



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

SEBASTIÃO AUGUSTO DE CARVALHO MELO

ANÁLISE TÉCNICA E VISUAL DE UM SPDA: ESTUDO DE CASO NO
LABORATÓRIO II DA UFERSA, CAMPUS CARAÚBAS.

CARAÚBAS/RN

2022

SEBASTIÃO AUGUSTO DE CARVALHO MELO

**ANÁLISE TÉCNICA E VISUAL DE UM SPDA: ESTUDO DE CASO NO
LABORATÓRIO II DA UFERSA, CAMPUS CARAÚBAS.**

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

Orientador: Dr. Francisco das Chagas
Barbosa de Sena

CARAÚBAS/RN

2022

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

A923a Augusto, Sebastião de Carvalho Melo.
ANÁLISE TÉCNICA E VISUAL DE UM SPDA: ESTUDO DE
CASO NO LABORATÓRIO II DA UFRSA, CAMPUS CARAÚBAS /
Sebastião Augusto de Carvalho Melo. - 2022.
76 f.: il.

Orientador: Dr. Francisco das Chagas
Barbosade Sena.
Monografia (graduação) - Universidade
FederalRural do Semi-árido, Curso de
Engenharia Elétrica,
2022.

1. Descargas Atmosféricas. 2. SPDA. 3. NBR
5419, 2015. 4. Laudo Técnico. I. das Chagas
Barbosa de Sena, Dr. Francisco, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFRSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

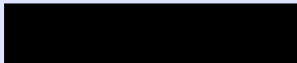
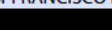
SEBASTIÃO AUGUSTO DE CARVALHO MELO

**ANÁLISE TÉCNICA E VISUAL DE SPDA: ESTUDO DE CASO NO
LABORATÓRIO II DA UFERSA, CAMPUS CARAÚBAS.**

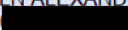
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

APROVADO EM: 14 / 06 /22

BANCA EXAMINADORA

 Assinado de forma digital por FRANCISCO DAS
CHAGAS BARBOSA DE SENAL 
Dados: 2022.06.20 13:53:28 -03'00'

Prof. Dr. Francisco das Chagas Barbosa de Sena (UFERSA)
Presidente

 Assinado digitalmente por
LINCOLN ALEXANDRE PAZ
SILVA: 
Data: 2022.06.20 13:27:18-03'00'

Prof. Me. Lincoln Alexandre Paz Silva (UFERSA)
Membro Examinador



Prof. Dr. Rodrigo Prado de Medeiros (UFERSA)
Membro Examinador

*“Fica mal com Deus quem não sabe dar.
Fica mal com Deus quem não sabe amar.”
(Luiz Gonzaga do Nascimento)*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela força, sabedoria e por ter me guiado pelo caminho certo, e que o mesmo possa continuar me abençoando com muita paz e sabedoria.

Aos meus pais, Nilo e Eneide, pelo esforço que fizeram e fazem até hoje para que eu possa ser uma pessoa melhor e que os orgulhe, por toda força e conselhos dados até aqui, a minha irmã Rhuanna Amorim, que mesmo distante, sempre me dar conselhos para que eu nunca desista daquilo que eu quero e sonho, sempre me apoia nas minhas decisões e a meu irmão Pedro Henrique.

A minha vó Alaíde Gomes (*in memoriam*), pois a mesma me ajudou diretamente nos meus estudos, para que eu conseguisse chegar aonde estou hoje, com palavras e/ou com ajuda financeira, fazendo com que eu conseguisse realizar um sonho que é de me tornar engenheiro, e também dela e de meu pai que é ver um neto e filho formado em engenharia.

Ao Professor e orientador Dr. Francisco das Chagas Barbosa de Sena, por ter me orientado e por transmitir um pouco do seu conhecimento e experiência sobre o assunto.

Ao amigo e professor José Ailton Leão Barboza Junior (Titio), pelos conselhos quando precisava e por transmitir conhecimento não só profissional, mas também por vários conselhos pessoais e que me fizeram crescer como ser humano e ver a vida de outra forma, agradecer também ao saudoso José Ailton Leão Barboza (*in memoriam*) pelos conselhos dados. A meu amigo José Jefferson (Zé pequeno) por me ajudar durante todo o curso, pelas noites de estudo e por todo o conhecimento compartilhado, como também por alguns vexames da vida pessoa que passamos no decorrer do curso.

Agradece a Maria Neumam Gurgel por ter me acolhido dentro de sua casa por alguns anos, ter me auxiliado em algumas necessidades que passei como também ter me tratado como uma pessoa de sua família, a seus filhos e esposo Paulo Amorim (*in memoriam*) pela forma de respeito e cuidado que sempre tiveram.

E a todos os colegas que foram feitos durante toda a graduação, amigos estes que se tornaram muito importante para mim, já que não tenho meus pais por perto, eles sempre se fizeram presentes como uma família. E a todas as pessoas que por motivo de esquecimento não foram citadas anteriormente, peço minhas sinceras desculpas.

Agradecer também a empresa júnior Trifase Engenharia Jr. empresa na qual adquiri vivência e conhecimento durante o período que fiz parte como membro fundador, ganhando um pouco da vivência de como atuar no mercado de trabalho e de como me tornar um profissional com visão crítica na área à qual estou inserido.

RESUMO

Como fenômeno natural, a descarga atmosférica não pode ser evitada. Entretanto, é possível utilizar equipamentos e infraestrutura capazes de minimizar os riscos e prejuízos (materiais ou de vida) resultantes do impacto direto ou indireto de um raio. O projeto de um SPDA deve seguir diversos critérios técnicos em concordância com a ABNT NBR 5419 de 2015 como também da NBR 15749 de 2009. A adequação de um SPDA com relação às prescrições previstas pela NBR 5419-2015, pode ser verificada mediante a elaboração, por parte de profissional qualificado e habilitado, de um laudo técnico. A inexistência de inspeção periódica de determinado SPDA pode interferir na eficiência do método empregado para proteção de uma determinada estrutura ou equipamento, isso porque condutores e suportes utilizados nos subsistemas de captação e descida sofrem com os esforços mecânicos e térmicos provocados pela passagem da corrente de descarga, podendo resultar no afrouxamento e/ou ruptura desses elementos, representando risco potencial de perda material e/ou de vida (humana e/ou animal a depender do tipo de instalação).

Palavras-chave: Descargas Atmosféricas. SPDA. NBR 5419,2015. Laudo técnico.

ABSTRACT

As a natural phenomenon, lightning cannot be avoided. However, it is possible to provide infrastructure and equipment capable of minimizing the risks and (material or life) losses resulting from lightning strikes, directly or otherwise. The design of an Atmospheric Discharge Protection System (SPDA, in the Portuguese acronym) must abide by such technical criteria as ABNT standard NBR no. 5419 of 2015, as well as NBR no. 15749 of 2009. Compliance with NBR no. 5419-2015 may be determined via a report issued by a duly trained and qualified professional. The lack of periodic inspection of a given SPDA can interfere with the efficiency of the method used to protect a given structure or equipment, because conductors and supports used in collection and descent subsystems suffer mechanical and thermal stresses caused by the passage of discharge currents, which may result in the loosening and/or rupture of these elements, thereby posing a potential risk of material and/or life loss (human and/or animal, depending on the type of installation). In that regard, this work aims to develop a technical report on the SPDA in Laboratory II of the Federal University of the Semi-Arid Region's Caraúbas campus (UFERSA, Rio Grande do Norte, Brazil).

Keywords: Atmospheric discharges. LPS NBR 5419,2015. Technical report.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Formação da descarga elétrica atmosférica.....	20
Figura 2: Comportamento da Corrente em Função da Descarga Elétrica Atmosférica.	21
Figura 3: Divisão da NBR 5419:2015.	23
Figura 4: Procedimento para decisão da necessidade de proteção e para selecionar as medidas de proteção.	31
Figura 5: Ângulo de proteção do método de Franklin.....	36
Figura 6: Aplicação do método da esfera rolante.....	38
Figura 7: Método das Malhas.....	40
Figura 8: Valores referentes ao comprimento l_1	44
Figura 9: Princípios gerais para a divisão de diferentes ZPR	48
Figura 10: Diagrama de uma MPS usando um sistema coordenado de DPS para cada zona de proteção.....	48
Figura 11: Paquímetro.	50
Figura 12: Miliohmímetro.....	50
Figura 13: Monitor do Miliohmímetro HIGMED.	51
Figura 14: Forma de medição	53
Figura 15: Terrômetro	53
Figura 16: Monitor do Terrômetro MEGABRAS	54
Figura 17: Medição de Resistência de Tomada de Terra	55
Figura 18: Curva Característica Teórica da Resistência de Aterramento de um Eletrodo Pontual.	56
Figura 19: Curvas Típicas de Resistência de Aterramento em Função das Distâncias dos Eletrodos.	57
Figura 20: Terrômetro Minipa MTR-1522 utilizado nas medições.....	61
Figura 21: Hastes de medição do Terrômetro.....	61
Figura 22: Cabeamento utilizado.....	62
Figura 23: Malha de Aterramento e suas Dimensões.....	63
Figura 24: Curva da Resistência Medida x Distância do Eletrodo de Potência Utilizado para Medição.	65
Figura 25: Marcações das Hastes de Medição e Corrente.....	66
Figura 26: Fixação das hastes.	67
Figura 27: Caixa de Inspeção da Entrada da Edificação.....	69
Figura 28: Espessura Medida In loco do Cabo da Malha de Aterramento.	70
Figura 29: Haste de Aterramento com Conexões enferrujadas.	70
Figura 30: Subsistemas de Descidas Encontrados na Edificação.	71
Figura 31: Malha de Proteção do Subsistema de Descidas.	71
Figura 32: Mini Captor Instalado na Edificação.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Efeitos das Descargas Atmosféricas nos Vários Tipos de Estruturas.....	25
Tabela 2: Os Tipos de Danos e Perdas nas Estruturas.....	27
Tabela 3: Relação entre níveis de proteção e classes do SPDA.....	33
Tabela 4: Ângulo de proteção em ($^{\circ}$) e altura da construção	35
Tabela 5: Valores da relação das classes de SPDA com a distância entre os condutores	37
Tabela 6: Seção mínima dos condutores de descida.....	37
Tabela 7: Valores adotados para o raio da esfera rolante de acordo com a classe de SPDA.	39
Tabela 8: Distância entre os condutores de malha de acordo com o nível de proteção do SPDA.	40
Tabela 9: Espessura mínima de materiais metálicos no subsistema de captação.....	42
Tabela 10: Valores da relação das classes de SPDA com a distância entre os condutores	43
Tabela 11: Metragem dos cabos utilizados.	62
Tabelas 12: Valor dos Erros Relativos a partir da Variação da Distância.....	64
Tabela 13: Valores das Resistências de Aterramento.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ELAT	Grupo de Eletricidade Atmosférica
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Técnica Brasileira
A	Ampère(s)
K	Quilograma
kA	Quilo-ampere(s)
J	Joule(s)
MJ	Megajoule(s)
C	Coulomb(s)
DPS	Dispositivo de Proteção contra surtos
I(t)	Corrente de Descarga Atmosférica
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
kV	Quilo-Volt(s)
kW	Quilo-Watt(s)
kWh	Quilowatt-hora
MJ/m ²	Mega-Joule por Metro Quadrado
MPS	Medida de Proteção Contra Surto
NP	Nível de Proteção
RT	Risco Tolerável
ZPR	Zona de Proteção Contra Raios
LEMP	<i>Lightning Electromagnetic Impulse</i>
ms	Milisegundo(s)
CIGRE	<i>International Council on Large Electrical Systems</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

Ω	Ohm(s)
μ	Micro
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Motivação	17
1.2 Objetivos	17
1.3 Organização do Trabalho	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Descarga Elétrica Atmosférica	19
2.1.1 Características de uma Descarga Atmosférica	20
2.2 Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA)	22
2.3 Associação Brasileira de Normas Técnicas 5419 de 2015	22
2.3.1 Parte 1: Princípios Gerais	24
2.3.2 Parte 2: Gerenciamento de Risco	29
2.3.4 Parte 3: Danos físicos a Estruturas e Perigos à Vida	32
2.3.4.1 Sistema de proteção contra descargas atmosféricas externo	34
2.3.5 Parte 4: Sistemas Elétricos e Eletrônicos Internos na Estrutura	46
2.3.6 Equipamentos e Métodos de Uso	49
3. METODOLOGIA	58
3.1 Equipamentos Utilizados na Medição	60
3.2 Medições	62
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
4.1 Resultados	64
4.2 Inconformidades Encontradas do Projeto Executado	68
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS	75

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, os raios ou descargas elétricas são admirados e temidos por todos os povos, que acreditavam que tal fenômeno natural seria criado por deuses, surgindo assim uma crença sobre este assunto que só foi desmistificada com o passar dos anos (SOUZA,2012).

No início do século XVIII Benjamin Franklin (1706-1790) estabeleceu que a corrente elétrica é formada pelo fluxo de cargas positivas. Além disso, ele demonstrou que os raios são fenômenos de natureza elétrica e não criados por deuses. Depois de um tempo estudando esses fenômenos e as suas particularidades, foi apresentado um modo resumido e clássico de como a descarga elétrica atmosférica é descrita, que se dá a partir da quebra da rigidez dielétrica do ar existente entre superfícies carregadas com partículas elétricas de cargas opostas (SOUZA,2012).

Dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), mostra-nos que o Brasil é o país com maior incidência de raios no mundo, registrando mais de 70 milhões de raios por ano. Logo, verifica-se a necessidade de implantação de um sistema capaz de proteger equipamentos, estruturas e usuários contra os efeitos nocivos resultante da ocorrência de uma descarga atmosférica (REVISTA GALILEU, 2022).

A partir dessa necessidade, foi estudada e desenvolvida uma norma técnica que conta com uma série de orientações objetivando padronizar os projetos de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). Cabe esclarecer que, por se tratar de fenômeno natural, o raio não pode ser evitado. Entretanto, é possível dotar equipamentos e estruturas de uma infraestrutura capaz de minimizar os riscos e prejuízos (material ou de perda da vida humana e animal) devido ao impacto direto ou indireto de uma descarga atmosférica. Para tal, deve-se seguir diversas prescrições técnicas para o correto dimensionamento de tal sistema. Essas prescrições estão presentes na norma técnica ABNT NBR 5419 de 2015. A primeira versão da NBR 5419 foi publicada em 2005. Com o passar dos anos e o avanço nos estudos sobre o tema, verificou-se a necessidade de sua reformulação. Em 2015, ocorreu então a publicação de sua atualização, trazendo com isso um documento mais completo e atualizado em relação à sua primeira versão.

A adequação de um SPDA com relação as prescrições previstas pela NBR 5419-2015, pode ser verificada mediante a elaboração, por parte de profissional

qualificado e habilitado, de um laudo técnico. A inexistência de inspeção periódica de determinado SPDA pode interferir na eficiência do método empregado para proteção de uma determinada estrutura ou equipamento, isso porque condutores e suportes utilizados nos subsistemas de captação e descida sofrem com os esforços mecânicos e térmicos provocados pela passagem da corrente de descarga, podendo resultar no afrouxamento e/ou ruptura desses elementos, representando risco potencial de perda material e/ou de vida (humana e/ou animal a depender do tipo de instalação).

Nesse sentido, o presente trabalho objetiva realizar a análise técnica e visual do SPDA existente no Laboratórios II da UFERSA, campus Caraúbas. Isso porque, desde a sua criação, ele não passou por esse tipo de análise. Desta forma podendo colher informações sobre todos os seus subsistemas de proteção.

1.1 Motivação

Apesar de ser uma norma relativamente antiga, sendo a versão mais atual do ano de 2015, ainda existe muitas dúvidas quanto a aplicação da NBR 5419 no tocante aos procedimentos de inspeção de SPDA e equipamentos que podem ser utilizados para obter os dados que embasaram o documento final. Logo, o presente trabalho poderá fornecer aos engenheiros eletricitas, especialmente aqueles recém-formados, informações relevantes para o desenvolvimento de laudo técnico do SPDA.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar a análise técnica e visual do SPDA do Laboratórios II da UFERSA, campus Caraúbas. Para se alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes os objetivos específicos:

- Verificar as condições existentes dos subsistemas de captação, descida e aterramento do local estudado;
- Detalhar as prescrições da NBR 5419-2015 específicas para inspeção de SPDA;
- Fornecer os procedimentos, metodologias e equipamentos necessários para a medição de continuidade elétrica de SPDA;
- Fornecer os procedimentos, metodologias e equipamentos necessários para a medição de resistência de aterramento elétrico do subsistema de SPDA;

- Recomendar possíveis melhorias e/ou atualizações para o SPDA do local estudado.

