângulo de proteção correspondente a classe de SPDA



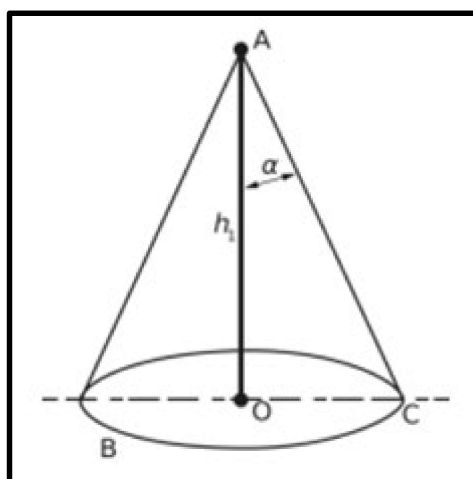
Fonte: ABNT NBR 5419:2015 Parte 3.

A norma define que para valores de H (m) acima dos valores finais de cada curva (classe I a IV) são aplicáveis apenas os métodos da esfera rolante e das malhas; H é a altura do captor acima do plano de referência da área a ser protegida; e o ângulo não será alterado para valores de H abaixo de 2m (ABNT, 2015).

A posição do subsistema de captação é considerada adequada se a estrutura a ser protegida estiver situada totalmente dentro do volume de proteção provido pelo subsistema de captação. O volume de proteção provido por um mastro é definido pela

forma de um cone circular cujo vértice está posicionado no eixo do mastro, o ângulo α , dependendo da classe do SPDA, e a altura do mastro como consta na Figura 7. Conforme exemplificado na Figura 8, onde “A” representa o topo do captor; “B” o plano de referência; “OC” o raio base do cone de proteção; “h1” a altura de um mastro acima do plano B; e “ α ” o ângulo de proteção (ABNT, 2015).

Figura 8 - Cone de proteção promovido por um mastro



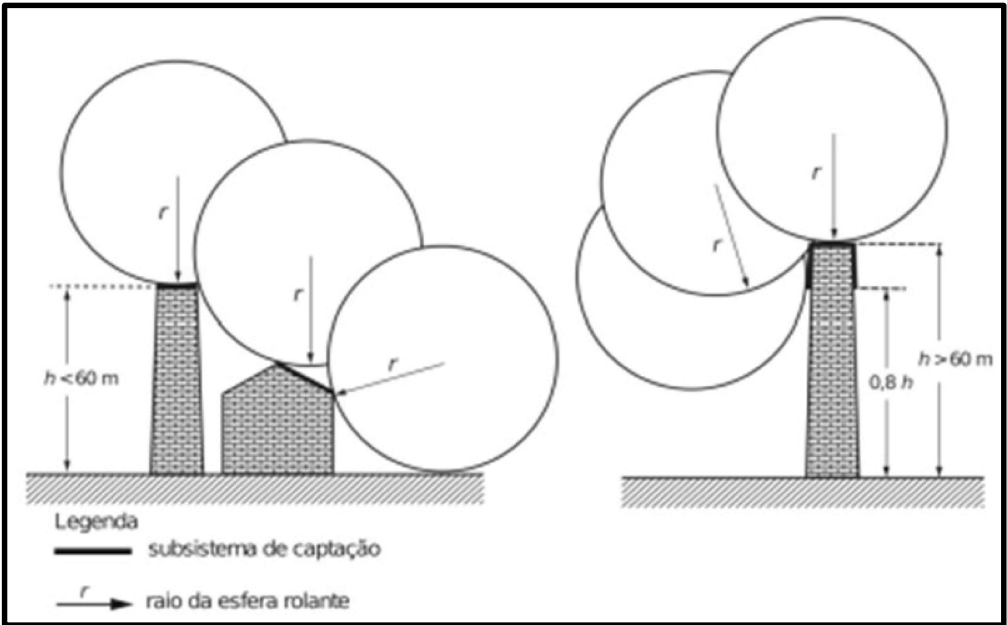
Fonte: ABNT 5419 - 3 : 2015 ABNT NBR 5419:2015 Parte 3.

5.2.2.2 - Método da Esfera Rolante (Modelo Eletro geométrico)

O adequado posicionamento do subsistema de captação na aplicação deste método ocorre se nenhum ponto da estrutura a ser protegida entrar em contato com uma esfera fictícia rolando ao redor e no topo da estrutura em todas as direções possíveis. Esta esfera tem em seu raio (r) uma projeção estimada da distância entre o ponto de partida do líder ascendente (raio - terra-nuvem) e a extremidade do líder descendente (nuvem - terra) que forma a descarga atmosférica (ABNT, 2015).

Os locais onde a esfera tangencia a estrutura são de maior probabilidade para o impacto direto dos raios. Para protegê-la é necessário realizar a instalação de captadores de tal modo que eles apoiem a esfera rolante sem permitir que sua tangente toque na estrutura a ser protegida, ou, no mínimo, que a esfera toque em um elemento do SPDA posicionado naquele ponto da estrutura. Conforme exemplificado na Figura 9 (ABNT, 2015).

Figura 9 - Posicionamento do subsistema de captação conforme método da esfera rolante



Fonte: ABNT NBR 5419:2015 Parte 3.

O raio, r , dessa esfera depende da classe do SPDA, conforme apresentado na tabela 2 da NBR 5419:2015 - 3, ilustrada na Tabela 1 apresentada a seguir (ABNT, 2015).

Tabela 1 - Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA

Classe do SPDA	Método de proteção		
	Raio da esfera rolante - R m	Máximo afastamento dos condutores da malha m	Ângulo de proteção
I	20	5 x 5	Ver Figura 9
II	30	10 x 10	
III	45	15 x 15	
IV	60	20 x 20	

Fonte: Tabela 2 - ABNT NBR 5419:2015 Parte 3.

5.2.2.3 - Método das Malhas (Gaiola de Faraday)

O método das malhas é composto por módulos fechados de condutores elétricos (conectados de forma a criar múltiplos nós e a dividir a corrente elétrica da descarga atmosférica) dispostos no plano horizontal ou levemente inclinados sobre o volume a proteger. As dimensões máximas dos módulos das malhas são determinadas pela ABNT NBR 5419:2015 - 3, conforme apresentado na Tabela 1, o método das malhas tem maior aplicação em edificações de grandes dimensões de largura e comprimento (ABNT, 2015).

A denominada "gaiola de Faraday" é formada quando, construtivamente, a malha de captação for interligada a outras redes de condutores envolvendo todos os lados do volume a proteger e todo este conjunto se encontre aterrado (ABNT, 2015).

Neste método é comum, mas não obrigatória, a utilização de mini captadores conectados aos condutores horizontais. Uma vez que o conceito de proteção reside na malha captora, os minis captadores tornam-se apenas pontos preferenciais de impacto do raio, o que facilita a manutenção do SPDA. Isso é útil porque é mais fácil e barato substituir apenas o mini captador danificado pelo impacto de uma descarga atmosférica do que trocar total ou boa parte dos condutores horizontais que venham a ser rompidos pelo raio (ABNT, 2015).

