



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
MATHEUS MENDES MARCHI

**AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS COM USO DE TERRÔMETRO DE HASTES E
MILIÔHMÍMETRO**

Palhoça
2020

MATHEUS MENDES MARCHI

**AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS COM USO DE TERRÔMETRO DE HASTES E
MILIÔHMÍMETRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica da
Universidade do Sul de Santa Catarina como
requisito parcial à obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Fabiano Max da Costa, Esp. Eng.

Palhoça

2020

MATHEUS MENDES MARCHI

**AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS COM USO DE TERRÔMETRO DE HASTES E
MILIÔHMÍMETRO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 16 de novembro de 2020.

Professor e orientador Fabiano Max da Costa, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Professor Paulo Roberto May, MSc.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Moisés Santos Ormond, Eng.

Dedico deste trabalho à minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida. Dedico também ao meu orientador Fabiano pela paciência e meus amigos pelos incentivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe Janete Monica Mendes e meu pai Sinésio Marchi, que sempre me apoiaram e me ajudaram para chegar aonde cheguei.

Agradeço meus irmãos pelo companheirismo e incentivo.

Agradeço meu orientador Fabiano Max da Costa, pelo encorajamento e atenção prestada nesse trabalho e na minha vida acadêmica.

Agradeço ao meu grande amigo Rodrigo Rodrigues da Silva pelo apoio dado na realização das medições e por ser quase um irmão.

Agradeço aos meus colegas acadêmicos, professores e amigos que me deram um grande apoio nessa reta final, me dando força e tranquilidade para continuar buscando meu objetivo final.

“A vida me ensinou a nunca desistir. Nem ganhar, nem perder, mas procurar evoluir.”
(CHARLIE BROWN JR., 2005).

RESUMO

A descarga atmosférica ou raio, é um fenômeno destrutível, acontece em um curto período, mas pode causar prejuízos e morte. A proteção de descargas atmosféricas é fundamental para diminuir os riscos deste fenômeno. A norma brasileira NBR 5419:2015, dividida em 4 partes, define procedimentos para determinar padrões a serem adotados na realização de projetos e laudos, que visam proteger não só a edificação e as pessoas, mas também os equipamentos eletrônicos. A edificação a ser estudada foi feita em cima da norma antiga, a NBR 5419:1993, e apresentava problemas visuais no sistema de para-raios. A fim de avaliar este sistema, foram feitas medições em campo com equipamentos calibrados e com procedimentos da NBR 15749, além da análise visual da edificação. As medições foram trabalhosas, pois a instalação não contava com caixas de inspeção para esses tipos de ensaios. Como resultado das medições, foi encontrado problemas em praticamente todo o sistema, várias inconformidades com o projeto original, furtos em toda malha de cobre do telhado, considerando um sistema precário de manutenção. Foram sugeridos procedimentos para reavaliar todo o SPDA, através da análise de risco e definição um nível de proteção considerado para os riscos toleráveis, além da readequação de praticamente todo o sistema de proteção.

Palavras-chave: Pára-raio. Aterramento. Medições ôhmicas.

ABSTRACT

Lightning or lightning is a destructible phenomenon, it happens in a short period, but it can cause damage and death. The protection of lightning strikes is essential to reduce the risks of this phenomenon. The Brazilian standard NBR 5419: 2015, divided into 4 parts, defines procedures to determine standards to be adopted in carrying out projects and reports, which aim to protect not only the building and people, but also electronic equipment. The building to be studied was made on top of the old standard, NBR 5419: 1993, and presented visual problems in the lightning rod system. In order to evaluate this system, measurements were made in the field with calibrated equipment and with procedures of NBR 15749, in addition to the visual analysis of the building. The measurements were laborious, as the installation did not have inspection boxes for these types of tests. As a result of the measurements, problems were found in practically the entire system, several non-conformities with the original design, thefts in the entire copper mesh of the roof, considering a poor maintenance system. Procedures were suggested to reassess the entire SPDA, through risk analysis and therefore define a level of protection considered for tolerable risks and thus readjust almost the entire protection system.

Keywords: Lightning rod. Grounding . Ohmic measurements .

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - UNISUL, Bloco D.	17
Figura 2 – Experimento de Franklin.....	20
Figura 3 – Nuvem carregada induzindo cargas positivas no solo	21
Figura 4 – Região tropical entre as linhas dos trópicos de câncer e capricórnio.....	22
Figura 5 – Danos em equipamento devido as descargas atmosféricas	23
Figura 6 – Tensão de toque e diagrama elétrico equivalente	32
Figura 7 – Tensão de passo	33
Figura 8 – Ângulo de proteção correspondente à classe do SPDA	35
Figura 9 – Volume de proteção promovido por um mastro	36
Figura 10 – Falha do sistema de captação	37
Figura 11 – Indução de Corrente no cabo de descida.....	38
Figura 12 – Aterramento tipo pé de galinha	40
Figura 13 – Aterramento estrutural	41
Figura 14 – Aterramento em anel	42
Figura 15 – Princípio de funcionamento de um terrômetro alicate	43
Figura 16 – Sistema multiaterrado.....	44
Figura 17 – Alicate Terrômetro da MINIPA	45
Figura 18 – Método da queda de potencial	46
Figura 19 - Pontos para medição com terrômetro de hastes.....	47
Figura 20 – Curva característica teórica da resistência de aterramento de um eletrodo pontual	47
Figura 21 – Esboço do projeto original	49
Figura 22 – Esboço do projeto executado	50
Figura 23 - Área A1.....	51
Figura 24 - Caixa de inspeção 4.e 6	52
Figura 25 - Caixa de inspeção 20.	52
Figura 26 - Caixa de inspeção N1 e N2.....	53
Figura 27 - Caixa de inspeção 7 e 13.	54
Figura 28 – Esquema de Aterramento encontrado	54
Figura 29 – Área A2	55
Figura 30 – Descida D19.....	56
Figura 31 – Mini captor e malha de cobre.....	56