1.3 Organização do Trabalho

O presente trabalho encontra-se dividido em 5 capítulos, que tratam dos detalhes, parâmetros e dados de suma importância para o entendimento e aplicação da NBR 5419 no tocante a elaboração de laudo técnico de SPDA.

No primeiro capítulo é feita uma breve revisão histórica sobre os raios, e como foi iniciado o estudo destes fenômenos. Foi observado também qual a importância dos físicos para o entendimento, partindo de como se originavam e de como poderia ser implementadas formas de se proteger contra seus efeitos nocivos.

No segundo capítulo, é feita uma breve introdução teórica sobre a NBR 5419:2015, norma técnica específica para o dimensionamento de todo sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Dentro da mesma são detalhados todos os parâmetros a serem seguidos para que se tenha um projeto seguro e eficiente.

No terceiro capítulo, é detalhado como o laudo do sistema de proteção contra descargas atmosféricas pode ser desenvolvido na prática. São abordados os equipamentos que podem ser utilizados para coletar dados que embasam o documento final e atestam a integridade e segurança do sistema analisado.

O quarto capítulo trata sobre as considerações finais, onde são relatados as atividades e os dados colhidos *in loco*, apresentadas inconformidades e feitas recomendações de melhorias ao sistema analisado de modo atender as prescrições da NBR 5419.

Ao final, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir, será apresentado um levantamento bibliográfico sobre o tema abordado no presente trabalho. Para tanto, utilizou-se de um referencial teórico de forma objetiva e que terá como base nas referências propostas. Serão então apresentados conceitos básicos de suma importância para o desenvolvimento e aprofundamento a cargo de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SDPA), como também sobre a normatização deste assunto e a formulação de documentos que são de grande importância para projeto e proteção de estruturas e dos seres vivos.

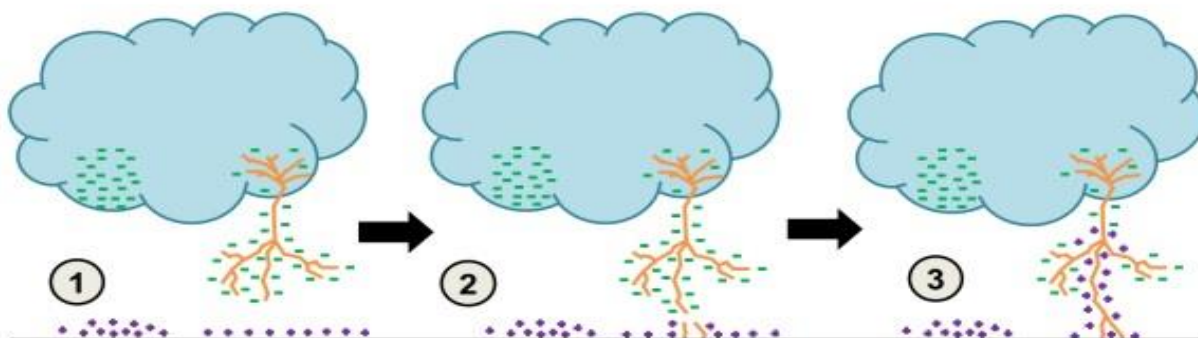
2.1 Descarga Elétrica Atmosférica

Segundo Pinto (2005), tem-se que a descarga elétrica atmosférica inicia quando o campo elétrico produzido por essas cargas excede a capacidade isolante do ar, também conhecida como rigidez dielétrica em um dado local na atmosfera, que pode ser dentro da nuvem ou próximo ao solo. Quebrada essa rigidez, começa um rápido movimento de elétrons de uma região de cargas negativas para uma região de cargas positivas. Já quando esta descarga inicial atinge o solo, acarreta o surgimento assim de corrente de retorno luminosa que por sua vez é denominada de raio. Segundo Quintão; Coura (2019), o raio é acompanhado por uma emissão de luz, devido à passagem da corrente elétrica que ioniza as moléculas de ar e também pela passagem do trovão que se desenvolve através de uma onda de choque.

Os raios são formados de acordo com o ciclo da água na superfície e no ar atmosférico, quando ocorre a evaporação acontece também a movimentação de suas cargas elétricas. Na Figura 1 pode-se observar de forma simplificada como este fenômeno ocorre. Nota-se que o processo de formação de uma descarga atmosférica nuvem-solo negativa será posto em três momentos distintos e específicos assim temos que no primeiro momento é observado a formação de um *leader* de carga negativa que terá a sua distribuição até o solo que por sua vez está carregado por cargas de polaridade oposta, no segundo momento é mostrado que com a aproximação das cargas, irá se ter a formação de um campo elétrico que irá possibilitar assim a formação do *leader* solo-nuvem, e por último irá se ocorrer a formação da descarga atmosférica que será a conexão do *leader* principal com o de

canal ascendente induzido no solo, desta forma apresentando a transferência de suas cargas negativas para o solo.

Figura 1: Formação da descarga elétrica atmosférica.



Fonte: Adaptado de (Louro,2017).

Nesse sentido, pode-se classificar os raios em dois grupos principais. O primeiro formado pelas descargas atmosféricas descendentes, que são as originadas na nuvem com ramificações em direção ao solo. Já o segundo é formado pelas descargas atmosféricas ascendentes, que se originam a partir de uma estrutura elevada ou montanhas e com ramificações em direção a terra. Ambos os tipos possuem *leader* negativo e positivo (ABNT NBR 5419 – 1, 2015). Estes tipos de descargas são responsáveis pela gama de descargas atmosféricas que caem no Brasil, tornando o país com maior incidência de raios do mundo.

2.1.1 Características de uma Descarga Atmosférica

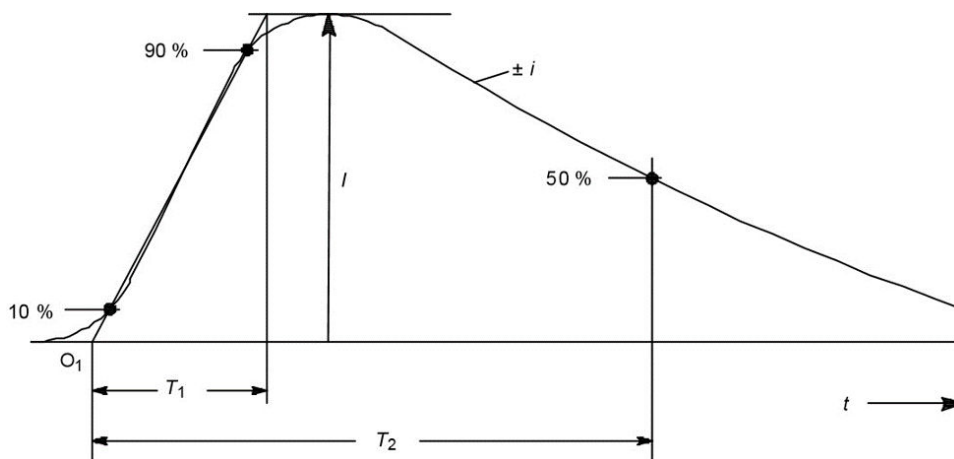
Os raios se comportam de várias formas como visto anteriormente, desta forma eles trazem consigo outros parâmetros de grande relevância para o seu entendimento, um deles é o que a corrente elétrica causa quando atinge o solo, uma estrutura ou os seres vivos, como também é possível observar como a sua intensidade se dá.

As descargas elétricas atmosféricas terão uma variação de intensidade de corrente, que irá servir de parâmetro determinante para a determinação de dois parâmetros, o primeiro será para a determinação de sua energia específica e o segundo será qual o nível de proteção na qual terá que ser utilizado de acordo com a variação de intensidade da sua corrente elétrica decorrente do raio. De acordo com a

ABNT NBR 5419 de 2015 a variação da corrente será de 200 kA à 100 kA, e da energia específica será de 10 MJ/Ω à 2,5 MJ/Ω.

A Figura 2 ilustra as características da onda de corrente, resultante da descarga atmosférica, em função do tempo. Nela, é possível observar a evolução da corrente de pico e o seu instante de decaimento. (ABNT NBR 5419 – 1, 2015).

Figura 2: Comportamento da Corrente em Função da Descarga Elétrica Atmosférica.



Fonte: Adaptado ABNT NBR 5419:2015 – 1.

Onde segundo a ABNT NBR 5419 – 1 de 2015:

T_1 é o tempo de frente em microssegundos (μs), definido como um parâmetro virtual de valor 1,25 vezes o intervalo de tempo entre os instantes em que a corrente atinge 10% e 50% de seu valor de pico;

T_2 é o tempo de meia cauda em microssegundos (μs), definido como um parâmetro virtual que tem o valor do intervalo de tempo em que a curva da corrente decai em módulo até 50% de seu valor de pico;

O_1 é a origem virtual da corrente de impulso em microssegundos (μs), definido como o ponto de intersecção da curva da corrente com o eixo tempo;

i é a corrente da descarga atmosférica (em kA), sendo i ou negativa como ilustrado na Figura 2;

t é o tempo em microssegundos (μs);

I é a corrente de pico da descarga atmosférica em (em kA).

2.2 Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA)

Não é possível evitar que um fenômeno natural ocorra, mas existem formas de prevenção contra seus efeitos negativos. Com esse objetivo, estudiosos pesquisaram e desenvolveram formas de proteger pessoas, equipamentos, estruturas contra os feitos prejudiciais das descargas atmosféricas.

Uma forma desenvolvida a fim de ajudar na proteção de pessoas, estruturas e animais, foi o desenvolvimento e aperfeiçoamento de formas de se proteger contra os riscos causados pelas descargas elétricas atmosféricas. No decorrer do trabalho serão apresentados formas e métodos que foram desenvolvidos com o passar dos anos a fim de se ajudar na proteção contra as descargas atmosféricas e na proteção da estrutura e seres vivos.

Uma forma desenvolvida e aprimorada com o passar do tempo foi o SPDA. Este sistema de proteção foi desenvolvido e aperfeiçoado com formas de proteção contra os riscos e danos que este fenômeno venha a trazer. Pode-se observar que todo este método de proteção está contido em um documento que sua primeira versão surgiu no ano de 2005 e que foi atualizado em 2015, que é a norma técnica NBR 54019 de 2005 (ABNT NBR 5419 – 1, 2015).

2.3 Associação Brasileira de Normas Técnicas 5419 de 2015

A NBR 5419, é a principal fonte de informações e de adequações das formas de prevenção contra descargas elétricas atmosféricas. Esta norma foi formulada tendo como base experimentos realizados pela Comissão de Estudos de proteção Contra Descargas Atmosféricas e pelo Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT NBR 5419 – 1, 2015).

Em 2015, foi publicada a versão mais atualizada da NBR 5419, tendo como referência internacionais que tratam sobre o tema em questão, sendo a *IEC 62305* uma delas (ABNT NBR 5419 – 1, 2015).

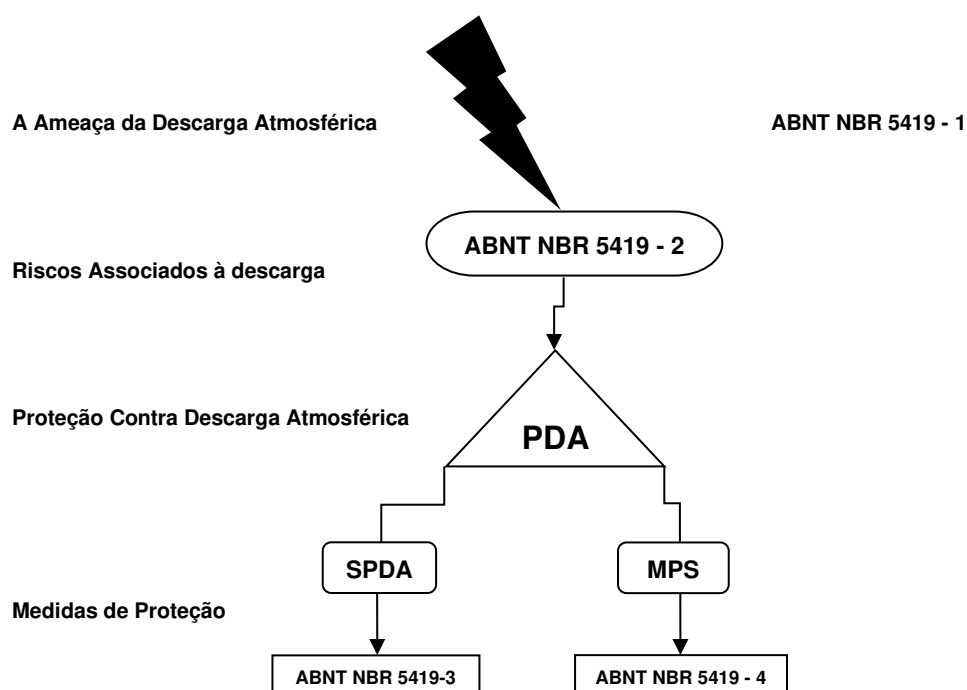
Com essa atualização, a NBR 5419 de 2015 foi dividida em quatro partes, são elas:

- NBR 5419-1: Princípios Gerais;
- NBR 5419-2: Gerenciamento de Risco;

- NBR 5419-3: Danos Físicos a Estrutura;
- NBR 5419-4: Sistema Elétricos e Eletrônicos internos na Estrutura.

Na Figura 3, é mostrado a divisão da NBR 5419 em suas quatro partes citadas. Além disso, é dado um destaque para o principal assunto tratado em cada uma delas.

Figura 3: Divisão da NBR 5419:2015.



Fonte: Adaptado da NBR 5419 -1, 2015.

Essa divisão abrange às medidas de proteção que serão vistas nas duas partes finais da norma, o primeiro grupo irá englobar as medidas de proteção para se reduzir falhas de sistemas elétricos e eletrônicos e a segundo será as que reduziram as falhas de sistemas elétricos e eletrônicos. Já por outro lado será observado as particularidades que cada conjunto de medidas tem, no primeiro irá visar a proteção dos seres vivos e no outro irá ser a proteção dos equipamentos eletroeletrônicos que tem dentro das estruturas onde este sistema será instalado (ABNT NBR 5419 – 1, 2015).

2.3.1 Parte 1: Princípios Gerais

Nesta parte, a norma trata sobre conceitos fundamentais e importantes para o correto entendimento do assunto, sendo possível compreender os efeitos resultantes das descargas atmosféricas em estruturas e equipamentos.

A NBR 5419-1 encontra-se subdividida em oito capítulos e cinco anexos. Neles é possível encontrar várias informações, parâmetros, e prescrições de como proteger pessoas, equipamentos e estruturas contra os efeitos prejudiciais das descargas atmosféricas. Nesse sentido, pode-se destacar fatores como, por exemplo, corrente de descarga atmosférica, o comportamento da corrente de descarga em função do tempo e características dos surtos elétricos oriundos das descargas atmosféricas em diferentes pontos da instalação (ABNT NBR 5419 – 1, 2015).

Segundo a ABNT NBR 5419 de 2015, os detalhes dos parâmetros da corrente da descarga atmosférica foram obtidos a partir dos resultados do *CIGRE “International Council on Large Electrical Systems”*, que trata sobre o campo da eletricidade de alta tensão. Esses parâmetros são baseados em distribuições estatísticas, definidas a partir de uma distribuição logarítmica normal, tomando como base a probabilidade de ocorrências de descargas atmosféricas positivas e negativas, cujos valores são, respectivamente entre 10% e 90% (NBR 5419:2015 – 1).

As correntes de descargas atmosféricas podem resultar em efeitos térmicos e eletrodinâmicos perigosos, podendo ocasionar danos permanentes as estruturas e equipamentos, além do risco de choques elétricos aos seres vivos. Além disso, seu campo eletromagnético pode induzir níveis perigosos de tensão de toque e passo. Assim, para minimizar esses riscos, faz-se necessário o uso de blindagem elétrica, perfeitamente contínua, condutora e aterrada. Desta forma, faz-se necessário que as tubulações metálicas que adentram a instalação a ser protegida devem ser equipotencialização.

Para além da estrutura atingida, os efeitos prejudiciais das descargas atmosféricas podem alcançar outras instalações em sua vizinhança, a depender de sua proximidade e interligações por cabos elétricos ou tubulações condutoras. Na Tabela 1 será apresentado os possíveis danos que as descargas elétricas atmosféricas podem causar nos mais variados tipos de estruturas.