5.3 - ATERRAMENTO ELÉTRICO

Aterramento é o processo de conectar uma parte do sistema elétrico, como carcaças metálicas de equipamentos e estruturas, diretamente ao solo por meio de condutores específicos, que em sua imensa maioria são constituídos de cobre ou até mesmo por bimetálicos aço-cobre. Essa conexão permite que correntes indesejadas, como aquelas causadas por falhas elétricas ou descargas atmosféricas, sejam dissipadas de forma segura no terreno em que a instalação esteja. O objetivo principal do aterramento é proteger pessoas e equipamentos, garantindo que, em caso de falha, a corrente seja direcionada para a terra, reduzindo o risco de choques elétricos e danos aos dispositivos (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

A Figura 10 demonstra uma haste de aterramento conectada a uma cordoalha, ambas de cobre, para que a condutibilidade do sistema de aterramento seja mais eficaz e a resistência do mesmo seja a menor possível.

Figura 10 - Haste de aterramento



Fonte: Site Fusion Tecnologia. Disponível em:

<<https://www.fusientechnologia.com.br/aterramento-eletrico>> Acesso em: 12 ago. 2024.

5.3.1 - RESISTIVIDADE DO SOLO

A resistividade do solo é uma medida de como o solo resiste à passagem de corrente elétrica, expressa em ohm-metros ($\Omega \cdot m$). Essa propriedade é essencial para várias aplicações, incluindo sistemas de aterramento elétrico, exploração geofísica e construção civil. Em sistemas de aterramento, uma baixa resistividade é desejável para permitir a dissipação eficiente da corrente elétrica, enquanto na geofísica, a resistividade ajuda a identificar características do subsolo, como minerais e água subterrânea (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

A resistividade do solo é influenciada por fatores como composição, umidade, temperatura e presença de sais. Solos argilosos e úmidos tendem a ter menor resistividade devido à maior condutividade da água e íons presentes, enquanto solos arenosos e secos apresentam maior resistividade. A temperatura também afeta a resistividade, com valores aumentando em temperaturas mais baixas. A composição química, incluindo a quantidade de sais, pode alterar a resistividade ao afetar a condutividade elétrica do solo (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

A medição da resistividade do solo é comumente realizada pelo método de quatro eletrodos, onde dois eletrodos injetam corrente elétrica e dois medem a tensão resultante. Esse método fornece dados cruciais para o design de sistemas de aterramento, avaliação de condições do solo para construção e prospecção de recursos naturais. Compreender a resistividade do solo permite uma melhor gestão e planejamento em diversos campos, garantindo a segurança e eficácia de projetos e sistemas (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

5.3.2 - NORMAS E RESOLUÇÕES PARA ATERRAMENTOS

5.3.2.1 - Diretrizes gerais da norma ABNT NBR 15749 : 2009

O aterramento desempenha um papel fundamental no funcionamento do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) conforme definido pela NBR 15749:2009. Ele é responsável por dissipar a corrente elétrica do raio no solo de maneira segura e eficiente, minimizando os riscos de danos à estrutura e à segurança das pessoas. Após a interceptação do raio pelos captadores e a condução da corrente pelos condutores de descida, o aterramento dispersa essa energia no solo, sendo o ponto final de todo o sistema de proteção (ABNT, 2009).

A norma define que o sistema de aterramento deve ser dimensionado de acordo com a resistividade do solo e a intensidade da corrente esperada. A resistividade do solo é um fator determinante, pois solos com alta resistividade dificultam a dispersão da corrente, exigindo um dimensionamento adequado do sistema para garantir sua eficiência. Em muitos casos, pode ser necessário utilizar técnicas complementares, como a adição de substâncias químicas ao solo ou o uso

de hastes de aterramento mais profundas, para reduzir a resistividade e melhorar o desempenho do sistema (ABNT, 2009).

Além disso, a configuração do sistema de aterramento é outro aspecto crucial abordado pela norma. Existem diferentes tipos de sistemas, como o aterramento em malha, hastes verticais ou uma combinação de ambos. A NBR 15749:2009 recomenda o uso de malhas de aterramento interligadas para proporcionar uma distribuição mais uniforme da corrente elétrica no solo, minimizando a formação de tensões de passo e de toque perigosas. Esses riscos podem ocorrer quando a corrente elétrica se concentra em áreas específicas, resultando em potenciais perigosos para pessoas próximas (ABNT, 2009).

Outro ponto abordado pela norma é a necessidade de garantir a equipotencialização do sistema de aterramento. Isso significa que todas as partes metálicas da edificação que possam ser tocadas devem ser conectadas ao sistema de aterramento, garantindo que não haja diferenças de potencial entre elas durante uma descarga atmosférica. Esse processo é essencial para evitar que correntes de fuga causem choques elétricos a pessoas ou danifiquem equipamentos sensíveis. A equipotencialização é realizada por meio de condutores que interligam as partes metálicas da estrutura ao aterramento (ABNT, 2009).

Figura 11 - Fluxograma da ABNT NBR 15749 : 2009



Fonte: Autoria própria.

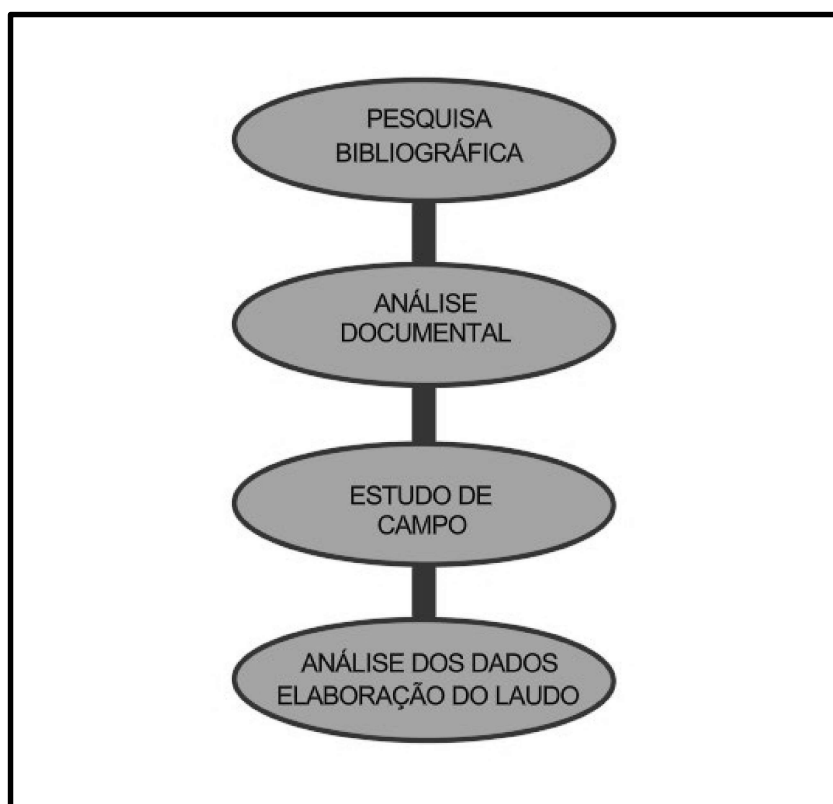
Por fim, a NBR 15749:2009 destaca a importância da inspeção e manutenção periódica do sistema de aterramento. Ao longo do tempo, o sistema pode sofrer deterioração devido a fatores ambientais, como corrosão dos componentes metálicos, ou alterações nas condições do solo, como secas prolongadas, que podem aumentar a resistividade. Por isso, a norma recomenda inspeções regulares, especialmente após a ocorrência de descargas atmosféricas, para verificar se o sistema está funcionando corretamente. Caso sejam identificados problemas, como o aumento da resistência de aterramento além dos valores recomendados, medidas corretivas devem ser tomadas imediatamente (ABNT, 2009).