Figura 32 – Cabos rompidos no telhado.....	57
Figura 33 – Luvas e sapato de proteção.	58
Figura 34 – Temperatura ambiente e umidade relativa do ar.	58
Figura 35 – Escovação do ponto de contato.	59
Figura 36 – Miliohmímetro da Instrum	60
Figura 37 – Teste de continuidade com miliohmímetro entre as caixas de inspeção 5 e 7	60
Figura 38 – Visor do miliohmímetro no teste entre as caixas de inspeção 5 e 7.....	61
Figura 39 – Terrômetro de hastes da Instrum.....	62
Figura 40 – Esquema de ligação terrômetro de hastes da Instrum	63
Figura 41 – Medição de resistência de aterramento com terrômetro de hastes em campo	64
Figura 42 – Resistência obtida ponto S1	65
Figura 43 – Resistência obtida ponto S2	65
Figura 44 – Resistência obtida ponto S3	66
Figura 45 – Resumo comparativo entre projeto original e encontrado	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre níveis de proteção e classe de SPDA	33
Tabela 2 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA.....	35
Tabela 3 – Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA.....	39
Tabela 4 - Resistências medidas com o uso miliohmímetro	61
Tabela 5 - Valores usados e obtidos na medição de resistência da malha de aterramento.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas.	25
Quadro 2 - Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica.....	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.3	OBJETIVOS	15
1.3.1	Objetivo geral	15
1.3.2	Objetivos específicos	15
1.4	LIMITAÇÕES	16
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
1.6	LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ESTUDO.....	16
2	METODOLOGIA.....	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
3.1	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	19
3.1.1	Danos dos raios.....	22
3.2	SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA) ..	24
3.2.1	Danos a estrutura segundo a NBR 5419:2015 Parte 1	24
3.2.2	Gerenciamento de riscos segundo a NBR 5419:2015 Parte 2.....	28
3.2.3	Danos físicos a estrutura e perigos à vida segundo a NBR 5419:2015 Parte 3	31
3.2.3.1	Conceitos	31
3.2.3.2	Níveis de proteção do SPDA.....	33
3.2.3.3	Metodologias de SPDA	34
3.2.3.4	Método de Franklin	36
3.2.3.5	Método da Gaiola de Faraday.....	36
3.2.3.6	Método da Esfera Rolante	37
3.2.3.7	Subsistemas de descida.....	37
3.2.3.8	Subsistemas de aterramento	39
3.2.3.9	Componentes do SPDA.....	42
3.3	MEDIÇÕES DE RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO.....	43
3.3.1	Terrômetro alicate.....	43
3.3.2	Terrômetro de hastes	45
4	ANÁLISE DO SPDA E MEDIÇÕES.....	49
4.1	PROJETO ORIGINAL	49
4.2	PROJETO EXECUTADO	50

4.2.1	Caixa de Inspeção.....	51
4.2.2	Aterramento.....	54
4.2.3	Descidas.....	55
4.2.4	Captação.....	56
4.3	MEDIÇÕES IN LOCO.....	57
4.3.1	Procedimento antes das medições.....	57
4.3.2	Teste de continuidade.....	59
4.3.3	Medição de aterramento.....	62
5	CONCLUSÃO.....	68
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

O Sistema de proteção contra descargas atmosféricas, (SPDA), ou Para-raios como vulgarmente é conhecido, é responsável pela proteção de edificações, equipamentos e pessoas de descargas atmosféricas (raios). Os procedimentos relacionados a SPDA são determinados pela NBR 5419:2015, sendo ela dividida em 4 partes, onde cada uma é responsável pela determinação de padrões a serem adotados na realização de projetos e laudos. A avaliação da edificação será feita a partir de destas normas, com a utilização de equipamentos sofisticados e calibrados, além da análise visual do sistema instalado.

Serão feitas medições em campo com base na NBR 15749:2009, abordando métodos muitas vezes praticados incorretamente por profissionais ditos qualificados. Esta norma estabelece os critérios e métodos de medição de resistência de sistemas de aterramento e de potenciais na superfície do solo, além de definir as características dos equipamentos utilizados nas medições e seus conceitos para validação dos resultados,

Com todo estudo sobre o sistema instalado, um comparativo técnico irá avaliar a situação da dita edificação e se ela se encontra nas conformidades com as normas NBR 5419:2015 e NBR 15749:2009.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com este estudo, será possível conhecer a real situação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e quais as providências necessárias para adequá-lo à norma.

Ressaltando que, de acordo com a IN010 do Corpo de Bombeiros do Estado de Santa Catarina, o mesmo não analisa mais os projetos referentes aos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas e indica a NBR 5419:2015 como base para elaboração do SPDA.

Destaca-se ainda que, de acordo com Art. 11 do IN010, apenas são recepcionados e arquivados os documentos de ART de inspeção e manutenção do SPDA e ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) de inspeção e manutenção do aterramento do SPDA. Sendo assim, a manutenção do SPDA é garantida apenas pelo responsável técnico das ARTs.

Outro ponto a ser ressaltado, que de acordo com o Art. 12. do IN010 devem ser realizadas inspeções e manutenções periódicas no SPDA, em intervalos de tempo de 3 anos, porém neste intervalo pode ocorrer falhas no sistema.

Sabendo que as consequências das descargas atmosféricas são destrutivas e podem causar danos parciais ou totais nas edificações e nos sistemas de energia, além de causar incêndios e até mesmo levar pessoas a óbito, é fundamental a inspeção e manutenção deste sistema.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

A edificação a ser abordada já possui um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, mas levando em conta que sua construção ocorreu antes da atual versão da norma, a NBR 5419:2015, verificou-se uma provável demanda por averiguar se a instalação está de acordo com a nova regulamentação brasileira. Além deste quesito, foi feita uma vistoria superficial e se verificou possíveis problemas no sistema, como cabo de descida rompido e oxidação nos conectores.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Realizar uma análise técnica do Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas existente na edificação, promovendo medições em campo para avaliação da conformidade do sistema, fazendo uso de um terrômetro de hastes e miliohmímetro.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Comparar o sistema de SPDA existente com o projeto original;
- Medir as resistências ôhmicas de aterramento pelo método do terrômetro de hastes;
- Testar continuidade das descidas;
- Comparar com as recomendações da NBR 5419:2015;
- Recomendar as alterações ou ações para adequar a edificação de acordo com a NBR 5419:2015.

1.4 LIMITAÇÕES

Este trabalho limitou-se aos estudos da NBR 5419:2015, com exceção da parte 4, pois a mesma está direcionada à proteção contra surtos em equipamentos elétricos e eletrônicos.

Também não serão efetuadas medições com outros tipos de equipamentos como alicate terromêtro, pois o mesmo não é citado na norma atual.

Outra limitação, não será feita análise de risco, portanto será considerado a mesma classe do SPDA do projeto inicial, pois esta análise é grande e poderá ser até um tema para outro trabalho.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, os três primeiros dedicados à descrição e referencial teórico e os demais apresentando o desenvolvimento, os resultados e as conclusões.

O capítulo 1, introdutório, apresenta a proposta e o objetivo deste trabalho, enquanto o capítulo 2, a metodologia. Já o capítulo 3 apresenta todo embasamento teórico, pesquisas e estudos necessário ao desenvolvimento, assim como normas utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. O capítulo 4 apresenta o desenvolvimento, nele será abordado a situação em que se encontra o SPDA da edificação em estudo. Por fim, o capítulo 5, apresenta as conclusões sobre o trabalho desenvolvido.

1.6 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ESTUDO

O local definido para o estudo, situa-se na Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL), na cidade de Palhoça, no bairro Pedra Branca, Bloco D.

Figura 1 - UNISUL, Bloco D.



Fonte: Autor (2020).

2 METODOLOGIA

Este trabalho de conclusão de curso é uma pesquisa aplicada, com abordagem quali-quantitativa, sendo que, em relação ao objetivo ela é explicativa, utilizando-se de procedimentos documentais e de estudo de caso. As técnicas utilizadas para coleta e análise de dados foram a Análise documental e a Observação Participante.

Para se usar o método de estudo de caso deve se levar em consideração a compreensão de todos envolvidos no assunto e investigar todos os aspectos que estão relacionados ao caso.

Segundo Yin (2001) a principal intenção em estudos de caso, é atrair esclarecimentos pelo qual mostre motivos para definir quais decisões serão tomadas em um conjunto de motivos, quais resultados foram alcançados e quais decisões foram tomadas e implementadas. Ao investigarmos um fenômeno se queremos vida real dentro de um contexto, o estudo de caso é a forma ideal para se pesquisar.

De acordo com Gil (2008, p.54) estudo de caso “Consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento, tarefa praticamente impossível mediante outros delineamentos já considerados”.