Tabela 1: Efeitos das Descargas Atmosféricas nos Vários Tipos de Estruturas.

Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo	Efeitos das descargas atmosféricas
Casa de moradia	Perfuração da isolamento das instalações elétricas, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos expostos ao ponto de impacto ou no caminho da corrente da descarga atmosférica. Falha de equipamentos e sistemas elétricos e eletrônicos instalados
Edificação em zona rural	Risco maior de incêndio e tensões de passo perigosas, assim como danos materiais. Risco secundário devido à perda de energia elétrica e risco de vida dos animais de criação devido à falha de sistemas de controle eletrônicos de ventilação e suprimento de alimentos etc.
Teatro ou cinema, Hotel, Escola, <i>Shopping centers</i> Áreas de esportes	Danos em instalações elétricas que tendem a causar pânico Falhas em sistemas de alarme de incêndio, resultando em atrasos nas ações de combate a incêndio.
Banco, Empresa de seguros, Estabelecimento comercial etc.	Conforme acima, adicionando-se problemas resultantes da perda de comunicação, falha de computadores e perda de dados.
Hospital, Casa de tratamento Médico, Casa para idosos, Creche, Prisão	Conforme acima, adicionando-se os problemas relacionados a pessoas em tratamento médico intensivo e a dificuldade de resgatar pessoas incapazes de se mover.
Indústria	Efeitos adicionais dependendo do conteúdo das fábricas, que vão desde os menos graves até danos inaceitáveis e perda de produção.
Museu e sítio arqueológico, Igreja	Perda de patrimônio cultural insubstituível.
Estação de telecomunicações Estação de geração e transmissão de energia elétrica	Interrupções inaceitáveis de serviços ao público.
Fábrica de fogos de artifícios Trabalhos com munição	Incêndio e explosão com consequências à planta e arredores.
Indústria química Refinaria Usina nuclear Indústria e laboratório de bioquímica	Incêndio e mau funcionamento da planta com consequências prejudiciais ao meio ambiente local e global.

Fonte: Adaptado da ANBT NBR 5419-1, 2015.

As fontes de danos devido a uma descarga atmosférica podem ser divididas em 4 situações distintas que depende da posição do ponto de impacto, são elas:

- a) **S₁**: Descarga atmosférica na estrutura;
- b) **S₂**: Descarga atmosférica próximas à estrutura;
- c) **S₃**: Descarga atmosférica sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura;

d) **S₄**: Descarga atmosférica próximas às linhas elétricas e tubulações metálicas que entra na estrutura.

Estas situações podem resultar em:

- a) Danos mecânicos imediatos, fogo e/ou explosão, danos às pessoas por choque elétrico devido à corrente elétrica da descarga atmosférica a tensão de passo e de toque resultantes de acoplamentos resistivos indutivos e a falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido a LEMP (do inglês *Lightning Electromagnetic Impulse*);
- b) Falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido a LEMP;
- c) Fogo e/ou explosão, danos às pessoas devido a choques provenientes da tensão de toque transmitidas pelas linhas elétricas e tubulações metálicas, falha ou mau funcionamento de sistemas internos;
- d) Falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido a sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura.

Segundo a NBR 5419-1, os danos podem ser resumidos em três grupos, a saber:

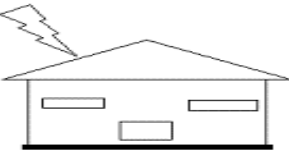
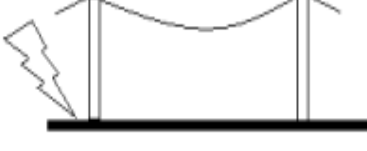
- a) **D₁**: Danos às pessoas devido a choque elétrico;
- b) **D₂**: Danos físicos devido aos efeitos das correntes das descargas atmosféricas, inclusive centelhamento;
- c) **D₃**: Falhas de sistemas internos devido a LEMP.

Os danos e os malefícios a estrutura podem implicar em diferentes tipos de perdas, que se encontram divididas em 4 categorias, são elas:

- a) **L₁**: Perda de vida humana;
- b) **L₂**: Perda de serviço ao público;
- c) **L₃**: Perda de patrimônio cultural;
- d) **L₄**: Perda de valor econômico.

A Tabela 2 resume os tipos de danos e perdas de acordo com o ponto de impacto da descarga atmosférica.

Tabela 2: Os Tipos de Danos e Perdas nas Estruturas.

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

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419 – 1, 2015.

A verificação da necessidade de implementação de uma proteção contra descargas atmosféricas é feita através do gerenciamento de risco, abordado na segunda parte da NBR 5419, isto é, NBR 5419-2. Para tanto, deve-se levar em consideração os riscos associados aos tipos de perdas já citados, podendo ser divididos em:

- a) **R₁**: Risco de perdas ou danos permanentes em vidas humanas;
- b) **R₂**: Risco de perdas de serviço público;
- c) **R₃**: Risco de perdas de patrimônio cultural.

Para minimizar os riscos citados, a NBR 5419-1 prescreve o uso de:

- a) Isolação adequada das partes condutoras expostas;

- b)** Equipotencialização por meio de um sistema de aterramento em malha;
- c)** Restrições físicas e avisos;
- d)** Ligação equipotencial para descargas atmosféricas.

Salienta-se que as medidas citadas anteriormente só são eficientes para estruturas protegidas por um SPDA corretamente dimensionado para a instalação em questão. Assim, a proteção efetiva de uma dada estrutura requer (ABNT NBR 5419 – 1, 2015).

- a)** Subsistema de captação;
- b)** Subsistema de descida;
- c)** Subsistema de aterramento;
- d)** Equipotencialização para descargas atmosféricas;
- e)** Isolação elétrica.

Já a proteção efetiva dos sistemas eletroeletrônicos no interior da edificação que será a implementação de Medidas de Proteção contra Surtos (MPS) que segundo a NBR 5419 – 1 são:

- a)** Medidas de aterramento e equipotencialização;
- b)** Blindagem magnética;
- c)** Roteamento da fiação;
- d)** Interfaces isolantes;
- e)** Sistema de DPS coordenado.

Outro detalhe de suma importância para um sistema de proteção seguro e eficiente diz respeito ao Nível de Proteção (NP) do SPDA utilizado. Segundo a ABNT NBR 5419 – 1 (2015), existem 4 NPs bem definidos, são eles: NP I; NP II; NP III; e NP IV. A seleção de um NP específico se dar a partir do resultado do gerenciamento de risco ou por determinação de algum poder público ou ainda de órgão fiscalizador.

2.3.2 Parte 2: Gerenciamento de Risco

A partir do gerenciamento de risco é possível verificar a necessidade de proteção de uma determinada instalação contra descargas atmosféricas (ABNT NBR 5419 – 1, 2015). Esse assunto é tratado na segunda parte da NBR 5419, isto é, NBR 5419-2.

Destaca-se que durante a inspeção de uma determinada instalação, pode-se encontrar situações que justifique o aumento do NP em virtude de alterações, por exemplo, devido mudança no conteúdo ou tipo de atividade encontradas no local. Para tanto, faz-se necessária a elaboração do gerenciamento de risco. Entretanto, como essa temática é comumente abordado em outros trabalhos de conclusão de curso e este, em específico, se concentra na inspeção e emissão e laudos de SPDA existente, tal tema não será tratado em profundidade ao longo do trabalho.

Para se verificar o risco a uma determinada instalação é aceitável ou não, deve-se observar primeiramente os tipos de risco envolvidos. Posteriormente, indica-se as medidas a serem seguidas para que a estrutura, pessoas e equipamentos eletroeletrônicos sejam protegidos.

Desta forma, a NBR 5419-2 (2015) trata que os riscos a serem avaliados em uma determinada estrutura são:

- a) R1:** Risco de perda de vida humana;
- b) R2:** Risco de perda de instalações de serviços ao público
- c) R3:** Risco de perda de memória cultural;
- d) R4:** Risco de perda de valor econômico.

Entende-se como risco o valor de uma provável perda média anual de vida e bens devido às descargas atmosféricas, em relação ao valor total dos objetos a serem protegidos. Segundo a NBR 5419-2 estes riscos têm dependência do valor do número anual de descargas atmosféricas que influenciam a estrutura, da probabilidade de dano que podem influenciar na estrutura e da quantidade média das consequentes perdas.

Ao se analisar os riscos deve-se comparar os valores encontrados com aqueles tidos como toleráveis pela NBR 5419-2, que são: 10^{-5} para perda de vida humana ou ferimentos permanentes; perda de serviço ao público 10^{-3} e 10^{-4} para

perda de patrimônio cultural, para a perda de valor econômico é feito a comparação de custo/benefício que a NBR 5419-2 sugere, caso esta análise não esteja disponível, deverá ser utilizado o valor representativo de risco tolerável $R_T = 10^{-3}$. Caso algum valor obtido seja maior do que o recomendado pela norma, medidas de proteção devem ser implantadas afim de o diminuir a um valor seguro, dentro do permitido.

Para fins matemáticos de um determinado risco, várias componentes de risco devem ser avaliadas. Segundo a NBR 5419-2, tem-se os seguintes componentes:

- **R_A**: Componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido a tensões de passo e de toque em uma distância de até 3 metros (m) do lado externo a edificação, com a perda L1;
- **R_B**: componente relativo a danos físicos causados por centelhamento perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente, com todos os tipos de perda;
- **R_C e R_M**: componentes relativos a falhas de sistemas internos causados por LEMP, tipo de perda L2 e L4 poderão ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, no caso de estruturas com risco de explosão;
- **R_U**: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura, sendo composto também pela perda tipo L1 e L4;
- **R_V**: componente relativo a danos físicos devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas, contendo todos os tipos de perdas;
- **R_W e R_Z**: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a estas, com perdas de tipo L2 e L4 podendo ocorrer em todos os casos, junto com a perda L1, onde as falhas de sistemas internos possam acarretar perigo a vida humana;

De forma genérica, o cálculo das componentes de risco apresentadas acima, pode ser obtida como mostrado na Equação 1 (NBR 5419-2, 2015):

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (1)$$

onde:

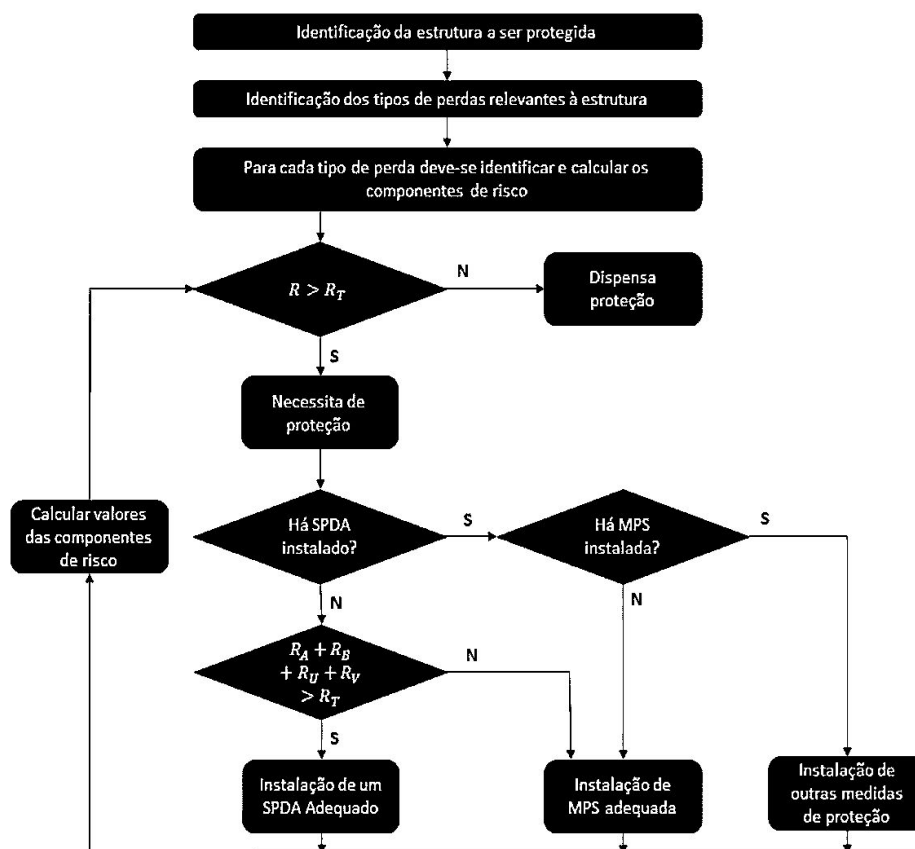
Nx: número de eventos perigosos, este parâmetro será afetado pela densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_g) e pelas características físicas da estrutura a ser protegida;

Px: probabilidade de dano e é afetada pelas características da estrutura a ser protegida, das linhas conectadas e das medidas e proteção existentes na mesma;

Lx: perda subsequente, e será afetada pelo uso para qual a estrutura foi projetada, a frequência das pessoas, o tipo de serviço fornecido ao público, o valor dos bens afetados pelos danos e as medidas providenciadas para limitar a quantidade de perdas.

Assim para se descrever o processo realizado para decidir se há a necessidade de proteção e qual medida de proteção deverá ser selecionada, A Figura 4 ilustra o fluxograma que pode ser seguido para se verificar a necessidade de proteção de determinada instalação e para escolher a medida de proteção mais adequada a mesma.

Figura 4: Procedimento para decisão da necessidade de proteção e para selecionar as medidas de proteção.



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419 – 2, 2015.

2.3.4 Parte 3: Danos físicos a Estruturas e Perigos à Vida

A parte 3 da NBR 5419 de 2015, isto é, NBR 5419-3, trata sobre as formas de proteção contra os danos no interior e ao redor da estrutura, devido a ocorrência de uma descarga atmosférica. É considerado que a principal e mais eficaz medida de proteção contra danos físicos é o uso de um SPDA, onde ele será composto por dois sistemas básicos de proteção que são: sistemas de proteção interno e externo.

O sistema de proteção externo envolve todos os elementos responsáveis pela captação e condução segura da corrente de descarga para a terra, dispersando-a por meio de subsistemas de descida e de aterramento (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

Por outro lado, o SPDA interno é destinado a reduzir os riscos causados por centelhamento dentro da área de proteção criada pelo sistema de proteção externo. Para tanto, são utilizadas ligações equipotenciais entre os componentes que fazem parte deste sistema. Com isso o SPDA externo será composto por medidas de proteção afim de se reduzir a corrente elétrica que flui por meio dos seres vivos providas de isolamento de partes condutoras expostas e pela redução da ocorrência de tensões perigosas de toque e de passo por meio de barreiras físicas com a utilização de avisos de advertência (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

Observa-se assim que a NBR 5419-3 estabelece requisitos de proteção de uma estrutura contra danos físicos por meio de seu SPDA, onde estes requisitos e medidas serão para a proteção de seres vivos contra lesões causadas pelas tensões de passo. Todas as medidas adotadas serão aplicáveis para: projeto, instalações, inspeção e manutenção de um SPDA em estruturas, como também medidas de proteção contra lesões a seres vivos causadas por tensões de passo e de toque (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

Segundo a NBR 5419 – 2 as características de um SPDA são determinadas pelas características da estrutura a ser protegida e pelo nível de proteção considerado para descargas atmosféricas. Os NPs são definidos na parte 3 da NBR 5419-3, isto é, NBR 5419-3. A tabela 3 apresenta os quatro níveis de NP e a respectiva classe de SPDA.

Tabela 3: Relação entre níveis de proteção e classes do SPDA

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

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419-2, 2015.

Dentro da distribuição dos níveis de proteção e classes do SPDA mostrada na Tabela 3 é possível ser feito uma caracterização dos parâmetros básicos que nos possibilitará falar sobre a dependência ou não destas classes. Com isso podemos destacar a importância do conhecimento dos parâmetros matemáticos que irão envolver o raio da esfera rolante, tamanho da malha de aterramento e ângulo de proteção, as distâncias típicas entre condutores de descida e dos condutores de anel, distância de segurança contra centelhamento perigoso e o comprimento mínimo dos eletrodos de terra (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

Dentro desta distribuição de níveis de proteção e classes do SPDA são definidos dois parâmetros básicos que compõem a dependência ou não das classes de SPDA, são eles: dados dependentes da classe do SPDA e conceitos teóricos e matemáticos referentes ao método de proteção utilizado, tais como o raio da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção, distâncias típicas entre condutores de descida e dos condutores de anel, distância de segurança contra centelhamento perigoso e o comprimento mínimo dos eletrodos de terra (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

Já os dados que não serão dependentes das classes do SPDA serão vistos mais detalhadamente nas seções subsequentes. Segundo a NBR 5419 – 3, ao dimensionar o SDPA de uma instalação deve-se observar:

- equipotencialização para descargas atmosféricas;
- espessura mínima de placas ou tubulações metálicas nos sistemas de captação;
- matérias do SPDA e condições de uso;
- materiais, configurações e dimensões mínimas para captadores;
- descidas e eletrodos de aterramento e as dimensões mínimas dos condutores de conexão.