6 - METODOLOGIA

Este trabalho teve como objetivo a elaboração de um laudo técnico referente ao SPDA e ao sistema de aterramento da biblioteca João Paulo II do IFTO Campus Palmas, visando assegurar que as normas técnicas vigentes sejam atendidas e que as medidas de proteção sejam eficazes. Para tanto, foi realizado um estudo detalhado das instalações, considerando as especificidades da edificação e os requisitos normativos, como a NBR 5419:2015, que regula a proteção contra descargas atmosféricas.

A abordagem metodológica que foi adotada combina pesquisa bibliográfica, análise documental e estudo de campo para avaliar o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e o sistema de aterramento da Biblioteca João Paulo II do IFTO Campus Palmas. A metodologia findou dividida em quatro etapas principais nas quais estão representadas na Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma de metodologia



Fonte: Autoria própria.

- 6.1. **Pesquisa Bibliográfica:** Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica abrangente para fundamentar o estudo, com foco nas normas técnicas relevantes, como a NBR 5419 : 2015 (Proteção contra Descargas Atmosféricas) e a NBR 15749 : 2009 (Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento), bem como em outras referências teóricas que tratam de sistemas de proteção elétrica e aterramento. Essa revisão bibliográfica fornecerá o embasamento necessário para a análise dos sistemas existentes na área.
- 6.2. **Análise Documental:** Em seguida, foi feita uma análise dos documentos técnicos disponíveis relacionados ao projeto, instalação e manutenção dos sistemas de SPDA e aterramento da biblioteca. Isso inclui plantas elétricas, relatórios de manutenção, laudos anteriores, e outros documentos pertinentes que possam fornecer informações sobre a conformidade e o estado atual dos sistemas.
- 6.3. **Estudo de Campo:** Na terceira etapa, desenvolveu-se um estudo de campo para inspecionar in loco o SPDA e o sistema de aterramento da Biblioteca João Paulo II. A inspeção incluiu a verificação visual dos componentes do SPDA (como captores, condutores de descida, análise das conexões e interligações e sistema de aterramento) e a medição de resistências de aterramento e continuidade do SPDA. Equipamentos apropriados, como terrômetro e miliohmímetro, serão utilizados para coletar dados precisos e confiáveis.
- 6.4. **Análise dos Dados e Elaboração do Laudo:** Após a coleta de dados, o trabalho culminou na realização de uma análise comparativa entre os resultados obtidos e as exigências das normas técnicas. Esta análise permitirá identificar deficiências ou inconformidades nos sistemas avaliados. Com base nos resultados, serão propostas recomendações para correções ou melhorias. Por fim, será elaborado um laudo técnico detalhado que documentará todo o processo de avaliação, os resultados obtidos, as análises realizadas e as recomendações finais. Caso necessário, o laudo poderá ser revisado por especialistas na área de proteção contra descargas atmosféricas e aterramento, para garantir a precisão e a relevância das recomendações.

7 - RESULTADOS

O presente tópico tem como finalidade documentar a análise do Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas - SPDA e sistema da malha de aterramento que se encontra na área da Biblioteca João Paulo II, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO, localizada no campus Palmas, com objetivo de verificar as condições da integridade física dos materiais da parte externa e validar sua conformidade com a Norma Técnica em vigor ABNT NBR 5419:2015, partes 1, 2 e 3.

As inspeções e levantamentos de informações foram efetuadas na seguinte ordem:

- a - Análise das informações fornecidas;
- b - Avaliação geral do sistema de proteção contra descargas atmosféricas;
- c - Medição de continuidade;
- d - Medição da resistência do aterramento.

7.1 - Equipamentos utilizados

Para realização das medições foram utilizados os seguintes equipamentos fornecidos pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO, Campus Palmas.

Tabela 2 - Equipamentos utilizados

EQUIPAMENTO	MODELO	FABRICANTE	NS
MILIOHMIMETRO DIGITAL	HMMD - 1	HIGHMED	0122817E711
TERRÔMETRO DIGITAL	MTD20KWe	MEGABRAS	OE 6124 L

Fonte: Autoria própria.

7.2 - Características do local

A zona de estudo é a Biblioteca João Paulo II, localizada no campus Palmas do IFTO, contemplando a área de proteção. O edifício possui aproximadamente 35 metros de comprimento e 46 metros de largura, com uma altura aproximada de 9 metros.

Figura 13 - Biblioteca João Paulo II



Fonte: Portal IFTO. Disponível em: <<https://portal.ifto.edu.br/palmas/campus-palmas/ensino/biblioteca>> Acesso em: 12 dez. 2024.

A área é utilizada por toda a comunidade acadêmica e visitantes devido seu acervo que reúne aproximadamente 40 mil volumes, além de periódicos, multimídias, normas técnicas e etc .

7.3 - Gerenciamento de risco

Após levantar informações sobre o local de estudo, foi realizado o gerenciamento de risco para embasamento de possíveis apontamentos.

De acordo com a NBR 5419:2015 é possível relacionar os 4 níveis de proteção com os diferentes tipos de estruturas apresentados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Níveis de proteção

NÍVEIS DE PROTEÇÃO DE EDIFICAÇÕES	
TIPOS DE EDIFICAÇÃO	NÍVEL DE PROTEÇÃO
Destinado às estruturas nas quais uma falha do sistema de proteção pode causar danos às estruturas vizinhas ou ao meio ambiente. Ex: depósito de explosivos, indústrias químicas, estações de telecomunicações, usinas elétricas, etc.	I
Destinados às estruturas cujos danos em caso de falha serão elevados ou haverá destruição de bens insubstituíveis e/ou de valor histórico, mas em qualquer caso se restringirão à estrutura e seu conteúdo. Ex: escolas, museus, estádio de futebol, casas de repouso, hospitais, bancos, etc.	II
Destinada às estruturas de uso comum. Ex: edifícios residenciais, escritórios, fazendas com estruturas de madeira, estabelecimentos agropecuários, etc.	III
Destinadas às estruturas construídas de material não inflamável, com pouco acesso de pessoas, e com conteúdo não inflamável. Ex: depósitos de concreto e com conteúdo não inflamável.	IV

Fonte: Autoria própria.

Devido a estrutura se enquadrar no nível de proteção II, o gerenciamento de risco foi realizado com base na classe adotada. Através do cálculo realizado no software foi determinado que para a edificação estar devidamente protegida e com o sistema dimensionado é necessário ter 21 pontos de subsistema descida.

“- Cálculo do Número de descidas [N]

Area = 1610 m².

Altura = 9 m.

Perímetro = 162 m.

Cantos Salientes da Estrutura = 4

Nível de Proteção II: Espaçamento médio = 10m

$N = \text{Perímetro} / 10 \text{ m} + (\text{número de cantos salientes})$ [N = 21] para Nível de Proteção: II

$N = \text{Altura} / 10 \text{ m} + (\text{número de cantos salientes})$ | $N = 9 / 10 + 4$ | N = 5

$N \geq 2$ (Para descidas não naturais)

$N = 21$ descidas.”