Godoy (1995) comenta que o estudo de caso consiste em analisar profundamente um tipo de pesquisa cujo objetivo é detalhar um ambiente em uma situação particular. Estudos realizados nas empresas para responder o motivo de ocorrerem as mais determinadas situações. Os dados de um estudo de caso são coletados pelo pesquisador por uma fonte primária ou secundária da própria observação do problema ou em entrevistas, os dados devem ser coletados em pesquisas qualitativas, o que não quer dizer que não possa usar a pesquisa quantitativa, vai depender muito da situação em que vai ser aplicado.

Quando alguém define por um estudo de caso não se devem generalizar os resultados obtidos, não se pode extrair nenhuma conclusão que extrapole a situação estudada, por tanto essa técnica de pesquisa tem uma contribuição limitada para o avanço do conhecimento. (BERTUCCI, 2009)

A coleta de dados dessa pesquisa foi realizada por intermédio da observação participante do autor. Tem como propósito, identificar os problemas, realizar uma análise crítica e buscar soluções adequadas (GIL, 2010).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

A descarga atmosférica, também conhecida como raio, consiste numa intensa descarga elétrica que ocorre na atmosfera. Este fenômeno natural assola a Terra e aflige a humanidade, causando prejuízos e mortes. De acordo com Prazeres (2007), a preocupação com os efeitos destrutivos desse fenômeno nos leva à tarefa de buscar formas de proteção contra ele. Há milhares de anos os raios são observados e estudados, porém ainda persistem muitas dúvidas, entre elas o mecanismo de carregamento de cargas positiva e negativa nas nuvens (KINDERMANN, 2009). De acordo com ele, a ação do raio é fulminante, ocorre em curtíssimo tempo e aleatoriamente na superfície da Terra.

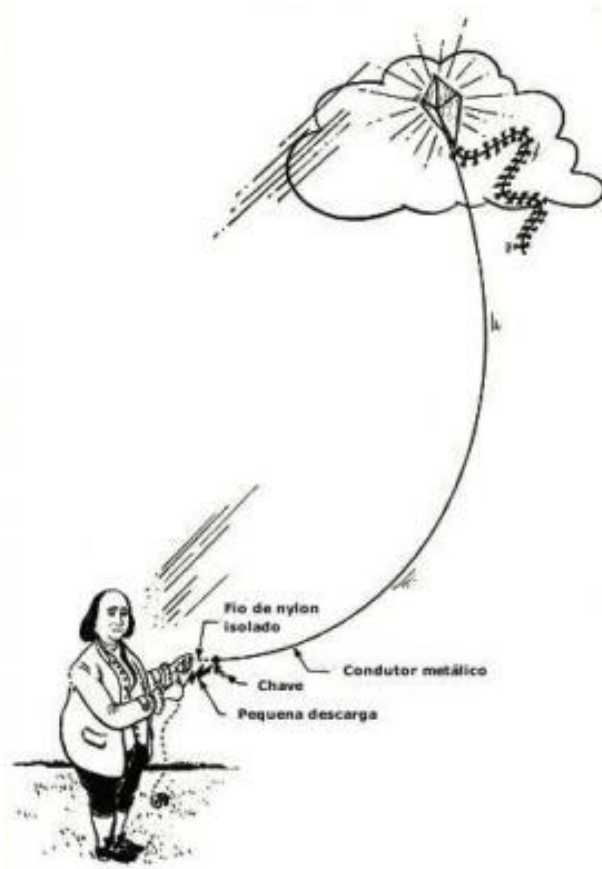
Na antiguidade, o raio sempre estava relacionado a deuses e divindades, e é exibido na literatura grega há 700 a.C. com Zeus o deus do raio, já para os Incas era a Ilyapa. Na mitologia chinesa temos a deusa das trovoadas Tien Mu e o deus do trovão Lien Tsu (Kindermann, 2009).

Pesquisas com o objetivo de obter informações sobre as características elétricas do raio surgem por volta do século XVII. Experiências realizadas nos EUA e na Europa foram elaboradas demonstrando o caráter elétrico dos raios e sua possibilidade de ser captado (BENITEZ, Salvador: 2006).

Benjamin Franklin (1706-1790), e Romas, mostraram através de uma pipa, a existência de cargas elétricas nas nuvens. A experiência foi feita em uma tempestade, levantaram a pipa com um fio condutor. O americano notou em seu experimento pequenas descargas elétricas intermitentes pelo seu corpo. Já outro pesquisador Russo G.W. Richman não teve a mesma sorte, pois a fazer o mesmo experimento, acabou morrendo fulminado pelo raio que caiu em sua pipa (Kindermann, 2009).

A partir desse experimento apresentado na Figura 2, Franklin propôs que a descarga poderia ser transportada através de hastes metálicas até o solo e impedir que os raios atingissem qualquer estrutura. Sugeriu que fosse colocado, acima das casas, uma ponta metálica com hastes em contato com a terra, propiciando a condução da corrente elétrica nesta composição, sem que o raio causasse danos às estruturas. E assim surgiu o para-raios conhecido como método Franklin (Bortolato, 2017).

Figura 2 – Experimento de Franklin



Fonte: Lima (2009, p. 4)

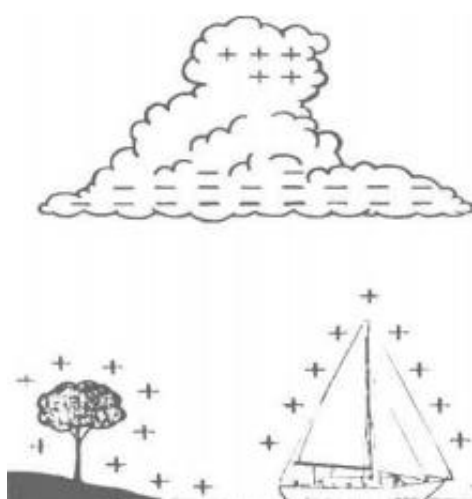
A formação destes fenômenos não é totalmente conhecida, mas existem várias teorias a partir disso. Para Kindermann (2009), a Terra tem na sua superfície um excesso de cargas negativas, quando o sol aquece o solo ele transfere calor para a camada de ar sobressalente, além da grande umidade devido a evaporação da água da superfície da terra. A camada de ar aquecida, dilata-se, diminuindo a sua densidade, e assim mais leve que a camada de ar frio. As camadas vizinhas de ar frio, deslocam-se e empurram para cima as camadas de ar quente, assim têm-se as correntes de ascendente.

As correntes de ar ascendente carregam grande volume de umidade. Esta umidade, encontrando nas regiões elevadas uma temperatura baixa, se condensa criando várias gotículas de água, que ficam suspensas no ar. Estas gotículas, esbarrando-se uma na outra se acumulam uma na outra formando gotas maiores e, pela gravidade começam a cair. E após caírem encontram outras gotículas, portanto aumentando seu tamanho. Assim, a gota já tendo um tamanho considerável e o solo da terra sendo negativo, são induzidas na gota de água cargas positivas na parte inferior, e cargas negativas na superior. Após outro processo, a gota atinge aproximadamente 5mm, e então se fragmenta. Neste momento há a formação de íons positivos

na parte inferior e negativos na superior. Como estas gotas ascendentes estão com muita energia cinética, conseguem subir até a nuvem (Kindermann, 2009).