2.3.4.1 Sistema de proteção contra descargas atmosféricas externo

Como visto anteriormente, SPDA externo tem por finalidade a interceptação das descargas atmosféricas, podendo ser um impacto lateral, tendo também a função de dispersão da corrente proveniente desta descarga para à terra sem causar nenhum risco estrutural e evitando centelhamentos que poderiam resultar em fogo e/ou explosão (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

A escolha de um SPDA externo deve passar pela verificação de vários critérios onde se avalia a parte da estrutura a ser protegida, se o mesmo será ou não isolado, pois se for isolado deverá ser considerado os efeitos térmicos e de explosão no ponto de impacto da descarga elétrica atmosférica. Deverá ser observado também de forma atenciosa os condutores que a corrente irá percorrer, pois eles deverão ser de materiais específicos que possam conduzir esta corrente para a terra sem que ocorra danos a estrutura e ao seu conteúdo (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

O SPDA externo pode ser subdividido em: subsistema de captação; subsistema de descida; e subsistema de aterramento. Estes subsistemas são uma parte importante da forma de proteção da estrutura e das proximidades da estrutura na qual a descarga elétrica atmosférica atinge (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

• **Subsistema de Captação**

Com a utilização deste subsistema é possível reduzir a probabilidade de penetração da corrente da descarga elétrica atmosférica no interior da instalação a ser protegida. Segundo a ABNT NBR 5419 – 3 de 2015, o subsistema de captação deve ser composto de três elementos básicos, que são:

- Hastes;
- Condutores suspensos;
- Condutores em malha.

Para que todos os subsistemas estejam em concordância com as prescrições da NBR 5419 - 3, é preciso que eles estejam corretamente posicionados, possuam captadores para descargas laterais devidamente dimensionados de acordo com as suas

respectivas alturas e seu subsistema de captação esteja de acordo com o projeto dimensionado (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

Deve-se destacar que os elementos de captação devem ser posicionados nos pontos mais elevados da instalação, devendo possuir pontas expostas. Além disso, os captosres laterais devem estar localizados nas bordas da edificação.

A localização dos elementos de captação depende do método utilizado para o SPDA, podendo ser método do ângulo de proteção (ou método de Franklin); método da esfera rolante; e método das malhas (ou método da gaiola de Faraday).

- **Método do Ângulo de Proteção (ou Método de Franklin)**

Segundo Mamede Filho (2010), a aplicação desse método consiste em determinar o volume de proteção que irá ser propiciado por um cone, cujo seu ângulo de proteção irá variar de acordo com o nível de proteção que está relacionado ao SPDA. A Tabela 4 mostra a relação dos ângulos de proteção correlacionando com a altura.

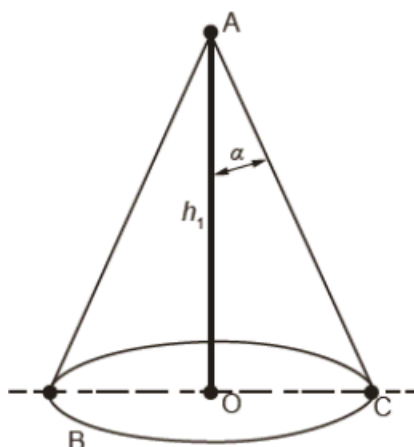
Tabela 4: Ângulo de proteção em (°) e altura da construção

Nível de proteção	Altura do captor (m)				
	0-20	21-30	31-45	46-60	>60
	Ângulo de Proteção (em graus)				
I	25	(A)	(A)	(A)	(B)
II	35	25	(A)	(A)	(B)
III	45	35	25	(A)	(B)
IV	55	45	35	25	(B)
(A) Aplicam-se somente os métodos eletromagnético, malha ou gaiola de Faraday.					
(B) Aplica-se somente o método de gaiola de Faraday.					

Fonte: Adaptado do Mamede Filho, 2010.

Nesse método, o sistema a ser protegido deve estar contido no volume formado por um cone fictício, cuja geratriz formará um ângulo α com a vertical, conforme ilustrado na Figura 5 (Mamede Filho, 2010).

Figura 5: Ângulo de proteção do método de Franklin.



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419-3, 2015.

Onde:

A: topo do captor;

B: plano de referência;

OC: raio da base do cone de proteção;

h_1 : altura de um mastro acima do plano de referência;

α : ângulo de proteção ver Tabela 4.

De acordo com Mamede Filho (2010), o valor do raio base do cone de proteção pode ser determinado como mostrado na Equação 2.

$$R_p = H_c \times \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

onde:

R_p : será o raio da base do cone de proteção, em m;

H_c : altura da extremidade do captor, em m;

α : ângulo de proteção com a vertical, que é dado pela Tabela 4, caso aja mais de um captor, pode-se acrescentar 10° ao ângulo α .

Outro ponto importante a ser observado é a quantidade de condutores que compõem o subsistema de descida que, segundo o Mamede Filho (2010), é em função do nível de proteção desejado e do afastamento entre os condutores de descida, podendo ser determinado como mostra a Equação 3.

$$N_{cd} = \frac{P_{cd}}{D_{cd}} \quad (3)$$

onde:

N_{cd}: é o número de condutores de descida;

P_{cd}: perímetro da construção, em m;

D_{cd}: espaçamento entre os condutores de descida, dado pela Tabela 5.

Observa-se que os condutores de descidas não naturais deveriam ser distribuídos ao longo de seu perímetro do volume a qual deseja-se proteger. Segundo o Mamede Filho (2010) os espaçamentos máximos previstos estão mostrados na Tabela 5, onde devem adotar no mínimo dois condutores de descidas para cada edificação.

Tabela 5: Valores da relação das classes de SPDA com a distância entre os condutores

Classe do SPDA	Distância em m
I	10
II	10
III	15
IV	20

Fonte: Adaptado do Mamede Filho, 2010.

De acordo com a ABNT NBR 5419 – 3 de 2015, a seção dos condutores não deve ser inferior aos valores apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Seção mínima dos condutores de descida

Material	Captor e Anéis intermediários	Condutor de descida para estrutura até 20 m	Condutor de descida para estrutura superior a 20 m	Eletrodo de aterramento
	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²
Cobre	35	16	35	50
Alumínio	70	25	70	-
Aço galvanizado a quente ou embutido no concreto	50	50	50	80

Fonte: Adaptado do Mamede Filho, 2010.

Com relação ao subsistema de aterramento, a NBR 5419 – 3 não preestabelece nenhum valor mínimo ou máximo para a resistência de aterramento,

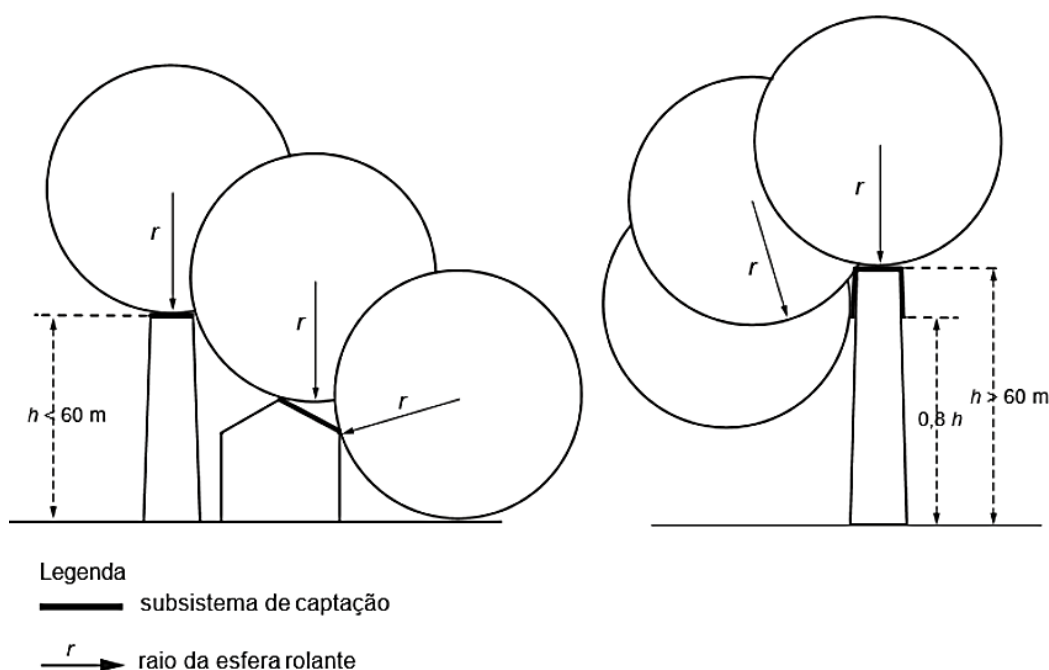
ela sugere que se deve obter a menor resistência de aterramento possível para as condições existente no local, devendo ser compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo no local.

- **Método da Esfera Rolante**

Este método é comumente utilizado em construções cuja altura é mais elevada e/ou possui formas arquitetônicas complexas. Para a aplicação deste método utiliza-se uma esfera fictícia a qual rola pela estrutura em todas as possíveis direções. Se nenhum ponto da estrutura, com exceção do subsistema de captação, tocar a esfera fictícia, a área estará assim protegida (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

Desta forma a aplicação e os parâmetros da esfera rolante baseiam-se na premissa de uma esfera de raio R_e com o seu centro localizado na extremidade do líder antes do seu último salto. Ao rolar essa esfera fictícia sobre o solo e sobre o sistema de proteção, delimita-se a região em que ela não toque, delimitando assim a zona de proteção do método. Desse modo, a zona a ser protegida pode ser definida como a região em que a esfera rolante não consegue tocar, exceto nos captores (NBR 5419 – 3, 2015). A Figura 6 ilustra a aplicação do método da esfera rolante

Figura 6: Aplicação do método da esfera rolante.



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419-3, 2015.

Segundo ao Mamede Filho (2010), esse método é empregado com muita eficiência em estruturas de altura elevada e/ou formas arquitetônicas complexas. Ainda segundo Mamede Filho, 2010, à medida que a altura da haste captora aumenta, de modo que $H_c \geq R_e$, é observado que o método perde eficiência, isso porque o seu volume de proteção não cresce com o aumento do comprimento da haste captora. Outro fator de grande relevância será a altura da estrutura a ser protegida. Isso porque estruturas com altura superior a 60 metros possuem maior chance de serem atingidas por descargas atmosféricas laterais, sobretudo em pontas, cantos e em saliências significativas, como: varandas, marquises etc. Sendo necessária a instalação de captadores laterais (ABNT NBR 5419 – 3, 2015)

A Tabela 7 apresenta os valores do raio da esfera rolante e do afastamento máximo entre os condutores da malha de aterramento.

Tabela 7: Valores adotados para o raio da esfera rolante de acordo com a classe de SPDA.

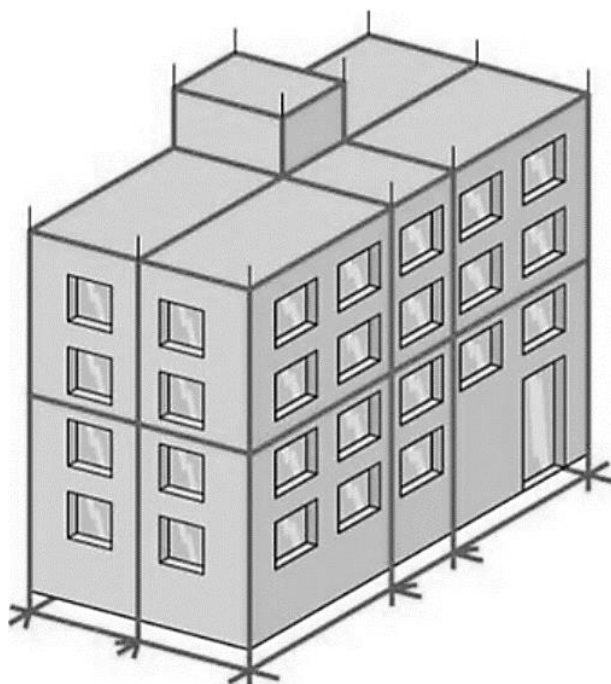
–	Método de proteção	
Classe do SPDA	Raio da esfera rolante	Máximo afastamento dos condutores da malha
I	20 metros	5 x 5 metros
II	30 metros	10 x 10 metros
III	45 metros	15 x 15 metros
IV	60	20 x 20 metros

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419-2, 2015.

- **Método das Malhas**

O método das malhas, ou método da gaiola de Faraday, é indicado para edificações com grande área horizontal, nas quais será necessário a utilização de grande quantidade de captadores, tornando assim o projeto através do método de Franklin oneroso. Ele consiste em envolver a parte superior da construção com malha captora de condutores elétricos nus, como mostrado na Figura 7 (Mamede Filho, 2010).

Figura 7: Método das Malhas.



Fonte: Adaptado de Sindicato Patronal de Condomínios, 2022.

Cuja distância de separação dos captores nus será em função do nível de proteção desejado, como mostrado na Tabela 8 (NBR 5419 - 3, 2015).

Tabela 8: Distância entre os condutores de malha de acordo com o nível de proteção do SPDA.

Classe do SPDA	Distância em <i>m</i>
I	5
II	10
III	15
IV	20

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419-2, 2015.

É interessante informar que o método das malhas apresentaria proteção máxima no caso do uso de uma superfície envolvendo por completo toda a edificação a ser protegida, algo que aplicável na prática (Mamede Filho, 2010).

O comprimento da malha de proteção não deverá ser maior do que o dobro da largura da malha de proteção, com isso tem-se:

$$L \leq K \times W \quad (4)$$

onde:

L: comprimento do módulo da malha, ver tabela 8;

W: largura do módulo da malha;

K: fator de multiplicação, normalmente é utilizado igual a 1,5.

Para o método das malhas seja aplicado de forma correta deve-se observar alguns pontos e critérios pré-estabelecidos pela NBR 5419 – 3, podendo citar:

- condutores captadores devem ser instalados:
 - na periferia da cobertura da estrutura;
 - nas saliências da cobertura da estrutura;
 - nas cumeeiras dos telhados, se o declive deste exceder 1/10 de comprimento.
- as dimensões de malha não podem ser maiores que os valores encontrados na Tabela 4;
- o conjunto de condutores do subsistema de captação deverá ser construído de tal modo que a corrente elétrica da descarga atmosférica sempre encontre pelo menos duas rotas condutoras distintas para o subsistema de aterramento;
- nenhuma instalação metálica, que por suas características não possa assumir as condições de elemento captador, ultrapasse para fora o volume protegido pela malha do subsistema de captação;
- os condutores da malha devem seguir o caminho mais curto e retilíneo possível da instalação.

Destaca-se ainda que os métodos da esfera rolante e das malhas são adequados para qualquer tipo de instalação. Por outro lado, a aplicação do método do ângulo de proteção é restrita a situações com edificações de formato simples e a altura do elemento de captação (NBR 5419 – 3, 2015).

Para o caso de estruturas com altura acima de 60 metros, captadores laterais devem ser posicionados nas quinas e/ou bordas, devendo atender pelo menos aos requisitos de proteção que se tem para NP IV. A captação lateral poderá ser tanto natural como artificial, devendo, em ambos os casos, ser interligada aos condutores de descida instalados ou interligada a sua estrutura metálica, como será visto mais aprofundado a frente.

A Tabela 9 apresenta alguns materiais que podem ser utilizados como elementos naturais de captação. É importante informar que tais materiais devem apresentar espessura adequada de modo a não sofrer perfurações e nem fusão como consequência do impacto e da passagem da corrente de descarga.

Tabela 9: Espessura mínima de materiais metálicos no subsistema de captação.