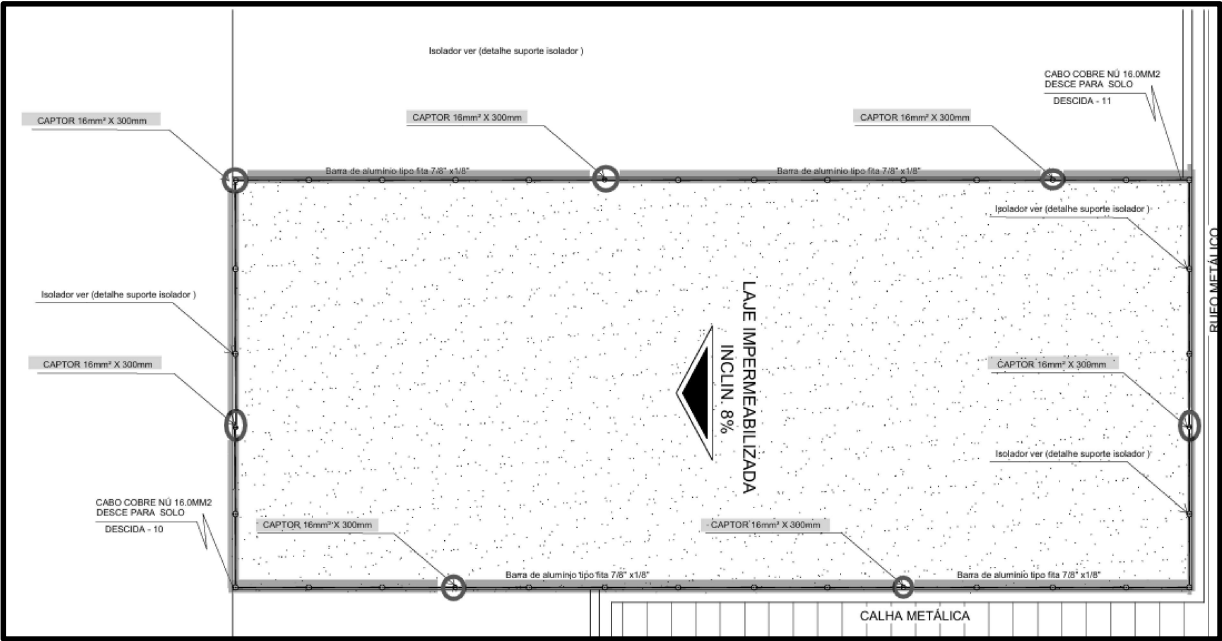
7.4 - Avaliação geral do sistema de proteção contra descargas atmosféricas

De maneira geral o Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas encontra-se irregular de acordo com a normativa vigente NBR 5419/2015. Além de apresentar divergências entre o projeto e o executado.

7.4.1 - Subsistema de captação

Para o subsistema de captação o projeto solicitou que fossem dispostos no telhado com laje impermeabilizada 7 mini captadores com dimensões 16mm² x 300mm, onde visivelmente o mesmo não possui 300mm, além disso o projeto solicita uma malha de captação feita com barra de alumínio tipo fita 7/8" x 1/8" e suportes isoladores para que a mesma não fique em contato com o telhado, tal solicitação não foi localizada em campo para que fosse feita a análise de sua integridade. As Figuras 14 a 17 retratam o exposto.

Figura 14 - Projeto do subsistema de captação referente ao telhado com laje impermeabilizada



Fonte: Autocad - Prancha 2/2 Projeto SPDA.

Figura 15 - Registro fotográfico do telhado com laje impermeabilizada



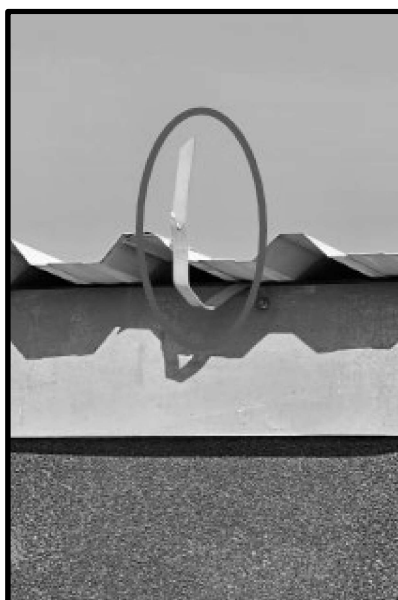
Fonte: Autoria própria.

Figura 16 - Registro fotográfico do telhado com laje impermeabilizada



Fonte: Autoria própria.

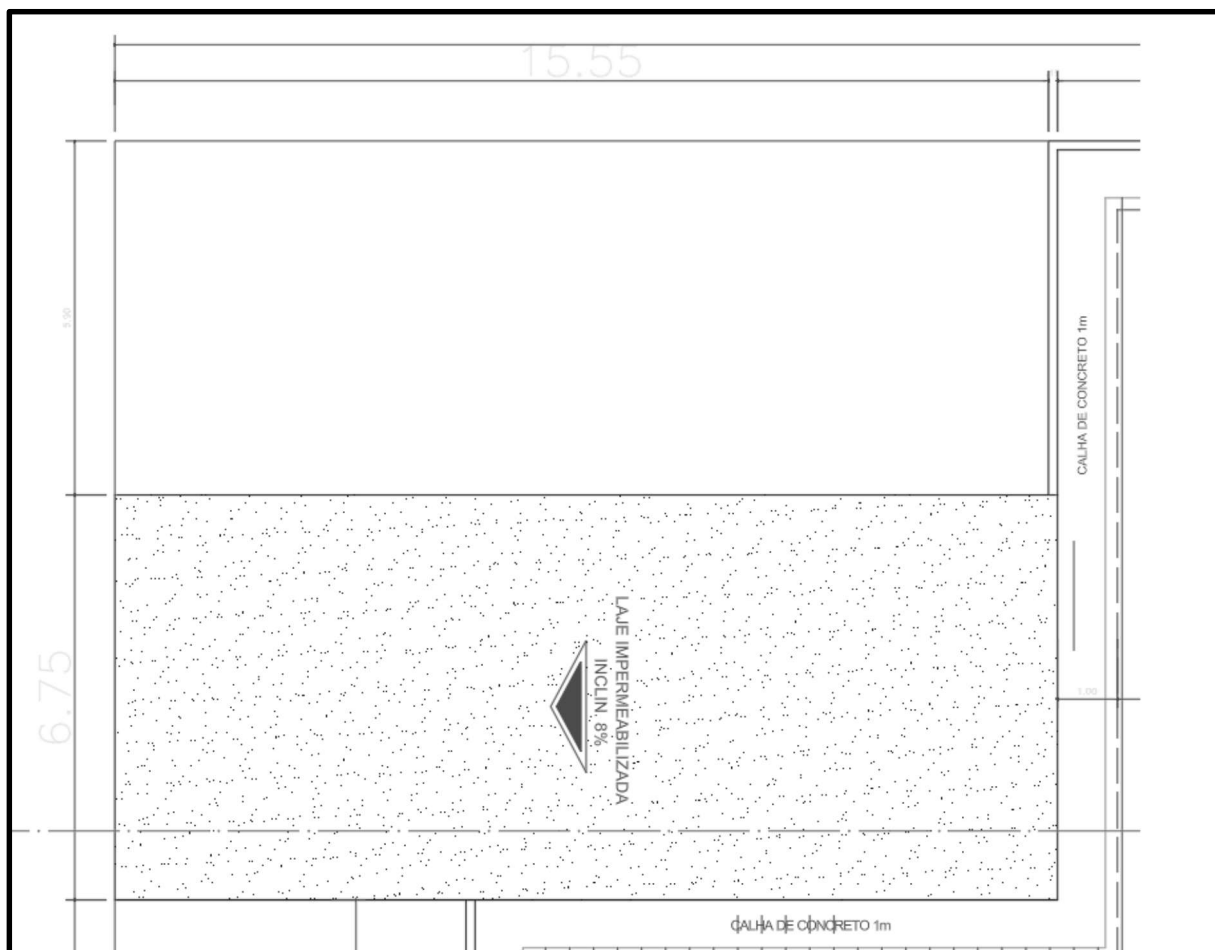
Figura 17 - Registro fotográfico do minicaptor