Lima (2009) fala que os raios se formam em nuvens denominadas Cumulonimbus, capazes de atingir uma extensão de 9 a 12 *km*. A carga elétrica que se acumulam nestas nuvens surgem pelo processo do encontro entre correntes ascendentes de ar quente e úmido por partículas superesfriadas de sentido descendente. Esta colisão entre as correntes e o atrito entre gotículas de chuva favorecem a produção de grandes cargas de eletricidade na nuvem, formando gradientes de tensão que variam de 50 a 5.200 *V/cm*.

Figura 3 – Nuvem carregada induzindo cargas positivas no solo



Fonte: Lima (2009, p. 10).

A nuvem carregada induz ao solo cargas positivas como mostra a Figura 2. Entre eles se forma uma grande diferença de potencial (tensão) em torno de 10 a 1.000.000kV, sendo que a altura média da nuvem varia de 300 a 5.000 metros do chão (KINDERMANN, 2009).

O ar apresenta uma determinada rigidez dielétrica normalmente elevada, que depende de certas condições ambientais. O aumento dessa diferença de potencial, que se denomina gradiente de tensão, poderá atingir um valor que supere a rigidez dielétrica do ar interposto entre a nuvem e a terra, fazendo com que as cargas elétricas migrem na direção da terra, num trajeto tortuoso e normalmente cheio de ramificações, cujo fenômeno é conhecido como descarga piloto. É de aproximadamente 1kV/mm o valor do gradiente de tensão para o qual a rigidez dielétrica do ar é rompida (MAMEDE, 2013).

Após se formar o raio piloto, existe entre a nuvem e a terra um canal de ar ionizado, de baixa resistência elétrica, ou seja, a nuvem está literalmente curto circuitada à terra. Deste modo ocorre o raio principal, ou descarga de “retorno”, que vai da terra para a nuvem através do túnel

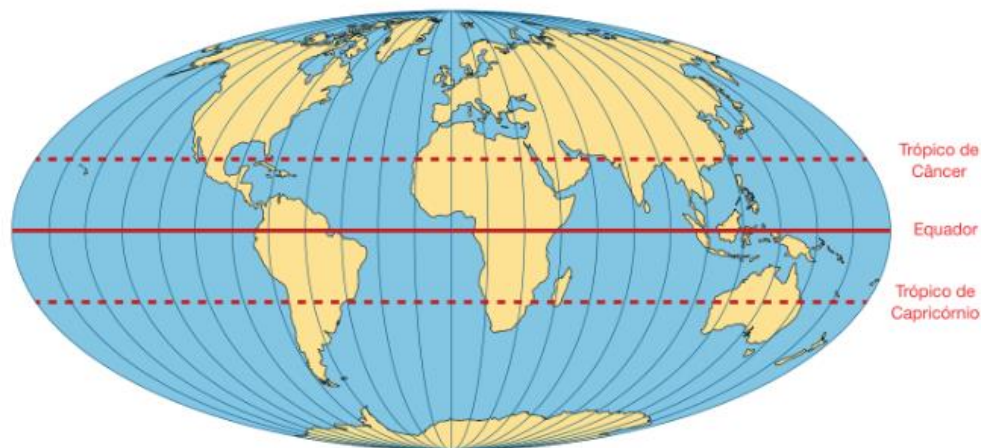
ionizado, com uma velocidade de 30.000km/seg com corrente na ordem de 2.000 a 200.000 Ampères. Após estas duas descargas podem existir uma terceira, de curta duração, com correntes de 100 a 1.000 Ampères. Esse conjunto de três descargas formam o chamado raio, que em frações de micro segundos dão a impressão de apenas uma descarga (KINDERMANN, 2009).

3.1.1 Danos dos raios

Os raios causam umas sérias de perturbações nas redes aéreas de transmissão e distribuição de energia elétrica, além de provocarem danos materiais nas construções atingidas por elas, e ainda os riscos de vida que pessoas e animais ficam submetidas (MAMEDE, 2013).

A zona tropical do planeta, região entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio, apresentada na Figura 4, é caracterizada por ter uma alta temperatura ambiente com elevado índice de chuvas e tempestades, com isso a maior incidência de descargas atmosféricas. Como o Brasil está nessa faixa, ele é o campeão em incidência de raios no mundo (CLAMPER, 2016).

Figura 4 – Região tropical entre as linhas dos trópicos de câncer e capricórnio



Fonte: Clamper (2016, p. 18).

Os danos dos raios nos seres vivos podem produzir lesões e sequelas permanentes ou até mesmo mortais. De acordo com Kindermann (2009) as sequelas, dependendo do caso, no ser humano são:

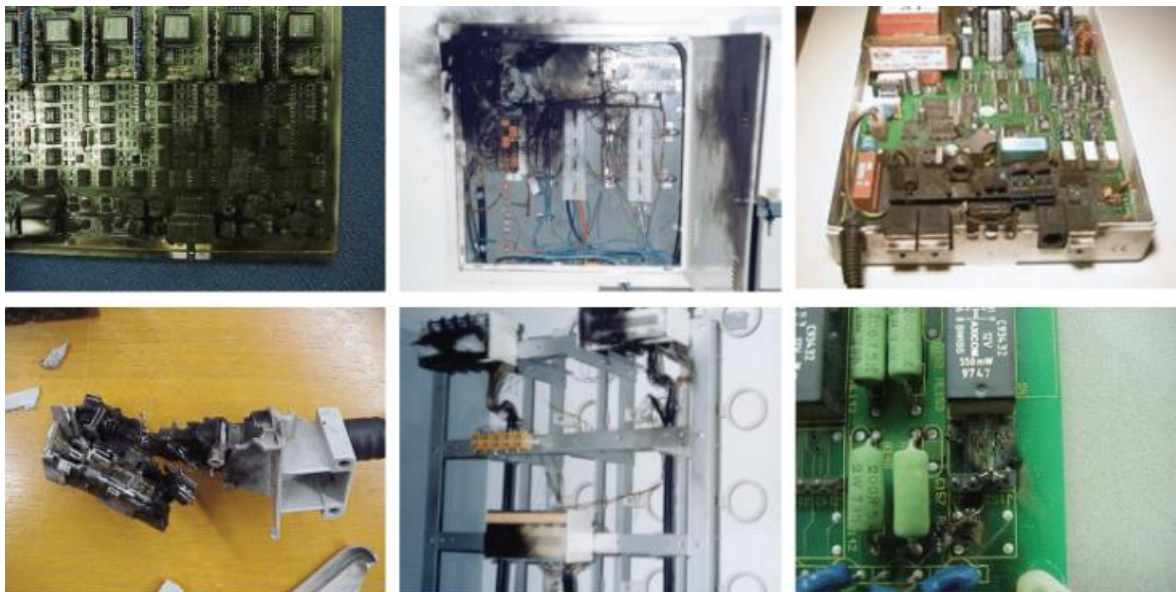
- Paralisia muscular;
- Perda da sensibilidade;
- Queimaduras produzidas principalmente na entrada e saída do raio no corpo;

- Alterações mentais;
- Problemas renais;
- Problemas cardíacos;
- Perda total ou parcial da memória.