Classe do SPDA	Material	Espessura t_1 (mm)	Espessura t_2 (mm)
I a IV	Chumbo	–	2,0
	Aço (inoxidável, galvanizado a quente)	4	0,5
	Titânio	4	0,5
	Cobre	5	0,5
	Alumínio	7	0,65
	Zinco	–	

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419-2, 2015.

• Subsistema de Descida

Neste subsistema é visto a probabilidade de redução de danos devido a corrente da descarga atmosférica que irá fluir pelo SPDA, como também os condutores de descida e seus arranjos que irão ser utilizados para se prevenir contra os seguintes pontos:

- a) caminhos paralelos que a corrente elétrica irá tomar;
- b) o menor comprimento do caminho que a corrente elétrica irá poder percorrer;
- c) equipotencialização das partes condutoras da estrutura;

A fim de se ter melhor distribuição das correntes elétricas entre os elementos de descida, deve-se observar a forma de interligação deles, pois a partir disto será possível diminuir os riscos e danos a estrutura. Para se obter melhor distribuição das correntes de descargas, tem-se que as interligações horizontais com os condutores de descida para o nível do solo, devem ter intervalos de separação entre 10 e 20 metros de altura, de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10: Valores da relação das classes de SPDA com a distância entre os condutores

Classe do SPDA	Distância em <i>m</i>
I	10
II	10
III	15
IV	20

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419-2, 2015.

• Subsistema de Aterramento

O subsistema de aterramento é responsável pela proteção da estrutura, ajudando na dispersão da corrente da descarga elétrica atmosférica para a terra sem que haja nenhum prejuízo a estrutura e/ou aos seres vivos que frequentam ou passam próximo a ela (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

A geometria e dimensões da malha de aterramento devem ser especificadas para cada caso específico. Além disso, a resistência de aterramento, alinhamento com os arranjos de eletroduto, topologia e resistividade do solo são pontos chaves para se obter um sistema de aterramento bem dimensionado (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

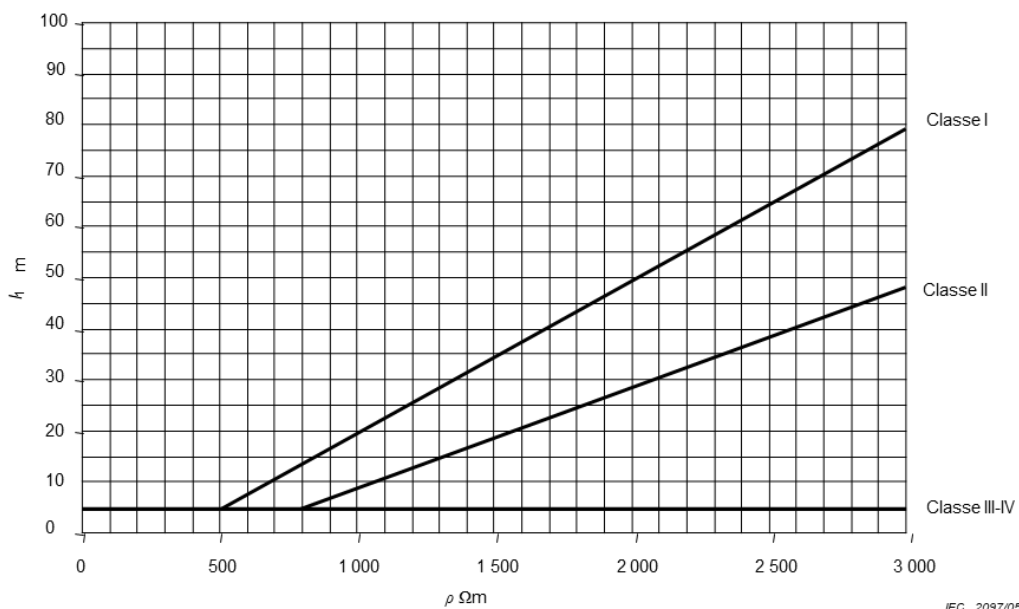
Quando não se é possível aproveitar as armaduras de fundação como eletrodo de aterramento, é recomendado a utilização de um condutor em formato de anel em contato direto com o solo, com no mínimo 80% de seu comprimento composto por uma interligação entre as armaduras que estão descontinuas na sua fundação, formando no entorno desta fundação um anel de aterramento. Vale salientar que, embora os outros 20% que compõem o subsistema de aterramento, não precisem estar em contato direto com o solo, estes deverão, obrigatoriamente, apresentar continuidade elétrica com o restante do subsistema (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

Através da Equação 5 é possível obter o raio médio equivalente r_e de uma circunferência que tenha a mesma área do seu anel de aterramento atingida l_1 . Assim observar-se que esta área não poderá ser inferior ao valor do seu comprimento l_1 , que varia de acordo com a classe de SPDA utilizada no projeto.

$$r_e \geq l_1 \quad (5)$$

Os valores referentes ao comprimento da haste de aterramento l_1 podem ser estimados através da Figura 8 (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

Figura 8: Valores referentes ao comprimento l_1 .



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419-3, 2015.

Analisando a Figura 8, verifica-se que as classes de SPDA III e IV possuem o mesmo comprimento de haste independentemente da resistividade do solo. Isso se deve ao fato de ambos apresentarem independência da resistividade do solo. Para solos com resistividade superior a $3\,000 \Omega.m$, as curvas para as Classes I e II podem ser prolongadas utilizando as Equações 6 e 7 respectivamente (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

$$l_1 = 0,03\rho - 10 \text{ (classe I)} \quad (6)$$

$$l_1 = 0,02\rho - 11 \text{ (classe II)} \quad (7)$$

Para o caso em que o valor do raio médio r_e for inferior a l_1 , deve-se instalar eletrodos adicionais tanto horizontalmente (l_r) como verticalmente l_v estar localizados o mais próximo possível dos pontos onde irão estar os condutores de descida. Os valores dos comprimentos adicionais podem ser determinados através das Equações 8 e 9 respectivamente (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

$$l_r = l_1 - r_e \quad (8)$$

$$l_r = (l_1 - r_e) / 2 \quad (9)$$

Os condutores utilizados no subsistema de aterramento, devem ser enterrados no solo com uma profundidade de no mínimo 0,5 m. Além do mais, devem estar a uma distância máxima de 1 m das paredes externas da edificação a ser protegida, sendo recomendado o uso de caixa de passagem para futuras inspeções durante e/ou após a construção (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

Os captosres e condutores de descida devem ser fixados de tal forma que todas as forças eletrodinâmicas e/ou mecânicas que venham a afetá-los, não causem nenhum tipo de prejuízo ou danos a estes elementos. Nesse sentido, a NBR 5419-3 fornece as seguintes distâncias:

- a) até 1,0 metro para condutores flexíveis na horizontal;
- b) até 1,5 metros para condutores flexíveis na vertical ou inclinados;
- c) até 1,0 metro para condutores rígidos na horizontal;
- d) até 1,5 metros para condutores rígidos na vertical ou inclinado.

- **Equipotencialização do SPDA**

De acordo com a NBR 5419 – 3 de 2015 a equipotencialização deverá ser efetuada a partir do ponto mais próximo de onde os elementos condutores externos adentram na estrutura a ser protegida. Assim observa-se que os seus condutores de ligação devem ser capazes de suportar a parcela I_f da corrente da descarga atmosférica que flui por meio desses condutores, a qual deve ser avaliada de acordo com a ABNT NBR 5419-1:2015 no seu Anexo F.

De acordo com NBR 5419 – 3, dois tipos de interligações são possíveis, a saber:

- a) interligação direta - composta por condutores de ligação, sendo aplicado em locais em que a continuidade elétrica não é possível através de ligações naturais;
- b) interligações indiretas - compostas por Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS), apresentando conexões diretas por meio de condutores de ligação que não puderam ser realizadas ou também através do uso de

centelhadores que possuem conexões direta por meio de condutores de ligação não permitidas.

Segundo a NBR 5419-3 de 2015, destaca-se que se uma ligação direta não for aceitável, ela deverá então ter de usar DPS a fim de se ter a devida proteção, este equipamento deverá obedecer a algumas características descritas e sugeridas pela norma, que serão:

- $I_{imp} \geq I_F$, onde I_F será a corrente da descarga atmosférica que flui ao longo do condutor externo considerando assim o seu nível de proteção que deverá ser inferior ao nível suportável a impulso de isolamento entre as partes;
- Deverá possuir uma tensão de impulso disruptiva nominal U_{RIMP} menor que o nível de impulso suportável de isolamento entre as partes.

Observa-se a necessidade de uma equipotencialização sem que um o sistema de proteção seja necessário, onde isso se dá a partir da recomendação da NBR 5419-3 de 2015 que o BEP ou o BEL, oriundos da instalação elétrica de baixa tensão sejam usados especificamente para este fim.

É importante informar que o barramento de equipotencialização do SPDA deve ser interligado e coordenado com outros barramentos de equipotencialização existentes na estrutura. No primeiro nível de coordenação, esse barramento deve ser sempre o BEP (NBR 5419-3, 2015).

Por fim, destaca-se que a equipotencialização de instalações metálicas de um SPDA externo isolado deverá ser efetuada somente quando se estiver ao nível do solo. Já no SPDA externo não isolado deverá ser realizada equipotencialização nos seguintes locais: na base da estrutura ou próximo ao nível do solo e onde a isolamento elétrica não é atendida (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

2.3.5 Parte 4: Sistemas Elétricos e Eletrônicos Internos na Estrutura

Segundo a NBR 5419-3 de 2015, as descargas atmosféricas como fontes de danos geram um altíssimo nível de energia e com isso é preciso se ter um sistema de proteção, para se proteger os sistemas eletroeletrônicos existentes na estrutura, pois estes sistemas são bastantes sensíveis a variação de energia, desta forma fica clara a necessidade de implementação de medidas adicionais de proteção.

Essa norma fornece informações para o projeto, instalação, ensaios, inspeção e manutenção de sistema de proteção elétricos e eletrônicos através da aplicação das chamadas Medidas de Proteção Contra Surtos (MPS), cujo objetivo é reduzir os riscos de danos permanentes internos à estrutura, oriundos do impulso eletromagnético da descarga atmosférica ou LEMP (do inglês *Lighting Eletromagnetic Pulse*) que podem ser causados por meio de (ABNT NBR 5419 - 3, 2015):

- Surtos conduzidos ou induzidos pelos cabos conectados aos sistemas;
- Efeitos dos campos eletromagnéticos irradiados diretamente para os próprios equipamentos.

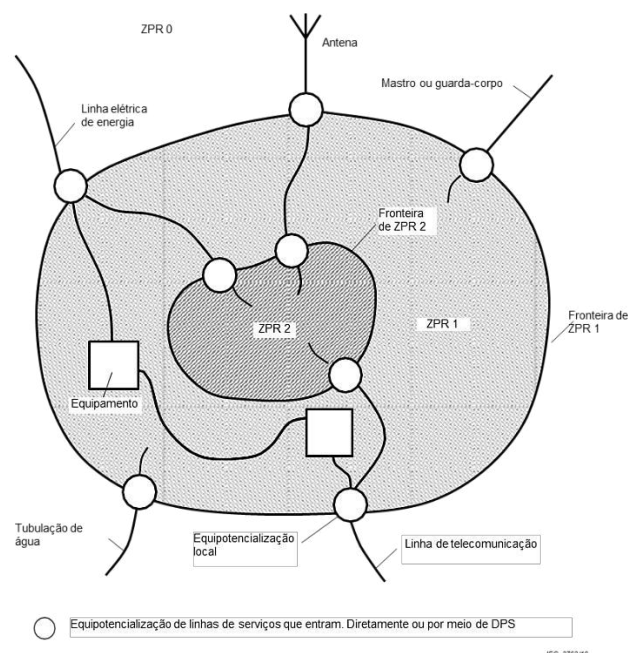
Assim, verifica-se que estes surtos na estrutura podem ter origem em fontes externa e/ou internas à própria estrutura a ser protegida, de tal modo que (NBR 5419-3, 2015):

- Surtos com origem externa à estrutura são criados por descargas atmosféricas que atingem as linhas entrando na estrutura, ou o solo próximo a elas, e são transmitidos aos sistemas elétricos e eletrônicos dentro da estrutura por meio destas linhas;
- Surtos com origem interna à estrutura são criados por descargas atmosféricas que atingem a própria estrutura ou o solo próximo a ela.

A norma fundamenta que a proteção contra os efeitos oriundos do LEMP pode ser obtida através dos estabelecimentos de Zonas de Proteção Contra Raios (ZPR). Desta forma as ZPR são associadas à parte de um sistema interno, onde segundo a NBR 5419-3, a suportabilidade dos sistemas internos existentes deve ser compatível com a severidade do LEMP é compatível com.

A Figura 9 ilustra como é possível obter a divisão de determinada região interna a uma edificação em suas respectivas ZPR.

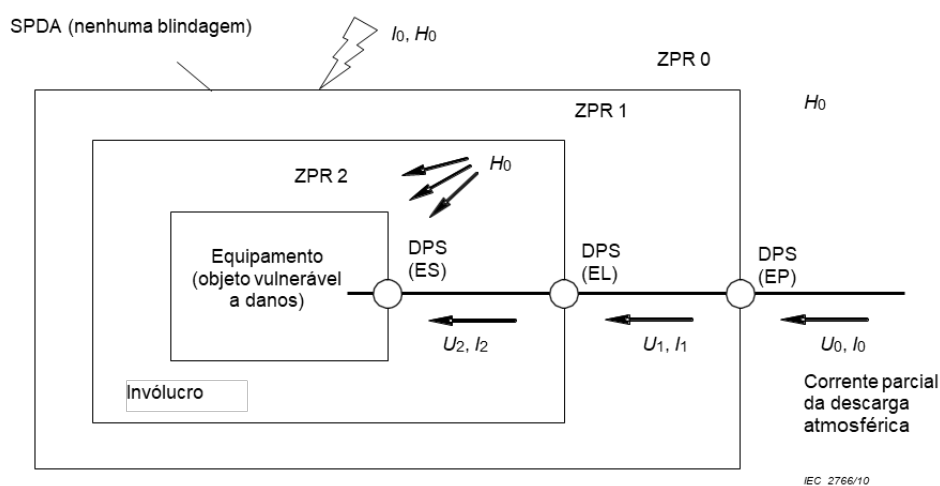
Figura 9: Princípios gerais para a divisão de diferentes ZPR



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5419-4, 2015.

A Figura 10 ilustra como as fronteiras de uma ZPR são definidas pelas medidas de acordo com as medidas de proteção adotadas e as suas respectivas zonas de proteção (ABNT NBR 5419 – 4, 2015).

Figura 10: Diagrama de uma MPS usando um sistema coordenado de DPS para cada zona de proteção.



Fonte: Adaptado ABNT NBR 5419-4, 2015.

Onde:

- EP: Equipotencialização principal;
- EL: Equipotencialização local;
- ES: Equipotencialização suplementar.

Como visto anteriormente o sistema de aterramento é responsável por conduzir e dispersar as correntes da descarga atmosférica para o solo, desta forma ele será encarregado pela redução das perdas através da rede de equipotencialização, que por sua vez será responsável por prevenir contra danos oriundos do campo magnético e as suas diferenças de potencial (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

Uma forma de proteção bastante relevante dentro de todo o sistema de proteção contra descargas atmosféricas será o DPS. Este dispositivo deve ser instalado em cada ponto onde uma linha de sinal ou de energia penetra a ZPR. A necessidade de utilização de um DPS depende da distância dos equipamentos até o DPS (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).

Os DPS são classificados em três classes distintas que terão aplicações em diferentes casos a depender do projeto e do que se deseja proteger, de modo que:

- Classe I: Destinada a proteção contra surtos elétricos conduzidos provenientes de descargas atmosféricas diretas, este tipo de DPS deve ser instalado no quadro de entrada da edificação;
- Classe II: Destinada a proteção contra surtos elétricos provenientes de descarga atmosféricas indiretas, ou seja, quando atinge os arredores da edificação e/ou linhas de sinal e/ou energia, deve ser instalado em quadro de distribuição;
- Classe III: Deverá ser utilizada próximo ao equipamento protegido, geralmente utilizado em locais de baixa exposição ou como complemento de proteção.

2.3.6 Equipamentos e Métodos de Uso

Além da inspeção visual, a emissão de laudo técnico de SPDA deve ser embasada através de dados coletados via equipamentos específicos. A Figura 11 ilustra um paquímetro, equipamento de precisão utilizado para verificar se a espessura ou diâmetro dos elementos condutores utilizados como elementos de descida, captação e/ou aterramento estão de acordo com prescrito na NBR 5419-3.