Fonte: Autoria própria.

Ademais, devido o nível de proteção da edificação ser Classe II, e a norma solicita afastamento máximo dos condutores da malha de 10x10 m conforme apresentado na Tabela 1, seria necessário que houvesse 2 quadrantes na malha de captação, pois as dimensões da área são 15,55m x 6,75m, dados encontrados no projeto arquitetônico da biblioteca João Paulo II referenciado na Figura 18 abaixo.

Figura 18 - Projeto arquitetônico referente ao telhado com laje impermeabilizada



Fonte: Autocad - Planta de cobertura Projeto Arquitetônico.

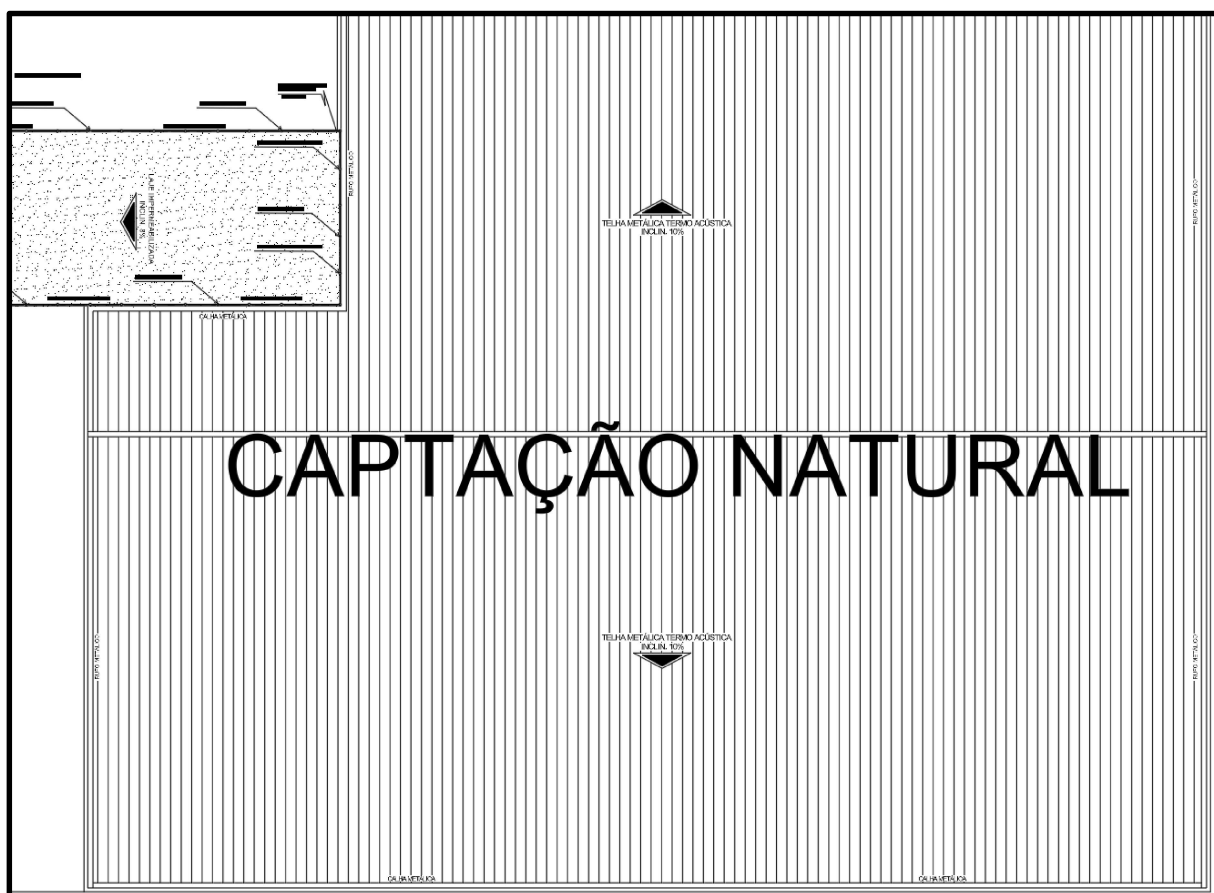
No telhado onde possui telha termoacústica está especificado no projeto de SPDA captação natural, Figura 19, e para que a telha seja usada para captação natural é necessário atender a espessura mínima exigida pela norma NBR 5419:2015 parte 3, conforme exposto na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistemas de captação

Classe do SPDA	Material	Espessura ^a t mm	Espessura ^b t' mm
I a IV	Chumbo	-	2
	Aço (inoxidável, galvanizado a quente)	4	0,5
	Titânio	4	0,5
	Cobre	5	0,5
	Alumínio	7	0,65
	Zinco	-	0,7
a t previne perfuração, pontos quentes ou ignição. b t' somente para chapas metálicas, se não for importante prevenir a perfuração, pontos quentes ou problemas com ignição.			

Fonte: Tabela 3 - ABNT NBR 5419:2015 Parte 3.