Aproximadamente cem pessoas são vítimas anualmente no Brasil. A grande maioria em áreas abertas, onde as pessoas estão desabrigadas (CLAMPER, 2016). De acordo com o mesmo autor, centenas de animais são mortos por descargas atmosféricas no país.

O raio por onde passa deixa destruição não só física, mas também material e econômico. A proteção das pessoas e edificações sempre foi alvo de estudos, mas só na década de 1970 é que a proteção dos equipamentos eletrônicos teve vez. Com a mudança de tecnologia em fabricarem equipamentos mais sensíveis, verificou-se a necessidade de desenvolver tecnologias para proteção destes equipamentos contras tensão originadas pelas descargas atmosféricas. Milhões de dólares são perdidos anualmente devido a queima de equipamento elétricos e eletrônicos ao redor do mundo (CLAMPER 2016). A Figura 5 mostra alguns dados nos equipamentos devido as descargas atmosféricas.

Figura 5 – Danos em equipamento devido as descargas atmosféricas



Fonte: Clamper (2016, p. 25).

3.2 SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA)

Neste capítulo serão abordadas as normas brasileiras referentes a proteção contra descargas atmosféricas. Estas são divididas em quatro documentos normativos e seus anexos.

Não é interesse deste trabalho abordar todos os itens desta norma. Será concebido um breve resumo com ênfase no estudo dos itens do SPDA da edificação citada.

Os Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas protegem as edificações, equipamentos, instalações elétricas e de telecomunicações, diminuindo os danos causados às estruturas, os impactos dos desligamentos e manutenções corretivas. Esses sistemas tem a função de proteção captando e direcionando a corrente elétrica causada pela queda de raios para o sistema de aterramento (SOUZA, 2014).

Segundo Kindermann (2009), é grande ainda o desconhecimento e o grau de incerteza do efeito, da ação e da proteção contra a descarga atmosférica. Assim, as normas e recomendações são indefinidas em algumas partes e imprecisas em outras, sendo preciso muitos estudos para escolha correta do sistema de proteção.

3.2.1 Danos a estrutura segundo a NBR 5419:2015 Parte 1

Ao atingir uma estrutura, a descarga atmosférica pode causar danos a mesma, aos ocupantes e aos equipamentos, além de falhas dos sistemas internos. Os dados e falhas podem se estender para as estruturas vizinhas e ainda podem envolver o ambiente local (ABNT, 2015).

Segundo a NBR 5419-1 (ABNT, 2015), deve-se levar em consideração as principais características das estruturas para os efeitos das descargas atmosféricas:

- a) tipo de construção (madeira, alvenaria, concreto, estruturas de aço);
- b) tipo de função (residencial, comercial, eventos, fábrica, hotel, escola, hospital, museu etc.);
- c) ocupantes e conteúdo (pessoas e animais, presença de materiais inflamáveis ou explosivos, sistemas elétricos e eletrônicos);
- d) linhas elétricas e tubulações metálicas que entram a estrutura (linhas de energia, linhas de TV e telefonia);

- e) medidas de proteção existentes ou providas (medidas de proteção para reduzir danos físicos e risco à vida (SPDA), medidas de proteção para reduzir falhas em sistemas internos (DPS);
- f) extensão do risco (estruturas com limitações nas saídas de emergência que causa pânico na evacuação, estruturas perigosas às redondezas ou ao ambiente).

O Quadro 1 apresenta os efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas.

Quadro 1- Efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas.

Tipo de estrutura de acordo com a sua finalidade e/ou conteúdo	Efeitos das descargas atmosféricas
Casa e moradia	Perfuração da isolação das instalações elétricas, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos expostos ao ponto de impacto ou no caminho da corrente da descarga atmosférica. Falha de equipamentos e sistemas elétricos e eletrônicos instalados (exemplos: aparelhos de TV, computadores, modems, telefones etc.).
Edificação em zona rural	Risco maior de incêndio e tensões de passo perigosas, assim como danos materiais. Risco secundário devido a falta de energia e risco de perda dos animais ocasionado pela falha no controle de ventilação e suprimento de alimentos.
Teatro ou cinema Hotel Escola Shopping centers Áreas de esportes	Danos na rede elétrica que tendem a causar pânico (exemplo: iluminação elétrica) Falhas em sistemas de alarme de incêndio, tornando as ações atrasadas ao combate a incêndio.
Banco Empresa de seguros Estabelecimento comercial, etc.	Conforme acima, acrescentando problemas resultantes da perda de comunicação, falha de equipamento e perda de dados.
Hospital Casa de tratamento médico Casa para idosos Creche Prisão	Conforme acima, acrescentando 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 dos menos graves até danos inaceitáveis e perda de produção.
Museu e sítio arqueológico Igreja	Perda de patrimônio cultural insubstituível.

Tipo de estrutura de acordo com a sua finalidade e/ou conteúdo	Efeitos das descargas atmosféricas
Estação de telecomunicação Estação de geração e transmissão de energia elétrica	Interrupções inaceitáveis de serviços ao público.
Fábrica de fogos de artifício Trabalhos com munição	Incêndio e explosão com consequência aos 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 de (ABNT, 2015).

Segundo a Norma, a corrente da descarga atmosférica é a fonte de danos. As situações seguintes são levadas em consideração ao ponto de impacto relativo à estrutura considerada:

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

Em consequência dos possíveis danos causados pelas descargas atmosféricas, a NBR 5419-1 (ABNT, 2015) classifica três tipos básicos de danos:

- a) D1: danos às pessoas devido ao choque elétrico;
- b) D2: danos físicos (fogo, explosão, destruição mecânica, liberação de produtos químicos) devido aos efeitos das correntes das descargas atmosféricas, inclusive centelhamento;
- c) D3: falhas de sistemas internos devido a LEMP (pulso eletromagnético devido a descarga atmosférica).

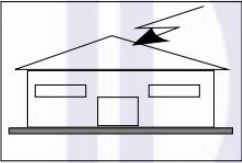
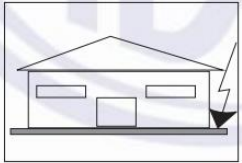
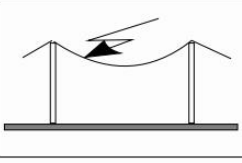
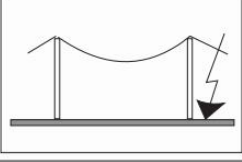
Cada tipo de dano relevante para a estrutura a ser protegida, sozinho ou em combinações com outros, pode, em consequência, produzir diferentes perdas. Ela depende das características

do próprio objeto. Para efeitos da ABNT NBR 5419, são considerados os subsequentes tipos de perdas, os quais podem aparecer como consequência de dados relevantes à estrutura:

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

A equivalência entre fonte de danos, tipo de danos e perdas é mostrada na Quadro 2.

Quadro 2 - Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica

Ponto de impacto		Fonte de dano	Tipo de dano	Tipo de perda
Estrutura		S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Nas proximidades de uma estrutura		S2	D3	L1 ^b , L2, L4
Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura		S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Proximidades de uma linha elétrica ou tubulação metálica		S4	D3	L1 ^b , L2, L4
^a Somente para propriedades onde pode haver perdas de animais. ^b Somente para estruturas com risco de explosão, hospitais ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo.				

Fonte: ABNT NBR 5419 (2015).