Figura 11: Paquímetro.



Fonte: TECNO FERRAMENTAS, 2022

Outro equipamento comumente utilizado para essa finalidade é o Miliohmímetro, ilustrado na Figura 12. Esse equipamento é capaz de atestar a continuidade elétrica do sistema em análise., ele mede com alta precisão a resistência de baixo valor ôhmico de malhas de aterramento, permitindo assim que seja feita leituras de resistência na ordem de 20mΩ e 1999mΩ (2Ω) e tendo também a sua menor resolução de 000,1mΩ (HIGMED, 2022). Com isso, pode-se verificar a continuidade elétrica do sistema analisado, isto é, dos elementos condutores que compõem o subsistema de descida do SPDA.

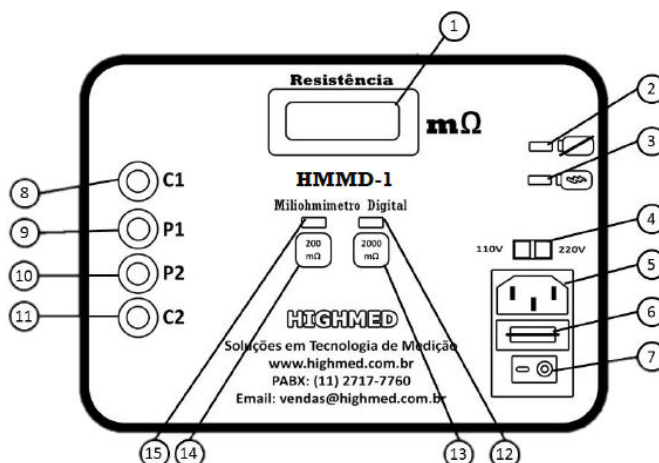
Figura 12: Miliohmímetro



Fonte: Adaptado do HIGMED, 2022.

Na Figura 13 pode-se observar os detalhes do visor de um modelo de Miliohmímetro comercial, e logo após a descrição de cada um de seus componentes.

Figura 13: Monitor do Miliohmímetro HIGMED.



Fonte: Adaptado do HIGMED, 2022.

Onde:

1. Display de cristal líquido (LCD);
2. Led de bateria fraca;
3. Led de bateria carregando;
4. Chave 110V / 220V;
5. Tomada de alimentação;
6. Porta fusíveis;
7. Chave ON/OFF;
8. Borne C1;
9. Borne P1
10. Borne P2
11. Borne C2
12. Led escala 2000mΩ;
13. Botão escala 2000mΩ;
14. Botão escala 200mΩ;
15. Led escala 200mΩ.

O Anexo F da NBR 5419-3 de 2015 trata especificamente sobre a realização de ensaio de continuidade elétrica nas armaduras e outros parâmetros técnicos que têm que ser seguidos a fim de se colher os seguintes dados: a verificação de continuidade elétrica de pilares e trechos de armaduras na fundação; e, logo após a instalação do sistema, verificar a continuidade de todo o sistema envolvido.

Logo, realizar a verificação da continuidade elétrica dos elementos de descida que compõem o SPDA da edificação analisada no presente trabalho. Entretanto, a

metodologia de realização desse ensaio é abordada a seguir observando o disposto na NBR 5419 – 3.

Para se realizar o teste de continuidade elétrica, deve-se (ABNT NBR 5419 – 3, 2015).:

- Identificar os pilares de concreto na qual o ensaio deverá ocorrer;
- Fazer a remoção do cobrimento do concreto do pilar escolhido, com o objetivo de expor a sua armadura de aço, tanto da parte mais alta próxima a cobertura como da parte mais baixa próximo a fundação;

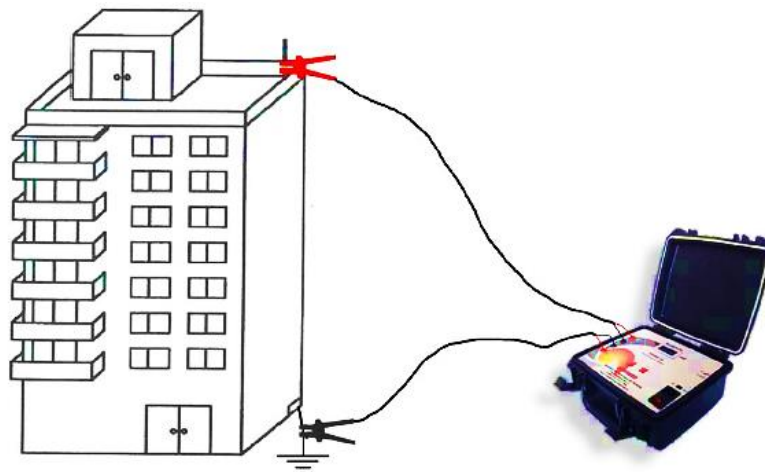
Em seguida, será possível fazer a fixação dos conectores terminais dos cabos de ensaio do Miliohmímetro. É importante destacar que durante as medições, deve-se realizar a limpeza dos pontos da estrutura em que os conectores do miliohmímetro serão ligados. Tal prática minimiza a resistência de contato entre os terminais do equipamento e o ponto de conexão da estrutura analisada, garantindo assim melhor contato elétrico possível.

Segundo a NBR 5419 – 3 de 2015, o ensaio de continuidade elétrica das ferragens deve mediante o uso de equipamento que forneça corrente elétrica com faixa de operação de 1 A e 10 A, frequência diferente de 60 Hz. Para se ter uma medição mais precisa, é utilizado o Método de Kelvin, nele é utilizado 4 fios onde o seu conjunto terá funcionalidades distintas: 2 fios irão ser utilizados para ser feito a injeção da corrente e os outros 2 fios fazem a medição da tensão, feito isso é possível ser feito a anulação das resistências de contatos das pontas de prova mostrando somente a resistência do componente sob medição (HIGMED, 2022).

A fim de se obter uma verificação final deve ser realizado procedimentos de medição nos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas que utilizam componentes naturais nas suas descidas, essa medição deve ser feita logo após a sua instalação. Essa medição deverá ser realizada entre os dois extremos da estrutura, o ponto mais alto do subsistema de captação e o mais baixo do subsistema de aterramento, preferencialmente no BEP (Barramento de Equipotencialização Principal) onde, segundo o Anexo F da NBR 5419-3, o valor máximo medido no trecho deverá ser $0,2 \text{ m}\Omega$. Vale destacar que a continuidade das armaduras só será aceitável se os valores medidos para trechos semelhantes forem da mesma ordem de grandeza e inferiores a $1 \text{ }\Omega$ (ABNT NBR 5419-3, 2015).

A Figura 14 ilustra como deverá ser feito a ligação dos conectores de um Miliohmímetro junto a estrutura para assim ser feito a coleta de dados junto ao equipamento (HIGMED, 2022).

Figura 14: Forma de medição



Fonte: Adaptado da HIGMED, 2022.

Outro equipamento comumente utilizado nos laudos e medições técnicas com o intuito de se fazer a coleta de dados é o terrômetro, ilustrado na Figura 15. Esse equipamento é utilizado para medir a resistência elétrica do subsistema de aterramento, como também a resistividade do terreno.

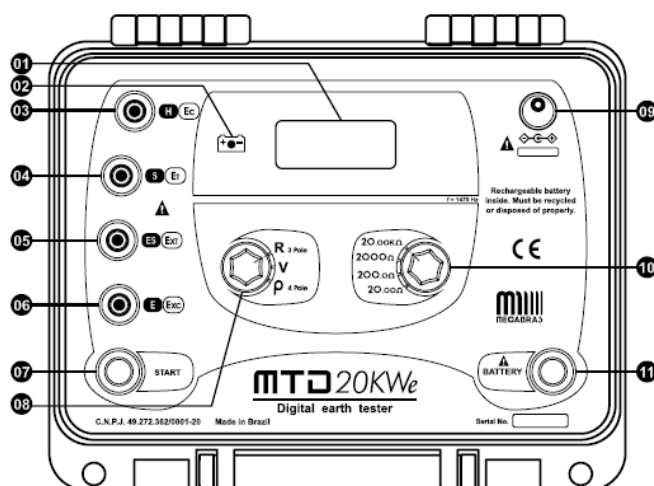
Figura 15: Terrômetro



Fonte: Adaptado da MEGABRAS, 2008.

A Figura 16 ilustra todos os dados do terrômetro ilustrado na Figura 15.

Figura 16: Monitor do Terrômetro MEGABRAS



Fonte: Adaptado da MEGABRAS, 2008.

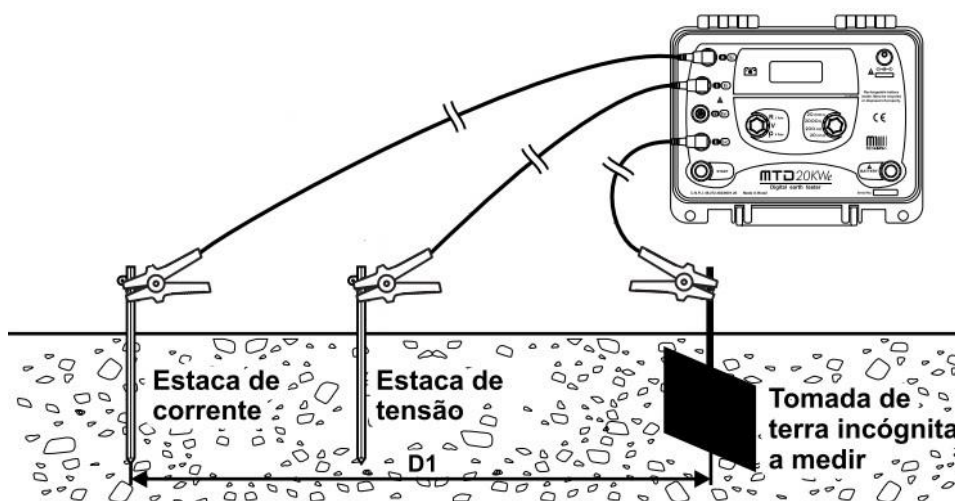
Onde:

1. Display de $3\frac{1}{2}$ dígitos onde são exibidos os valores das medições;
2. Led do carregador de bateria;
3. Borne H (E_C);
4. Borne S (E_T);
5. Borne ES (E_{XT});
6. Borne E (E_{XC});
7. Botão pulsador de Start (Início);
8. Seleção de função:
 - R (3 poles) = Resistência (3 estacas);
 - V = Voltímetro CA;
 - ρ (4 poles) = Resistividade (4 estacas).
9. Entrada da fonte de alimentação;
10. Seleção de escala;
11. Botão Battery (Bateria).

A obtenção do valor de resistência de aterramento existente pode ser feita através de terrômetro de 3 ou 4 hastes, sendo usado o método da queda de potencial, abordado detalhamento e na NBR 15749 de 2009. Em resumo, o método da queda de potencial consiste em se fazer circular uma corrente através do eletrodo de aterramento sob ensaio por intermédio de um eletrodo auxiliar de corrente

A Figura 17 demonstra como deve ser posicionado cada eletrodo do terrômetro e sua relação com o eletrodo de aterramento sob análise. Como ilustrado nessa figura, o eletrodo E deve ser colocado na malha de aterramento, eletrodo auxiliar de corrente (H) deve estar posicionado a uma distância específica do eletrodo E, e, por fim, o eletrodo auxiliar de potencial (S) deve ser fixado entre o eletrodo da malha de aterramento e o eletrodo auxiliar de corrente. Segundo a NBR 15749 de 2009, o eletrodo H deve ser posicionado a uma distância “D1” da malha de aterramento. Segundo essa norma, o valor de “D1” deve ser no mínimo de 3 vezes o valor da maior dimensão da malha de aterramento.

Figura 17: Medição de Resistência de Tomada de Terra



Fonte: Adaptado da MEGABRAS 2008.

Onde:

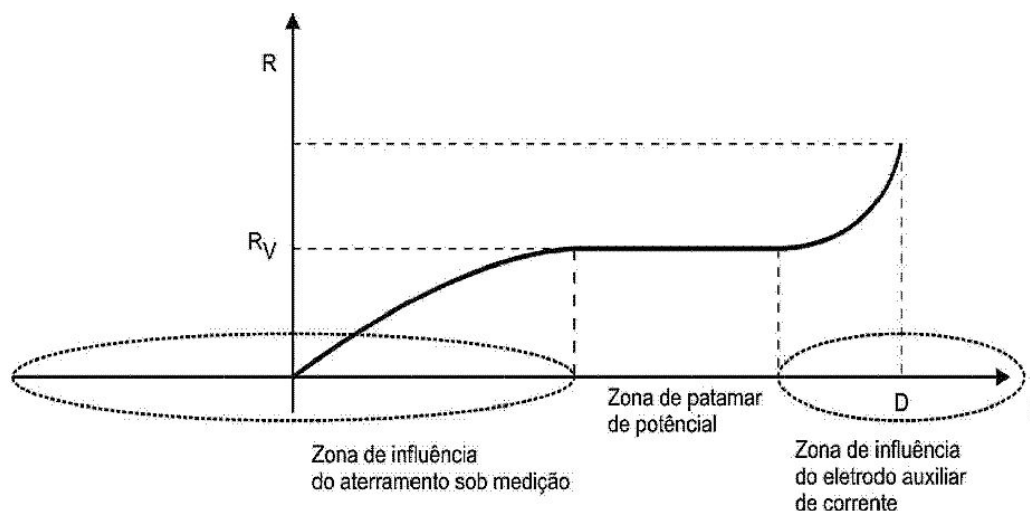
- I – Corrente de ensaio;
- S – Borne para sonda ou eletrodo auxiliar de potencial;
- H – Borne para eletrodo auxiliar de corrente;
- E – Borne para malha de aterramento sob medição.

Depois de coletado todos os dados do equipamento, deve ser feito o cálculo de erro relativo com o processo para se garantir que a medição está correta, de modo a se ter a resistência do sistema ensaiado medida.

A curva característica completa da resistência do sistema de aterramento é obtida a partir do posicionamento do eletrodo H a uma distância mínimo 3D1 do eletrodo E e variando o posicionamento do eletrodo S em intervalo iguais a no máximo

5 % de D_1 , no sentido do eletrodo E em direção ao eletrodo H. A Figura 18 ilustra a curva característica teórica da resistência de aterramento para o método citado.

Figura 18: Curva Característica Teórica da Resistência de Aterramento de um Eletrodo Pontual.



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15749 de 2009.

Onde:

R – Resistência obtida variando a distância da sonda desde a distância

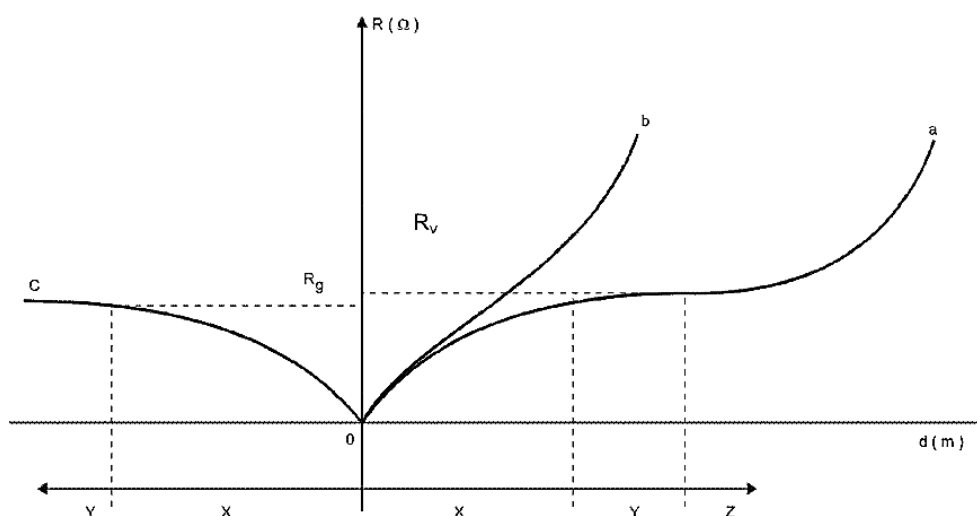
$d = D$;

R_v – Valor verdadeiro do aterramento.