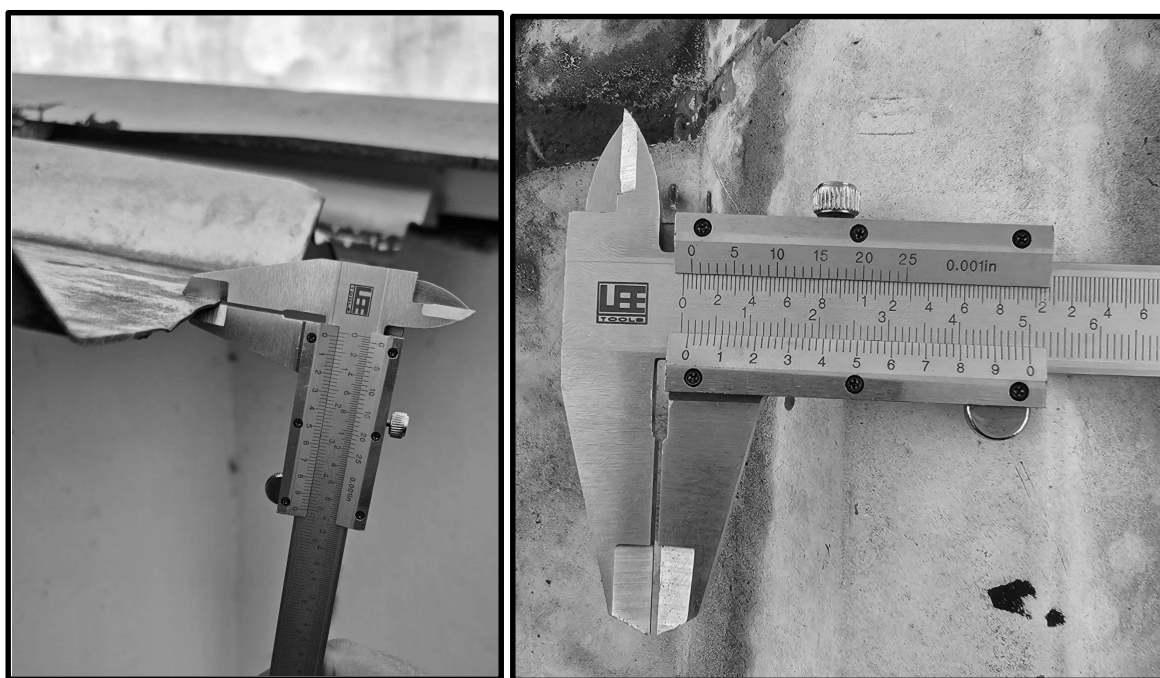
Figura 19 - Projeto do subsistema de captação natural referente ao telhado com telha metálica



Fonte: Autocad - Prancha 2/2 Projeto SPDA.

Com base nos dados da Tabela 4 foi possível identificar que o telhado da biblioteca que está sendo utilizado como captação natural está dentro dos parâmetros solicitados, o material da telha é zinco e conforme medição realizada com paquímetro foi constatado que a mesma possui 1mm de espessura, as Figuras 20 e 21 mostram o resultado da medição.

Figura 20 e 21 - Medição da espessura da telha metálica de zinco realizada com paquímetro



Fonte: Autoria própria.

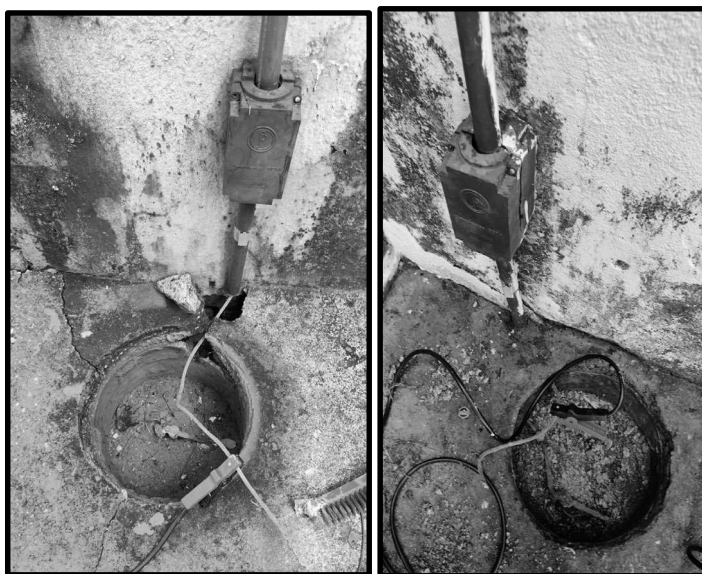
Vale ressaltar que, conforme exposto na Tabela 4, o material da telha e espessura não previnem perfuração, pontos quentes ou problemas com ignição caso a estrutura seja atingida por uma descarga atmosférica. A norma salienta que a continuidade elétrica entre as diversas partes de chapas metálicas deve ser feita de forma duradoura, por exemplo, com soldas resistentes, caldeamento, frisamento ou conectado com parafuso e porca.

7.4.2 - Subsistema de descidas

Para o subsistema de descida o projeto solicitou que fossem executadas 11 descidas, as quais só foram possíveis identificar 2 descidas localizadas na área do

telhado com laje impermeabilizada. Ao realizar a medição de continuidade entre esses dois pontos, desconectados da malha de aterramento, o miliohmímetro indicou o resultado 1, conforme ilustrado na Figura 24, o que significa que não há continuidade, dessa forma é possível concluir que os minicaptadores se encontram desconectados impossibilitando que a corrente proveniente de descargas atmosféricas seja dissipada igualmente entre os condutores de descida.

Figura 22 e 23 - Descidas desconectadas da malha de aterramento e conectadas aos terminais do miliohmímetro



Fonte: Autoria própria.

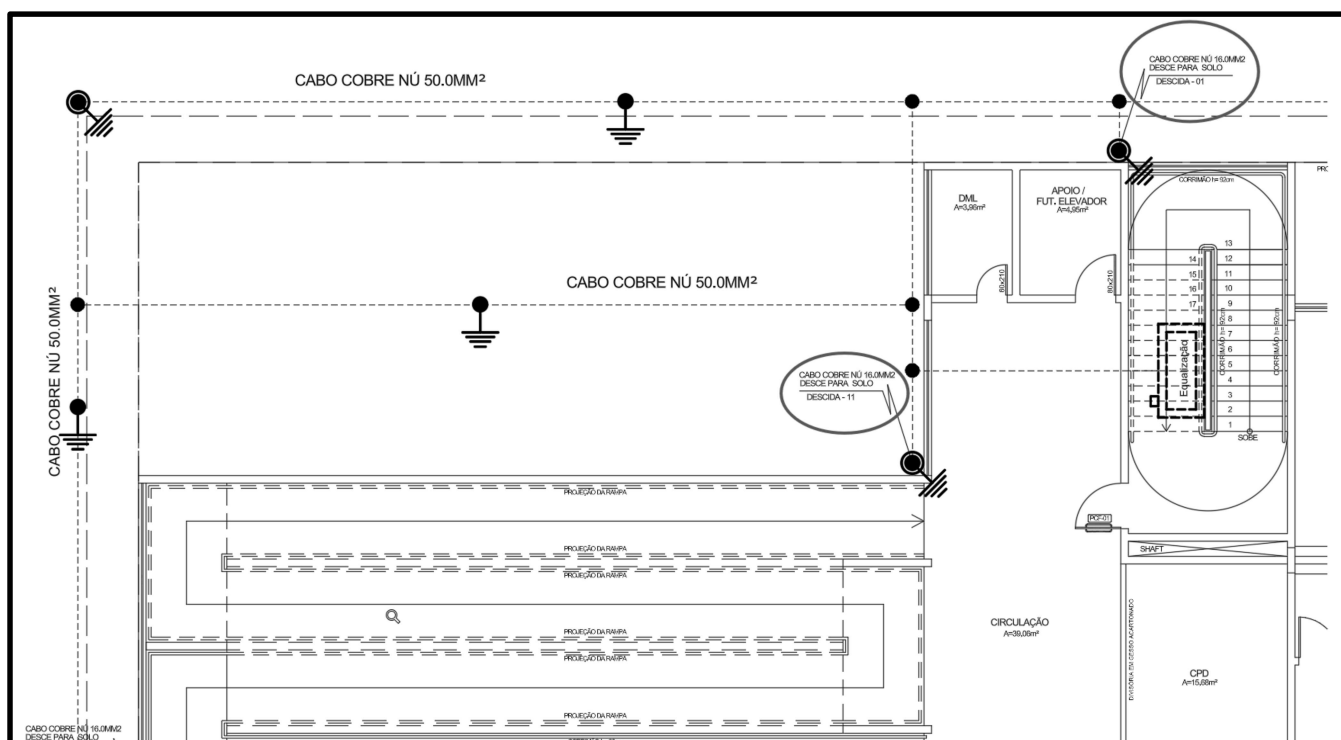
Figura 24 - Resultado da medição



Fonte: Autoria própria.