3.2.2 Gerenciamento de riscos segundo a NBR 5419:2015 Parte 2

O risco, R, é um valor relativo a uma provável perda anual média. Assim, para cada tipo de perda que pode aparecer a estrutura, o risco resultante deve ser avaliado, estes riscos são divididos como a seguir segundo a NBR 5419:2015:

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

Para estimar-se os riscos, R, os relevantes componentes de risco devem ser definidos e calculados, cada risco, R, é a soma dos seus componentes de risco. Estes riscos podem ser agrupados de acordo com as fontes de danos e os tipos de danos (NBR 5419:2015 – parte 2):

- a) RA: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque dentro da estrutura e fora até 3 m ao redor dos condutores de descidas. Perda de tipo L1 e, no caso de estruturas contendo animais vivos, as perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem, também, aumentar;
- b) RB: componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura, iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem aumentar;
- c) RC: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana. RM: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana. Componentes de riscos a uma linha conectada a estrutura.

- d) RU: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura. Perda do tipo L1 e, no caso de propriedades agrícolas, perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também ocorrer;
- e) RV: componente relativo a danos físicos (incêndio ou explosão iniciados por centelhamentos perigosos entre instalações externas e partes metálicas geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura) devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem ocorrer;
- f) RW: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo L2 e 30 L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam, imediatamente, colocar em perigo a vida humana.
- g) RZ: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam, imediatamente, colocar em perigo a vida humana.

Os componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda na estrutura são listados a seguir segundo a NBR 5419:2015:

- a) R1: Risco de perda de vida humana:

$$R1 = RA1 + RB1 + RC1^1 + RM1^1 + RU1 + RV1 + RW1 + RZ1^1 \quad (1)$$

- b) R2: Risco de perda de serviço público:

$$R2 = RB2 + RC2 + RM2 + RV2 + RW2 + RZ2 \quad (2)$$

- c) R3: Risco de perda de patrimônio cultural:

$$R3 = RB3 + RV3 \quad (3)$$

- d) Risco de perda de vida humana:

$$R4 = RA4^2 + RB4 + RC4 + RM4 + RU4^2 + RV4 + RW4 + RZ4 \quad (4)$$

¹ Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos que possam pôr em perigo a vida humana.

² Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

De acordo com a norma, é listado procedimentos para gerenciar os riscos, são estes:

- a) Identificação da estrutura a ser protegida e suas características;
- b) Identificação de todos os tipos de perdas na estrutura e os correspondentes riscos relevantes R (R1 a R4);
- c) Avaliação do risco R para cada tipo de perda R1 a R4;
- d) Avaliação da necessidade de proteção, por meio da comparação dos riscos R1, R2 e R3 com os riscos toleráveis RT;
- e) Avaliação da eficiência do custo da proteção pela comparação do custo total das perdas com ou sem as medidas de proteção. Neste caso, a avaliação dos componentes de risco R4 deve ser feita no sentido de avaliar tais custos.

A norma diz que pode ser subdividida a estrutura em zonas e analisadas cada componente de risco. Entretanto, deve levar em conta a exequibilidade da implementação da maioria das medidas de proteção adequadas.

Para analisar os riscos na estrutura são consideradas:

- a) A própria estrutura;
- b) As instalações na estrutura;
- c) O conteúdo da estrutura;
- d) As pessoas na estrutura ou nas zonas até 3 m para fora da estrutura;
- e) O meio ambiente afetado por danos na estrutura.

Para cada tipo de perda (L1 à L4) se considera um risco tolerável de projeto, estes valores são baseados de acordo com a NBR:5419 – Parte 3. Todavia, é a perda de valor econômica (L4) que pode fazer a comparação custo/benefício e diminuir este risco aceitável.

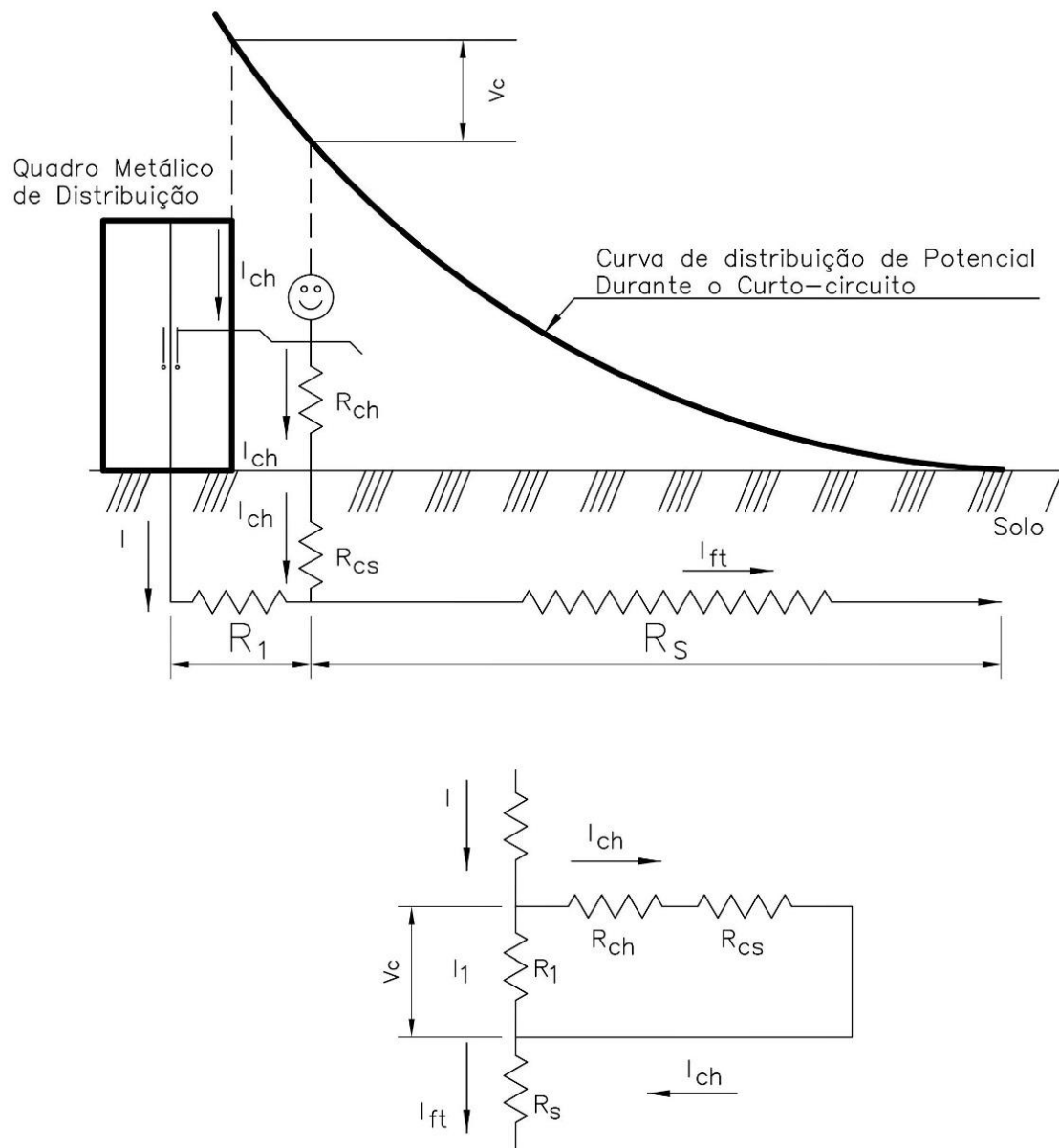
3.2.3 Danos físicos a estrutura e perigos à vida segundo a NBR 5419:2015 Parte 3

Esta parte da Norma estabelece os requisitos para proteção de uma estrutura contra danos físicos por meio de um SPDA e para proteção de seres vivos contra lesões causadas por tensões de toque e passo nos arredores de um SPDA (NBR 5419:2015 – parte 3).