Diante das informações fornecidas na curva característica teórica da resistência de aterramento nota-se que se o eletrodo de medição deverá ser fixado dentro da zona de patamar e assim variar-se a sua distância dentro desta zona, pois assim ela não irá sofrerá influência dos eletrodos auxiliares e suas zonas de influência. Caso a haste seja fixada em uma de suas zonas de influência ocorrerá uma variação brusca de sua resistência, sendo assim não será um ponto adequado de fixação das hastes (NBR 15749 de 2009).

Na Figura 19 está demonstrando algumas informações que a NBR 15749 de 2009 fornece em relação a curva característica teórica da resistência de aterramento que são:

Figura 19: Curvas Típicas de Resistência de Aterramento em Função das Distancias dos Eletrodos.



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15749 de 2009.

Segundo a NBR 15749 (2009), da análise da Figura 19 pode-se concluir que:

- a) Se o deslocamento do eletrodo de potencial S coincidir com a direção e o sentido do eletrodo de corrente H, e este último estiver a uma distância satisfatória, maior que a zona de influência do sistema ensaiado E, será assim obtido uma curva semelhante à curva “a”;
- b) Se o deslocamento do eletrodo de potência S coincidir com a direção e o sentido do eletrodo de corrente H, e este último estiver a uma distância insuficiente, menor que a zona de influência do sistema ensaiado E, é obtido uma curva semelhante à curva “b”;
- c) Se o eletrodo de potencial S se deslocar na mesma direção e em sentido contrário ao eletrodo H, para o outro lado do sistema sob ensaio E, partindo do princípio de que o espaçamento entre H e E seja satisfatório, é obtido uma curva semelhante à curva “c”.

3. METODOLOGIA

Para desenvolver o laudo do SPDA do prédio Laboratório II da UFERSA, campus Caraúbas, local onde o estudo foi desenvolvido, foram feitas visitas ao local a fim de checar os seguintes itens (NBR 5419-3, 2015):

- A deterioração e corrosão dos captosres, condutores de descida e conexões;
- Condição das equipotencializações;
- Corrosão dos eletrodos de aterramento;
- Verificação da integridade física dos condutores do eletrodo de aterramento para os subsistemas de aterramento não naturais.

Além disso, também serão realizadas medições com equipamentos específicos a fim de verificar:

- A continuidade elétrica do subsistema de descida e captação;
- A resistência elétrica do subsistema de aterramento.

Observa-se que a eficácia do sistema de proteção irá depender da sua instalação, manutenção e métodos de ensaios utilizados. Assim deverá se ter o devido cuidado quando se for analisar estes dados, pois eles só poderão ser realizados quando não se houver nenhuma incidência de tempestades (NBR 5419 – 3, 2015).

Com o objetivo de se ter uma inspeção adequada e que assegure que toda a instalação está corretamente dimensionada, segundo a NBR 5419 – 3 de 2015 deverá se obedecer a três pontos, que são:

- O SPDA deverá estar de acordo com o projeto baseado na Norma;
- Todos os componentes do SPDA devem estar em boas condições capazes de cumprir suas funções, que não apresentem corrosão, e atendam às suas respectivas normas;
- Qualquer nova construção ou reforma que altere as condições iniciais previstas em projeto além de novas tubulações metálicas, linhas de energia

e sinal que adentrem a estrutura e que esteja incorporada ao SPDA externo e interno se enquadrem na NBR 5419-2015.

Observa-se que para se realizar uma inspeção correta na estrutura deve-se seguir todos os parâmetros e sugestões citados até aqui. Durante a execução da ordem de inspeção deve ser observado alguns detalhes que irão ajudar na perfeita execução do projeto, segundo a NBR 5419 – 3 de 2015 são eles:

- Deve ser feito uma inspeção visual semestral apontando eventuais pontos deteriorados no sistema;
- Profissionais habilitados e capacitados devem realizar periodicamente inspeções, emitindo assim documentos pertinentes e que demonstrem todas as possíveis correções ou atestem que o sistema está em perfeita condição de funcionamento.

O período de realização dessas vistorias irá variar de acordo com a estrutura, assim temos que:

- 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 em estruturas pertencentes a fornecedores de serviços considerados essenciais (energia, água, sinais etc.);
- Três anos, para as demais estruturas.

Para elaboração do laudo deve-se verificar se o SPDA encontrado no local está em concordância com todas as prescrições da NBR 5419/2015. As inconformidades devem ser apontadas e recomendações devem ser feitas do sentido de atualizar o sistema existe segundo a NBR 5419-3, a análise dos parâmetros de dimensionamento das descidas, anel de aterramento e subsistema de captação deve se fazer com a utilização de equipamentos técnicos adequados para cada subsistema, equipamentos estes já citados anteriormente.

Ao longo do trabalho, buscou-se realizar todas as medições citadas na NBR 5419. Entretanto, não foi possível utilizar o miliohmímetro, sendo possível apenas o uso de terrômetro.

O primeiro passo para a análise do SPDA foi obter junto a UFERSA, campus Caraúbas, o projeto de SPDA do bloco Laboratórios II. Isso feito, foi possível organizar os procedimentos para se realizar as medições e poder assim registrá-las de forma clara e objetiva.

Como não foi possível obter o memorial descritivo do projeto SPDA instalado no local. Através dele, pode-se observar os detalhes vala da malha de aterramento, conexão do cabo de cobre com a haste de aterramento, conexão das estruturas metálicas com a malha da captação, conexão da descida com a malha de aterramento, interligação do re-bar interna às re-bar externas, dentre outros detalhes. Vale salientar que estes detalhes foram projetados para a realidade da época e da norma vigente, isto é, NBR 5419 do ano de 2005.

3.1 Equipamentos Utilizados na Medição

O equipamento disponível no dia da medição não disponha de cabeamento com tamanho suficiente para se fazer a medição adequada, como apresentada na NBR 15749, do anel de aterramento existente no prédio Laboratórios II. Dessa forma foi feito medições de uma malha de aterramento do padrão de entrada do Bloco de Professores I objetivado com isso demonstrar a aplicação como esse tipo de medição pode ser realizada na prática.

Para a medição em questão, foi utilizado o terrômetro da Minipa MTR-1522 mostrado na Figura 20. Vale ressaltar que não foi encontrado o certificado de calibração dele.

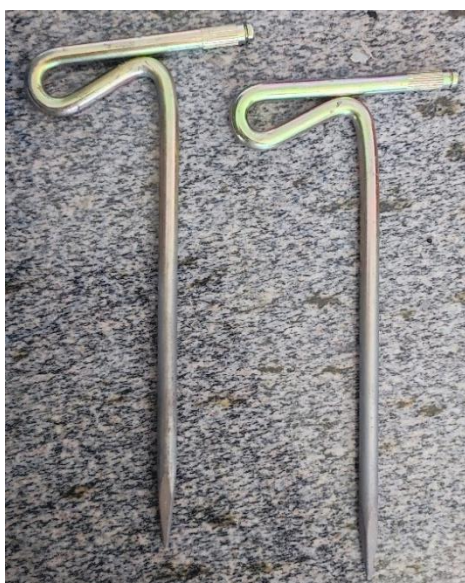
Figura 20: Terrômetro Minipa MTR-1522 utilizado nas medições.



Fonte: Autor, 2022.

A Figura 21 mostra as hastes do terrômetro utilizadas tanto na injeção de corrente como na medição da resistência de aterramento. O eletrodo S do terrômetro foi conectado diretamente ao eletrodo de aterramento presente na caixa de inspeção do aterramento analisado.

Figura 21: Hastes de medição do Terrômetro.



Fonte: Autor, 2022.

A Figura 22 mostra os cabos com garras em suas pontas nas cores verde, que representa a conexão na malha do aterramento (eletrodo E), amarela, usado para medir a resistência do aterramento (eletrodo S), e a vermelha, usado para injetar corrente no solo (eletrodo H)

Figura 22: Cabeamento utilizado.



Fonte: Autor, 2022.

A Tabela 11 contém o comprimento de cada cabo.

Tabela 11: Metragem dos cabos utilizados.

Corres	Tamanho em metros
Verde	5
Amarelo	10
Vermelho	20

Fonte: Autor, 2022.

Além dos materiais já citados, utilizou-se martelo, para auxiliar na fixação das hastes no solo, e fita métrica, para auxiliar na localização dos pontos de fixação do eletrodo S do terrômetro de acordo com as prescrições da NBR 15749.

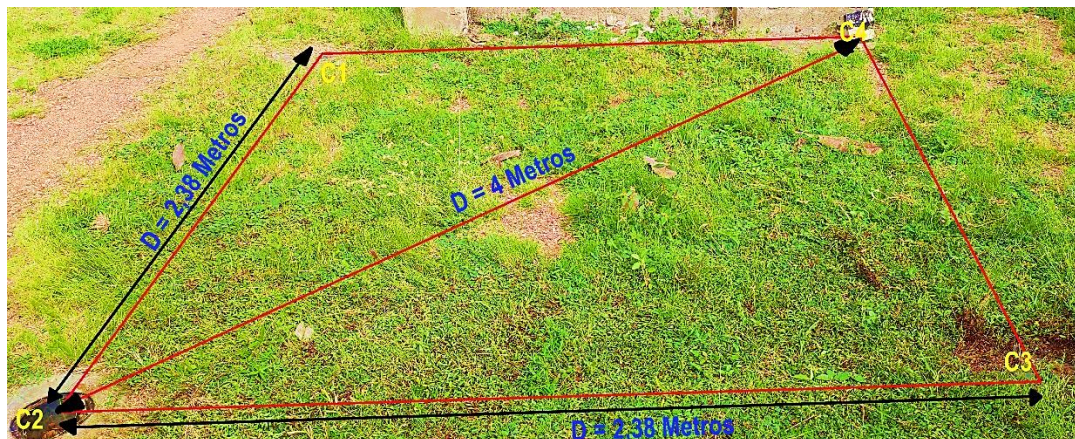
Vale ressaltar, que todos os procedimentos foram feitos com atenção e segurança de modo evitar risco desnecessários durante o manuseio do equipamento que, literalmente, faz injeção de corrente no solo. Estiveram presentes durante as medições para auxiliar e orientar o professor Dr. Francisco das Chagas de Sena, como também o técnico de laboratório de engenharia elétrica da UFERSA, Campus Caraúbas/RN, Alex Albert de Moura Vale e a estagiária Ana Carla Candeia Lilioso.

3.2 Medições

A Figura 23 mostra detalhadamente o posicionamento das hastes da malha de aterramento analisada e as suas respectivas Caixas (C) de inspeção, representadas pelas siglas C1, C2, C3 e C4, e o tamanho da malha de aterramento,

que no caso em questão trata-se de um conjunto de hastes ligadas em paralelo no formato quadrado.

Figura 23: Malha de Aterramento e suas Dimensões.



Fonte: Autor, 2022.

Segundo a NBR 15749 de 2009, a distância da haste de corrente deverá ser de pelo menos três vezes a maior dimensão deste sistema, nesse caso a diagonal. Assim, mediu-se as distâncias entre haste e calculou-se a diagonal da distribuição de haste, obtendo o valor aproximado de 4 metros. Com isso, determinou-se a distância de cravamento das hastes de injeção de corrente utilizando a Equação 10.

$$D_{HC} = 3 \times M_D \quad (10)$$

$$D_{HC} = 3 \times 4 = 12 \text{ Metros} \quad (11)$$

Onde:

D_{HC} : Distância de perfuração da haste de corrente;

M_D : Maior distância da malha de aterramento.

Desse modo, a haste de injeção e corrente foi cravada 12 metros de distância da malha analisada.

Inicialmente, realizou-se o procedimento aproximado para obter a resistência verdadeira do sistema de aterramento estudado. É importante informar que esse método considera um solo homogêneo e a maior dimensão do sistema analisado deve ser inferior a 10 m. Logo, divergência nesses parâmetros podem resultar na não obtenção do valor real do sistema de aterramento. Nesse caso, deve se proceder no sentido de realizar o levantamento completo da curva característica da resistência de aterramento.

4. RESULTADOS E DISCUSÕES

4.1 Resultados

Assim, para o método aproximado, o eletrodo S do terrômetro foi cravado a 62,5%d (no caso em questão d =12 m), sendo o valor de resistência medido nesse local tomado como referência para o cálculo do erro relativo das duas medições que se seguirão. Na sequência, duas novas medições devem ser realizadas a uma distância 5%d a esquerda e a direita do local da primeira medição. Utilizando esse procedimento, a haste de corrente foi cravada 12 metros da caixa de passagem C1, a haste de medição foi cravada 7,5 metros, 6,9 metros e 8,1 metros.

Assim foi medido vários valores de resistência de aterramento variando-se a sua distância ao longo da distância d, assim foi possível se observar a variação das resistências de acordo com a proximidade com as zonas de influências dos eletrodos de aterramento e de corrente, Tabela 12 está mostrados estes dados.

Tabelas 12: Valor dos Erros Relativos a partir da Variação da Distância.

Distância (m)	Resistência medida (Ω)	Erro Relativo (%) ^a	Aceitável ou Não
0	0	0	-
0,60	1,54	7,42	Aceitável
1,20	1,73		
1,80	1,88		
3,00	2,15	10,55	Não Aceitável
3,60	2,28		
4,20	2,45		
4,80	2,54	6,64	Aceitável
5,40	2,70		
6,00	2,95		
6,90	3,27	12,50	Não Aceitável
8,10	4,25		
8,70	5,50		
9,30	6,95	48,83	Não Aceitável
9,90	10,0		
10,40	16,0		
11,40	24,00	119,14	Não Aceitável
		312,50	Não Aceitável

^a será encontrado a partir da equação 12

Fonte: Autor, 2022.

$$\text{Erro percentual} = \frac{R_2 - R_3}{R_1} * 100 < 10\% \quad (12)$$

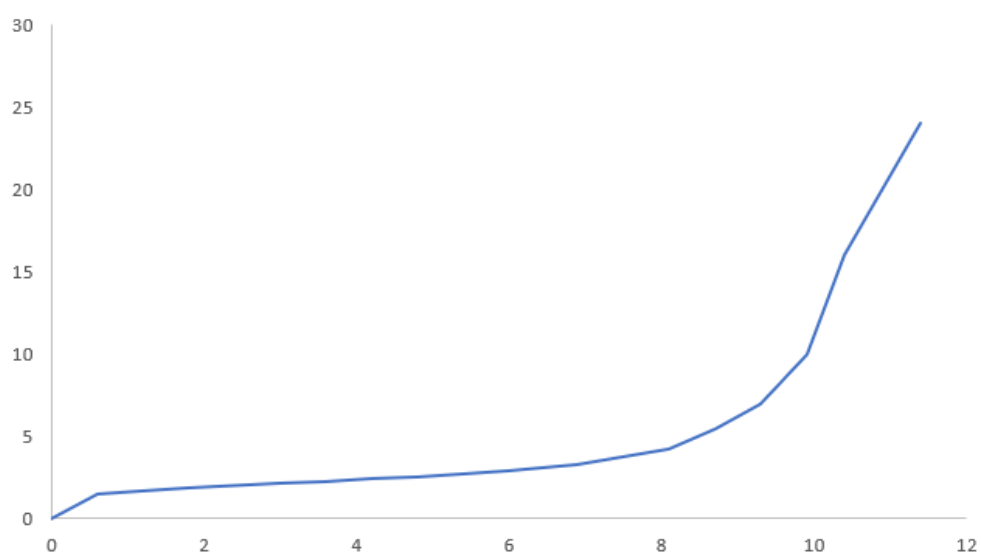
Onde:

R₁, R₂ e R₃ são as respectivas resistências medidas a partir da variação de 5%.

Conforme mostrado na Tabela 12 é possível se observar que as medições feitas próximas a zona de influência do aterramento sob medição terão uma variação brusca na sua resistência tendo assim um erro percentual aceitável para medições, após a variação das distâncias foi observado que o erro percentual ficou acima do permitido que é 10%, desta forma ficando claro que o método aproximado não se aplica, e assim foi utilizado o método exato de medição.

Na Figura 24 está exposto a curva da resistência medida pela sua distância dos dados apresentados na Tabela 12, onde foi possível se observar as variações bruscas de resistência quando estão próximas das zonas de influência.

Figura 24: Curva da Resistência Medida x Distância do Eletrodo de Potência Utilizado para Medição.



Fonte: Autor, 2022.

Analisando a Figura 24, podemos notar os três comportamentos descritos na Figura 16, as medições feitas próximas a zona de influência do aterramento ficaram compreendidas entre 0,60cm e 1,8 metros, onde apresenta uma pequena variação de sua resistência de aterramento e um erro relativo aceitável. Já quando as medições foram feitas próximas da zona de patamar observou-se uma certa constância na variação de sua resistência de aterramento e uma variação do seu erro relativo. Por fim, foi observado uma grande elevação da sua resistência de aterramento isso se deu, pois, as medições ficaram próximas do eletrodo de corrente e com isso sofreram influência de sua zona.