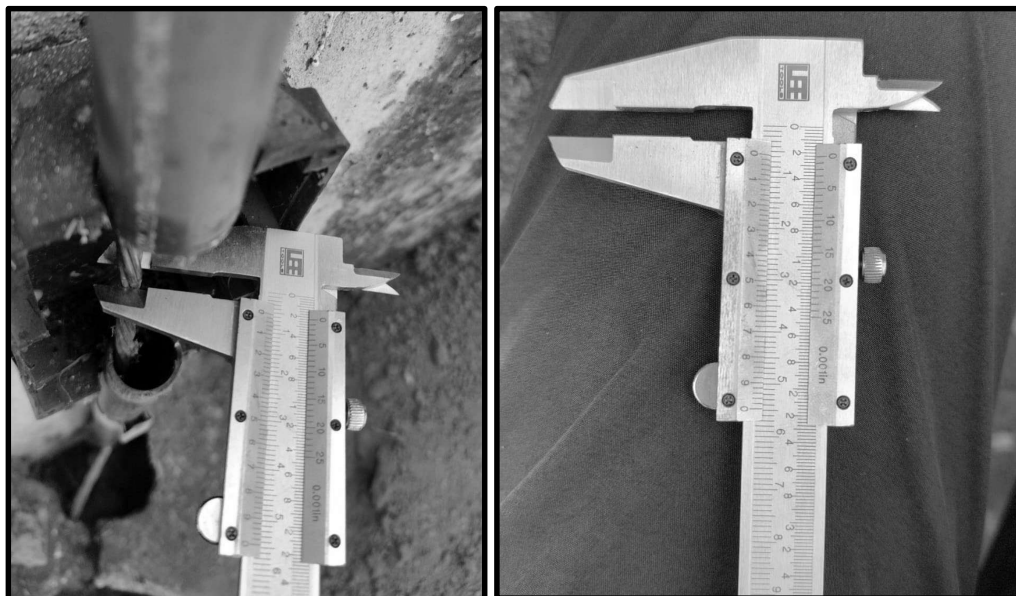
Vale salientar que as descidas que interligam o subsistema de captação ao subsistema de aterramento são compostas de cabo de cobre nu 16mm², conforme projeto e medição para comprovar qual o diâmetro da cordoalha utilizada, realizada através de paquímetro, retratados nas Figuras 25 a 27. De acordo com a parte 3 da normativa vigente o condutor de descida deverá ter área mínima de 35mm² e possuir 7 fios, portanto o subsistema de descida está em desconformidade com a norma, sendo necessário que seja feita a substituição do mesmo.

Figura 25 - Projeto do subsistema de descida



Fonte: Autocad - Prancha 1/2 Projeto SPDA.

Figura 26 e 27 - Cordoalha de descida



Fonte: Autoria própria.

Tabela 5 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas

Material	Configuração	Área da seção mínima	Comentários
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75 mm
	Arrendodado maciço	35	Diâmetro 6 mm
	Encordado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
	Arrendodado maciço	200	Diâmetro 16 mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura 3 mm
	Arrendodado maciço	70	Diâmetro 9,5 mm
	Encordado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm
	Arrendodado maciço	200	Diâmetro 16 mm
Aço cobreado IACS 30%	Arrendodado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm
Alumínio cobreado IACS 64%	Arrendodado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	70	Diâmetro de cada fio cordoalha 3,6 mm
Aço galvanizado e quente	Fita maciça	50	Espessura mínima 2,5 mm
	Arrendodado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 1,7 mm
	Arrendodado maciço	200	Diâmetro 16 mm
Aço inoxidável	Fita maciça	50	Espessura 2 mm
	Arrendodado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 1,7 mm
	Arrendodado maciço	200	Diâmetro 16 mm

a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme ABNT 6323 [1].
b Aplicável somente a minicaptadores. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo, força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.
c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16%, níquel 8%, carbono 0,07%.
d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos, sendo admitida uma tolerância de 5%, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas, cuja tolerância é de 2%.
e A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30% IACS (*International Annealed Copper Standard*).

NOTA 1 Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo é importante que as prescrições da Tabela 7 sejam atendidas.
NOTA 2 Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

Fonte: Tabela 6 - ABNT NBR 5419:2015 Parte 3.

7.4.3 - Medição da resistência de aterramento

Para que o SPDA atue com eficiência, é necessário que a malha de aterramento esteja com um baixo nível de resistividade com o solo, para que a corrente de surto seja descarregada de maneira segura.

A medição da resistência de aterramento foi realizada utilizando o método da Queda de Potencial, onde a haste auxiliar de corrente foi inserida a 40 metros de distância conforme as Figuras 28 e 29.

Figuras 28 e 29 - Disposição das hastes para medição da resistência de aterramento



Fonte: Autoria própria.

Já a haste de potencial foi distribuída em 3 configurações diferentes, sendo elas a 23, 24 e 25 metros para obtermos os dados apresentados na Tabela 6 e Figuras 30 a 32 e o resultante da resistência de aterramento é o valor médio apresentado na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 - Resultados obtidos através das medições em campo

Distância da Haste de Potencial	23 Metros	24 Metros	25 Metros	Valor médio
Resistência de Aterramento	22,6 Ohms	23,4 Ohms	23,6 Ohms	23,2 Ohms

Fonte: Autoria própria.

Figura 30 - Resultado no Terrômetro a distância de 23 metros

Fonte: Autoria própria.

Figura 31 - Resultado no Terrômetro a distância de 24 metros



Fonte: Autoria própria.

Figura 32 - Resultado no Terrômetro a distância de 24 metros



Fonte: Autoria própria.

7.4.4 - Subsistema de aterramento

A norma técnica NBR 15749:2009 não expressa um valor limite, entretanto, é de extrema importância que os valores tenham números na casa das primeiras dezenas, conforme obtido na medição do dia 08 de setembro, onde esta foi realizada em um dia com temperatura de 36°C e céu aberto, sem a presença de nuvens, e já que nesse período apresenta baixos índices de umidade no solo tocantinense. A análise dos dados sugere que o sistema de aterramento da biblioteca João Paulo II apresenta uma boa performance, mas é importante monitorar e realizar medições periódicas para assegurar a manutenção da eficácia do sistema, especialmente considerando as variações nas condições ambientais ao longo do tempo.

A malha de aterramento que forma o anel contemplando toda a área inspecionada, embora apresentou resultados favoráveis para seu funcionamento, encontra-se em não conformidade com a normativa vigente. Isso se deve ao fato de a cordoalha utilizada possuir mais de sete fios, divergindo do especificado pela norma. As Figuras 33 a 35 retratam o exposto.