3.2.3.1 Conceitos

Tensão de toque é a diferença de potencial entre o ponto onde a pessoa toca a mão em uma estrutura metálica, e um ponto no chão situado a 1m da base da estrutura (KINDERMAN e CAMPAGNOLO, 2011). Na Figura 6 é apresentado um exemplo de tensão de toque em um quadro de distribuição.

Figura 6 – Tensão de toque e diagrama elétrico equivalente



Fonte: Adaptado de (MAMEDE, 2013)

Onde:

I_s – corrente de curto-circuito fase e terra;

I_{ch} – corrente de choque;

R_{ch} – resistência do corpo humano;

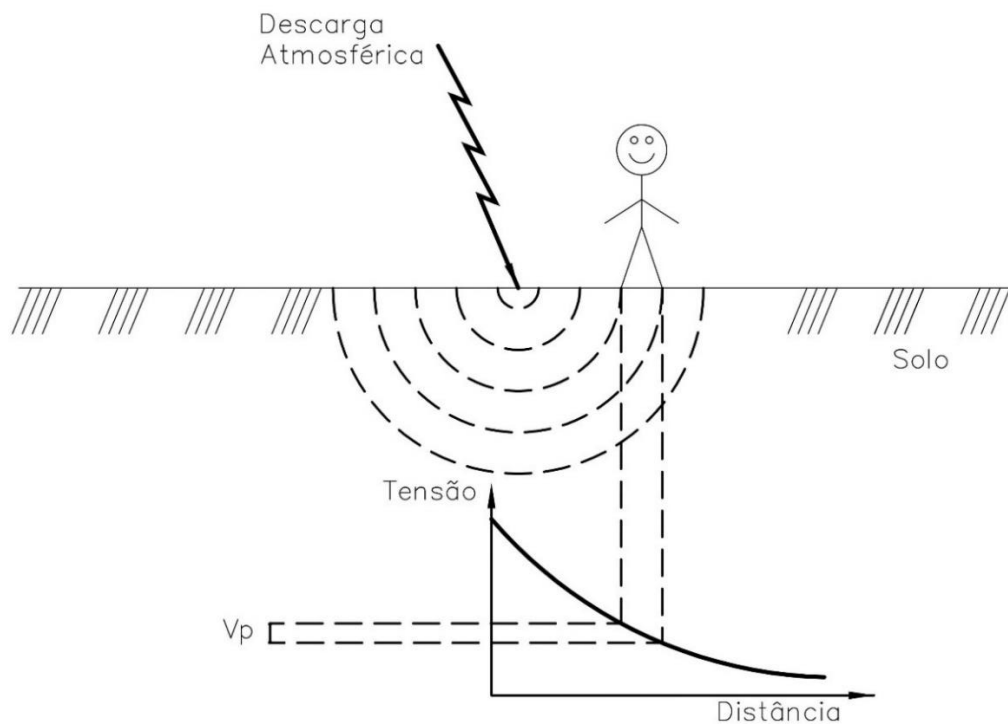
R_s – resistência do solo;

R_{cs} – resistência do contato resultante de cada pé com o solo;

V_c – tensão de contato.

A tensão de passo, de acordo com Kindermann e Champagnolo (2011), é a diferença de potencial entre os pés, isso ocorre quando há um escoamento da corrente de curto-circuito e os membros estão posicionados sobre linhas diferentes de potencial. Caso os pés estiverem na mesma linha de potencial ou um pé apenas apoiado ao solo, não terá tensão de passo. A Figura 7 mostra um exemplo de potencial de passo devido a um raio que cai no solo.

Figura 7 – Tensão de passo



Fonte: Adaptado de (MAMEDE, 2013)

3.2.3.2 Níveis de proteção do SPDA

A norma define quatro níveis de proteção e para cada nível são recomendados valores máximos e mínimos das correntes de descargas (CLAMPER, 2016). Os níveis de proteção são classificados pela norma por classe de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Relação entre níveis de proteção e classe de SPDA

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

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2015).

O nível de proteção vai de uma escala de I à IV, do mais eficaz ao menos eficaz. Cada classe de SPDA é caracterizado segundo a NBR:5419 pelo seguinte:

a) Dados dependentes da classe de SPDA:

- ✓ Parâmetros da descarga atmosféricas;
- ✓ Raio da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção;
- ✓ Distâncias típicas entre condutores de descida e dos condutores em anel;
- ✓ Distância de segurança contra centelhamento arriscado;
- ✓ Comprimento mínimo dos eletrodos de terra.

b) Fatores não dependentes da classe do SPDA;

- ✗ Equipotencialização para descargas atmosféricas;
- ✗ Espessura mínima de placas ou tubulações metálicas nos sistemas de captação;
- ✗ Materiais do SPDA e condições de uso;
- ✗ Materiais, configuração e dimensões mínimas para captadores, descidas e eletrodos de aterramento.

3.2.3.3 Metodologias de SPDA

A filosofia dos vários métodos de proteção existentes contra descarga atmosférica consiste em produzir uma blindagem na estrutura protegida, de modo a impedir que o raio cause danos diretos. Os resultados indiretos não estão totalmente protegidos e cada caso deve ser examinado de modo a proporcionar a melhor proteção individual aceitável (KINDERMANN, 2009).

A probabilidade de a corrente da descarga atmosférica penetrar na estrutura é consideravelmente limitada pela presença de subsistemas de captação adequadamente instalados (ABNT, 2015).

Estes subsistemas podem ser compostos pela combinação dos seguintes elementos:

- a) Hastes (incluindo mastros);
- b) Condutores suspensos;
- c) Condutores em malha.

A Norma apresenta três tipos de métodos de proteção para locação correta desses subsistemas de captação. São eles:

- a) Método do ângulo de proteção;
- b) Método da esfera rolante;
- c) Método das malhas.