A Figura 25 ilustra o posicionamento e as distâncias das hastes para o levantamento da curva característica completa da resistência de aterramento.

Figura 25: Marcações das Hastes de Medição e Corrente.



Fonte: Autor, 2022.

Onde:

D2 – Haste de corrente;

D3 – Haste de medição.

De posse destas distâncias foi feito a fixação das garras na Figura 26 demonstra como ficou a distribuição para que pudesse ser feito a coleta das medições.

Figura 26: Fixação das hastes.



Fonte: Autor, 2022.

Feito a fixação das hastes, foi se variando a haste de medição afim de se obter a curva característica teórica da resistência de aterramento de um eletrodo pontual descrita na Figura 16. A variação indicada é de 5 % que dá aproximadamente 60 cm, para a direita e para a esquerda, ou seja, foi feito a primeira medição a 7,5 metros, segunda a 8,1 metros e terceira a 6,9 metros, os respectivos valores de medição estão mostrados na Tabela 13.

Tabela 13: Valores das Resistências de Aterramento.

Distância em Metros	Valor da resistência R
7,5	3,7 Ω
6,9	3,27 Ω
8,1	4,25 Ω

Fonte: Autor, 2022.

Para se comprovar que as medições foram feitas corretamente foi feito um cálculo para poder se garantir que elas estão na zona de patamar, para isto é utilizado os três valores encontrados, segundo a NBR 15749 de 2009 o valor encontrado deverá possuir um valor menor que 10%. O valor encontrado foi de 26,4% desta forma é possível se comprovar que o erro relativo não é aceitável, pois o valor medido ultrapassou 10% (NBR 15749, 2009).

Diante dos valores das resistências obtidos com a variação da distância da haste de medição será possível encontrar então a sua resistência de valor verdadeiro do aterramento R_V , que será:

$$R_V = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3} \quad (13)$$

$$R_V = 3,56\Omega$$

Onde:

R_1 , R_2 e R_3 são as respectivas resistências medidas a partir da variação de 5%.

Em alguns casos torna-se difícil ou mesmo impossível a aplicação deste método da queda de tensão, pois as distâncias que são necessárias para se fazer as medições confiáveis são diretamente proporcionais às distâncias do aterramento, assim tornando inviável em instalações urbanas densamente povoadas e/ou caso o comprimento dos cabos disponíveis do equipamento sejam de tamanho inferior ao que se pede, como também em sistemas de aterramento de grandes dimensões. Outro ponto a ser observado é o ponto sob medição, onde ele deverá estar desconectado do sistema de aterramento, portanto lugares onde não existe a caixa de inspeção, tornará mais difícil as medições e ensaio (NBR 15749, 2009).

4.2 Inconformidades Encontradas do Projeto Executado

Durante a vistoria a edificação foram encontradas inconformidades do projeto executado que não seguem o projeto dimensionado. Estas inconformidades podem ser vistas nas caixas de inspeção, malha de aterramento, no subsistema de captação, cabos dos subsistemas de descidas, dentre outros detalhes.

- Caixa de Inspeção

Na caixa de inspeção da entrada do bloco de laboratórios II que está mostrada na Figura 27, foi verificado que a sua tampa de proteção estava danificada, o cabeamento do anel de aterramento estava exposto e em contato com o solo e sem proteção devida, podendo causar assim tensão de passo. Segundo a NBR 5419 – 3 de 2015, 20% do eletrodo convencional possa não estar em contato com o solo, a sua

continuidade elétrica do anel deverá ser garantida ao longo de todo o seu comprimento.

Figura 27: Caixa de Inspeção da Entrada da Edificação.



Fonte: Autor, 2022.

A caixa de inspeção não segue o que foi projetado, a caixa de inspeção do projeto é do tipo solo com tampa reforçada para conexões das malhas, à caixa de inspeção encontrada foi a de alvenaria moldada in loco, com tampa de concreto e fundo analisado argamassado e leve declividade. Estando assim fora dos padrões projetados.

- Subsistema de Aterramento

Segundo a NBR 5419 de 2015 a espessura mínima do cabo da malha de aterramento é de 50 mm², na Figura 28 está mostrado a espessura medida com um paquímetro do cabo de cobre da malha de aterramento encontrado na edificação. Foi encontrado o cabo de cobre nu com espessura de aproximadamente 70mm composto por 10 fios com espessura de aproximadamente 0,1mm.

Figura 28: Espessura Medida *In loco* do Cabo da Malha de Aterramento.



Fonte: Autor, 2022.

Foi observado também que as hastes de aterramento juntamente com as suas ligações estão bastante corroídas por ferrugem, como mostrado na Figura 29.

Figura 29: Haste de Aterramento com Conexões enferrujadas.



Fonte: Autor, 2022.

- Subsistema de Descidas

Durante a visita a edificação foi possível observar que a edificação possui 8 subsistemas de descidas conectadas, 4 na frente da edificação e 4 na parte de trás, na Figura 30 está demonstrado os subsistemas de descida da parte de trás da edificação, as descidas foram numeradas. Segundo a a NBR 5419-3 de 2015 um

condutor de descida deverá estar instalado em cada canto saliente da estrutura além dos demais condutores impostos pela distância de segurança.

Figura 30: Subsistemas de Descidas Encontrados na Edificação.

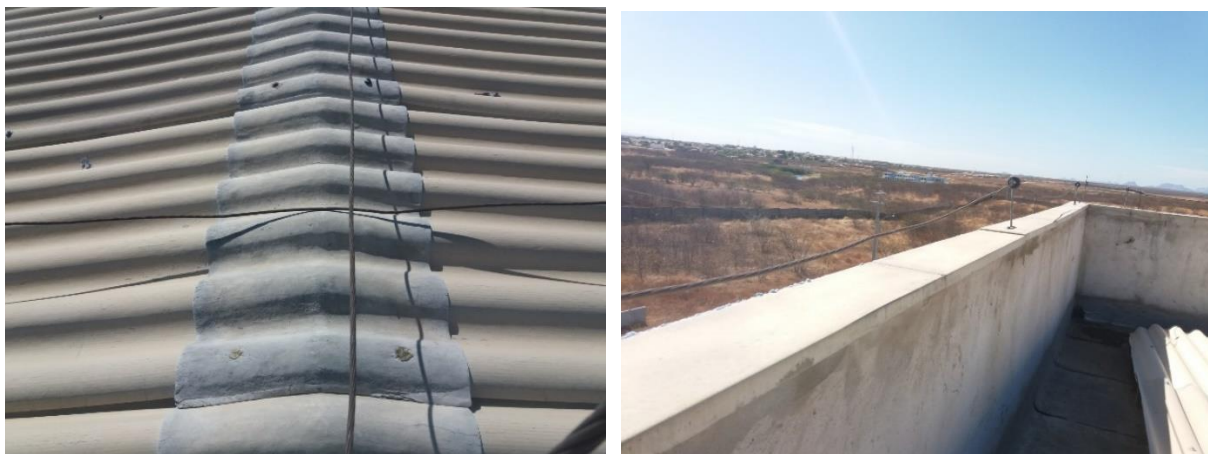


Fonte: Autor, 2022.

- Subsistema de Captação.

O subsistema de captação foi mesclado por malha de cabos de 35mm² e mini captadores. Em praticamente todo o trecho da malha do telhado foi encontrado cabos de cobre com suas amarrações frouxas, como também o anel encontra-se tocando a estrutura como mostra a Figura 31.

Figura 31: Malha de Proteção do Subsistema de Descidas.



Fonte: Autor, 2022.

Como também foi encontrado 4 minis captadores espaçados nas extremidades e no meio da edificação, os tipos dos captadores estão mostrados na Figura 32.

Figura 32: Mini Captor Instalado na Edificação.



Fonte: Autor, 2022.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após analisar o sistema de proteção contra descargas atmosféricas do bloco de laboratórios II da UFERSA Campus Caraúbas/RN, foi possível se verificar a situação em que se encontra o sistema, é observado as suas inconformidades na instalação, podendo ser citado a ausência do memorial descritivo do projeto instalado.

O único projeto fornecido pela instituição foi dimensionado no ano de 2013, onde a norma vigente era a NBR 5419: 2005. Sendo assim, é de grande importância que seja feito uma análise de risco a fim de chegar a um nível de proteção adequado à edificação e assim se fazer atualizações dos padrões atuais da norma.

As caixas de inspeção encontradas na edificação deverá haver a sua substituição pois se encontram danificadas e com inconformidades segundo as NBR 5419 e NBR 15749. Deverá ocorrer uma limpeza nas redondezas das caixas da parte traseira da edificação, elas encontram-se cobertas por vegetação, e assim dificulta as inspeções e medições do subsistema de aterramento e descida.

A malha de aterramento apresentou um resultado plausível em relação a suas dimensões, pois atende às dimensões sugeridas na NBR 5419 – 3 de 2015, mas as suas condições físicas requerem uma manutenção e/ou uma substituição de alguns cabos a fim de se ter uma proteção mais confiável. Pois em alguns pontos de conexão da malha com as hastes de aterramento foi encontrado corrosão.

Segundo a NBR 5419 – 3 de 2015 em seu item 5.5.3 demonstra a obrigatoriedade da instalação das caixas de inspeção nos subsistemas de descidas, com altura sugerida de 1,5 metros a partir do piso, onde assim proporcionará um acesso fácil para se realizar ensaios de medição e manutenção. A falta desse quesito é considerada um problema na qual deverá ser feito a troca e a readequação ao projetado e sugerido em norma. Outro problema encontrado foi a falta das caixas de inspeção para se fazer a medição da continuidade de sua malha, que segundo a NBR 5419 – 3 de 2015 no item 5.3.6 diz que nas junções entre os cabos de descidas e eletrodos de aterramento, deverá existir uma conexão de ensaio fixada em cada condutor de descidas, ou seja, deveria haver 8 caixas de inspeção distribuídas nas descidas do seu subsistema.

No subsistema de captação deverá haver uma manutenção afim de se aferir que eles se encontram em perfeito funcionamento. Já que não foi encontrado nem um laudo anterior aferindo o funcionamento ou não deles. Da mesma forma que na sua

malha de proteção na parte superior, deverá se ter uma manutenção afim de se esticar os cabos de proteção para que eles deixem de tocar a edificação, e seja assim se ter um subsistema funcionando em perfeito estado. Como a edificação não possui mais de 60 metros de altura, segundo a NBR 5419 – 3 de 2015 que fala em seu item 5.2.3 que ela possuirá baixa probabilidade de impacto de descargas atmosféricas na sua faixa.

Desta forma para os responsáveis pela manutenção do SPDA da edificação é importante recomendar que tenham um registro dos ensaios de malha de aterramento e da continuidade elétrica de todo o sistema, a fim de verificar a integridade das conexões e condutores elétricos. Também é recomendado a inspeção visual da edificação mensal, nos arredores e no telhado da edificação afim de se verificar a integridade de todo o sistema de proteção. Um ponto que foi observado é que devido a edificação ter um grande fluxo de pessoas, ela deverá conter todo o sistema funcionando adequadamente, com todos os dispositivos de proteção contra surto em perfeito estado, com isso recomenda-se que seja feito a verificação destes dispositivos e caso necessite seja feita a troca por dispositivos novos.

Como dentro da NBR 5419 tem recomendações de vários materiais a ser utilizados em todo o projeto de sistema de proteção contra descargas atmosféricas, recomenda-se que seja feito a troca dos condutores de cobre por alumínio tanto nas descidas como na malha de captação. Fazendo isto inibirá furtos e diminuirá o custo de manutenção e readequação de todo o SPDA.

Para finalizar as observações, podemos notar que o SPDA é um sistema eficaz e necessário, entretanto, ele só irá funcionar adequadamente se todos os seus requisitos e obrigatoriedades forem seguidas, por isso o entendimento por parte do profissional sobre as normas que regulamentam o projeto deverá ser de suma importância.

Para trabalhos futuros, sugere-se realizar a medição da continuidade elétrica e da resistência de aterramento dos subsistemas de SPDA do local estudado no presente trabalho.

Por fim, para melhor capacitar os discentes do curso de Engenharia Elétrica no tema tratado no presente trabalho, recomenda-se a aquisição de um miliomímetro e terrômetro de quatro hastes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419/2015: **Proteção Contra Descargas Atmosféricas, parte 1: Princípios Gerais**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419/2015: **Proteção Contra Descargas Atmosféricas, parte 2: Gerenciamento de Risco**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419/2015: **Proteção Contra Descargas Atmosféricas, parte 3: Danos Físicos a Estrutura e Perigos à Vida**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419/2015: **Proteção Contra Descargas Atmosféricas, parte 4: Sistemas Elétricos e Eletrônicos Internos na Estrutura**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15749, **Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento**. Rio de Janeiro. 2009.

Global Hydrometeorology Resource Center (GHRC). Lightning Imaging Sensor (LIS). 2020. Disponível em: <https://ghrc.nsstc.nasa.gov/home/micro-articles/earth-observations-lightning-imaging-sensor>. Acesso em: 02 abr. 2022.

Global Hydrometeorology Resource Center (GHRC). Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). 2019. Disponível em: <https://gpm.nasa.gov/missions/trmm>. Acesso em: 02 abr. 2022.

HIGMED. **Miliohmímetro Digital Portátil**: hmmd-1. HMMD-1. Disponível em: <https://www.highmed.com.br/hmmd-1-miliohmimetro-digital/p>. Acesso em: 27 maio 2022.

INSTRUTEMP. **O que é um Terrômetro e para que ele serve?** Disponível em: <https://instrutemp.com.br/o-que-e-terrometro/terrometro/#:~:text=O%20terr%C3%B4metro%20%C3%A9%20um%20aparelho,de%20ind%C3%BAstrias%2C%20edif%C3%ADcios%20e%20resid%C3%A2ncias..> Acesso em: 13 maio 2022.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**, 8ª edição, 2010. LTC Editora.

MEGABRAS. **Mtd20kWe**: Terrômetro digital. 2008. Disponível em: [https://www.vortex.com.br/arquivos/produtos-115-Manual%20MTD-20KWe\(P\)GU-1267_F.90-240V.pdf](https://www.vortex.com.br/arquivos/produtos-115-Manual%20MTD-20KWe(P)GU-1267_F.90-240V.pdf). Acesso em: 27 maio 2022.

REDAÇÃO GALILEU. **Número de raios em 2022 aumentou 29% em relação a 2021, diz instituto**. 2022. Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT). Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Meio-Ambiente/noticia/2022/03/numero-de-raios-em-2022-aumentou-29-em-relacao-2021-diz-instituto.html>. Acesso em: 19 mar. 2022.

SINDICATO PATRONAL DE CONDOMÍNIOS FOI FUNDADO. **Para Raio Segurança Para Todos**. Disponível em: <https://www.sipces.org.br/2016/04/para-raio-seguranca-para-todos/>. Acesso em: 27 maio 2022.

LOURO, R., **“Análise da formação de descargas atmosféricas baseada na aplicação do modelo do leader bidirecional”**, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, 2017.

PINTO JR, Osmar. **A Arte da guerra Contra os Raios**. Oficina de Textos, 2005.

QUINTÃO, Jaques Martins; COURA, Raylander de Freitas. **SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS – AVALIAÇÃO DE PROJETO IMPLEMENTADO EM UMA EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL**. 2019. 70 f. TCC

(Graduação) - Curso de Bacharel em Engenharia Elétrica., Instituto Ensinar Brasil, Faculdade Doctum João Monlevade, João Monlevade, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/123456789/2273>. Acesso em: 20 mar. 2022.

ROMERO, Fabio. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Escola Politécnica. **Avaliação dos Campos Eletromagnéticos Gerados por Descargas Atmosféricas Nuvem – Terra**, 2007. 155p. il. Dissertação (Mestrado).

SOUZA, André Nunes de et al. **SPDA–Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas-Teoria, Prática e Legislação**. Saraiva Educação SA, 2012.

TECNO FERRAMENTAS. **Paquímetro Universal - Mitutoyo 530-114**. Disponível em: https://www.tecnoferramentas.com.br/paquimetro-universal-capacidade-200mm-e-resolucao-005mm-mitutoyo-530-114-328726_0/p. Acesso em: 27 maio 2022.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª Edição ed. São Paulo, 2002.