Figura 33 a 35 - Cordoalha do anel de aterramento



Fonte: Autoria própria.

Tabela 7 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento

Material	Configuração	Dimensões mínimas		Comentários
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não crava	
Cobre	Encordoado	-	50 mm ²	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
	Arredondado maciço	-	50 mm ²	Diâmetro 8 mm
	Fita Maciça	-	50 mm ²	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	-	-
	Tubo	20 mm	-	Espessura de parede 2 mm
Aço galvanizado e quente	Arredondado maciço	16 mm	Diâmetro 10 mm	-
	Tubo	25 mm	-	Espessura da parede 2 mm
	Fita Maciça	-	90 mm ²	Espessura 3 mm
	Encordoado	-	70 mm ²	-
Aço cobreado	Arredondado maciço Encordoado	12,7 mm	70 mm ²	Diâmetro de cada fio cordoalha 3,45 mm
Aço inoxidável	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 a ABNT NBR 6323 [1].
b Aplicável somente a mini captores. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo, força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos de diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.
c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16%, níquel 8%, carbono 0,07%.
d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos, sendo admitida uma tolerância de 5%, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas, cuja tolerância é de 2%.
e Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo devem atender as prescrições desta tabela.
f A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30% IACS (International Annealed Copper Standard).
g Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

Fonte: Tabela 7 - ABNT NBR 5419:2015 Parte 3.

7.5 - Inspeções de um SPDA

O sistema de aterramento em questão não atendeu aos requisitos estabelecidos pela NBR 5410, especificamente no item 6.4 da norma, das formas nas quais deve-se ser realizado para que tenha maior eficiência e com maior espaço para o escoamento da corrente da descarga atmosférica. O item mencionado determina que toda edificação tem que ter uma estrutura chamada de eletrodo de aterramento e este preferencialmente serão as próprias armaduras de concreto da fundação, ou as barras e cabos metálicos das mesmas, ou até mesmo malhas enterradas no nível das fundações, cobrindo a área da edificação e somente para complementar essas previamente estabelecidas, usar hastes e cabos dispostos de forma radial. No

entanto, a instalação apresentada não cumpre esses primeiros critérios, evidenciando falhas no dimensionamento ou na execução do sistema, o que pode resultar em maiores gastos com o sistema de aterramento, assim como em riscos para a segurança dos usuários e para a conformidade da instalação com as normas vigentes.

A fiscalização permite verificar se o SPDA está em conformidade com a normativa vigente, garantindo que todos os seus componentes estejam em boas condições e aptos a desempenhar suas funções. De acordo com a norma NBR 5419:2015 - Parte 3, da ABNT, é necessário realizar inspeções em diferentes momentos: durante a construção da estrutura, após a instalação do SPDA para a elaboração do As Built —documento que registra a configuração final da construção—, após eventuais modificações ou reparos, ou quando houver suspeita de que a estrutura foi atingida por uma descarga específica. Além disso, a norma estabelece a necessidade de inspeções visuais semestrais e avaliações periódicas realizadas por um profissional habilitado, com a emissão de um relatório detalhando as condições encontradas.

7.6 - Recomendações para proteção da área

Por fim, tendo em vista a existência de aspectos em desacordo com a norma NBR 5419:2015, seguem sugestões e instruções para concordância normativa.

- Instalar novos minicaptadores e a malha de captação de acordo com as especificações da norma.
- Realizar a substituição dos condutores de descidas, nas 02 descidas existentes, que constam de 16 mm² por condutores de cobre nú 35 mm² - 7 FIOS normatizado. Além de acrescentar novas descidas para que a corrente proveniente da descarga seja dissipada. Certificar-se de que todos os meios de captação estão interligados.
- Após a substituição dos condutores de descida, seccionar os mesmos nas caixas de inspeção disponíveis e inserir os conectores adequados, para facilitar inspeções futuras.
- Alocar as caixas de inspeção das descidas a uma altura de 1,50 m do chão, para facilitar inspeções futuras.

- Substituir a cordoalha da malha de aterramento por condutores de cobre nu 50mm² - 7 FIOS normatizado e inserir conectores adequados para que em inspeções futuras seja possível desconectar as descidas e a malha de aterramento.
- Realizar limpeza das caixas de inspeção do aterramento.
- Presença de placas de advertência e segurança em momentos de descargas atmosféricas, conforme Figura 36.

Figura 36 - Placa de advertência



Fonte: Site Look Sinalização. Disponível em:

<<https://loja.looksinalizacao.com.br/produto/placa-de-sinalizacao-manter-distancia-chuva-de-raios-risco-de-choque-eletrico>> Acesso em: 05 jan. 2025.

8 - CONCLUSÃO

A análise do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) da Biblioteca João Paulo II, localizada no IFTO Palmas, identificou falhas significativas que comprometem tanto a integridade estrutural quanto a segurança dos usuários. A pesquisa evidenciou a ausência total da malha de capttores, além de inadequação na quantidade de capttores e condutores utilizados, que não atendem ao diâmetro mínimo estabelecido pela norma NBR 5419:2015. Essas deficiências prejudicam a eficiência do SPDA, gerando riscos potenciais de danos materiais e acidentes fatais em caso de descargas atmosféricas.

Quanto a malha de aterramento, esta apresentou valores de resistência abaixo dos 20 ohms exigidos pela concessionária local. Entretanto, destaca-se que a cordoalha utilizada na malha possui mais de sete fios, o que representa uma não conformidade com a norma NBR 5419:2015.

Diante disso, recomenda-se a implementação urgente de um sistema funcional, além de realização de vistorias periódicas, com manutenção constante do sistema, elaborações de laudos por profissionais capacitados a fim de garantir a proteção contra descargas atmosféricas e assegurar o cumprimento das exigências normativas, prevenindo possíveis acidentes e danos à edificação.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 15749:2009 – Proteção contra descargas atmosféricas – Sistemas de aterramento. Rio de Janeiro, 2009.

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

ABNT. NBR 5419-2:2015 – Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 2: Estruturas e edificações. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT. NBR 5419-3:2015 – Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 3: Sistemas de aterramento. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT. NBR 5419-4:2015 – Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 4: Requisitos para sistemas de proteção contra descargas atmosféricas em instalações elétricas. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT. NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

INPE. Cartilha de proteção contra raios no Brasil. São José dos Campos, 2020. Disponível em:
<https://www.inpe.br/webelat/docs/Cartilha_Protecao_Contra_Raios_Brasil_2020.pdf> Acesso em: 20 ago. 2024.

INPE. Mortes por raios: infográfico. São José dos Campos, [s.d.]. Disponível em:
<<https://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/mortes.por.raios.-.infografico.php>> Acesso em: 20 ago. 2024.

KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mário. *Aterramento elétrico*. 3. ed. Santa Catarina: Sagra, 1995.

LIMA, A. R.; OLIVEIRA, M. A. *Resistividade do Solo e Aterramento Elétrico: Aspectos Teóricos e Práticos*. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2016.

SOUZA, André Nunes de; RODRIGUES, José Eduardo; BORELLI, Reinaldo; BARROS, Benjamim Ferreira de. *SPDA – Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas*. São Paulo: Érica, 2020.

VISACO FILHO, Silvério. *Descargas Atmosféricas: Uma Abordagem de Engenharia.*
1. ed. São Paulo: Artliber, 2005.