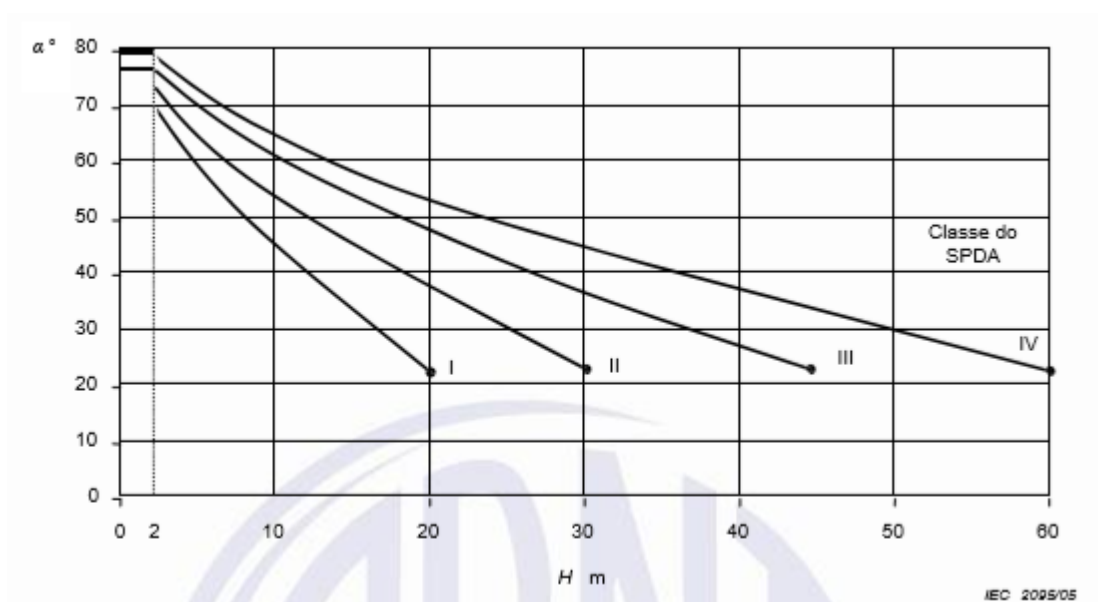
Na Tabela 2 é apresentado valores de projeto para cada classe de SPDA.

Tabela 2 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA

Classe do SPDA	Método de Proteção		
	Raio da esfera rolante -R <i>M</i>	Máximo afastamento dos condutores da malha <i>m</i>	Ângulo de proteção α
I	20	5x5	Ver Figura 8
II	30	10x10	
III	45	15x15	
IV	60	20x20	

Fonte: Adaptado de (ABNT NBR 5419, 2015).

Figura 8 – Ângulo de proteção correspondente à classe do SPDA



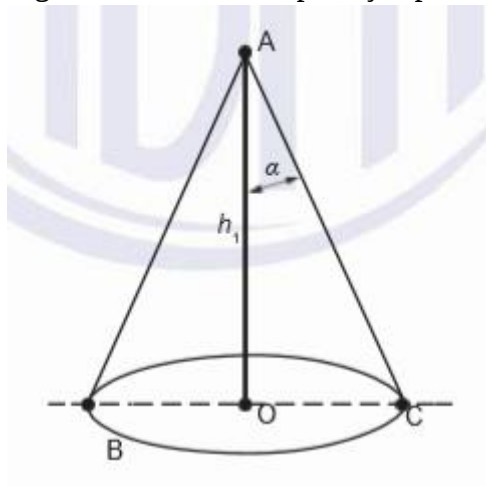
Fonte: ABNT NBR 5419 (2015)

3.2.3.4 Método de Franklin

Este método tem por base uma haste elevada, que em forma de ponta, produz, sob a nuvem carregada, uma alta concentração de cargas elétricas, conjugado com um campo elétrico intenso. Isto proporciona a ionização do ar, diminuindo a altura da nuvem carregada, facilitando o raio no rompimento da camada isolante de ar (KINDERMANN, 2009).

O volume de proteção promovido por um mastro é delimitado por um cone circular, onde todo conteúdo dentro do cone se encontra protegido (ABNT, 2015).

Figura 9 – Volume de proteção promovido por um mastro



Fonte: ABNT NBR 5419 (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 conforme definido pela Figura 8.

3.2.3.5 Método da Gaiola de Faraday

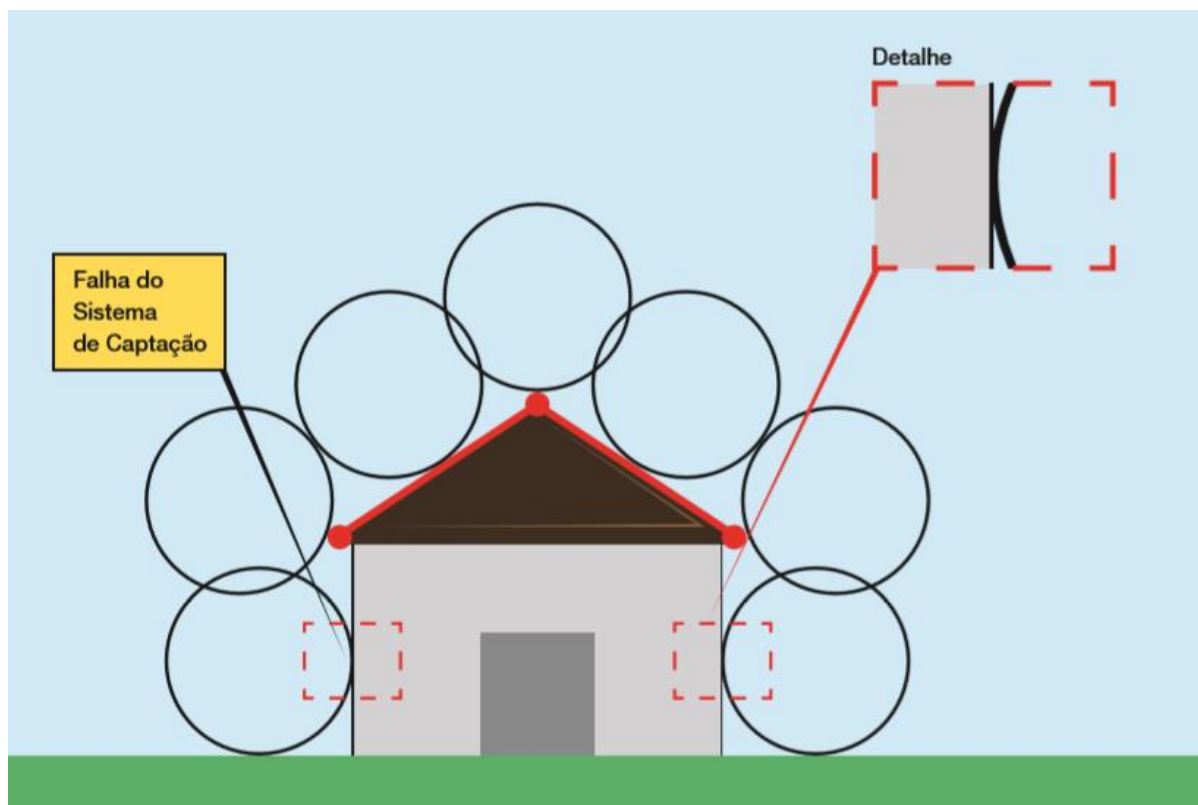
Este método foi proposto por Michael Faraday (1791-1867), consiste em usar como captadores os condutores em forma de anel e malhados formando uma gaiola (KINDERMANN, 2009). Estas malhas, formam retículos quadrados, que quanto menor for sua área, maior é a classe de proteção do SPDA, como mostrado na Tabela 2.

A norma informa que este método é apropriado para telhados horizontais e para proteger superfícies laterais planas. Este método conjugado com método de Franklin é muito utilizado em estruturas altas.

3.2.3.6 Método da Esfera Rolante

O correto posicionamento do subsistema de captação, acontece quando nenhuma parte da estrutura a ser protegida entra em contato com uma esfera fictícia que rola ao redor da estrutura em todos os planos possíveis (NBR 5419:2015). Este método garante que não ocorrerá falhas no sistema de captação, como aborda a Figura 10. O raio, r , da esfera é definido de acordo com a classe do SPDA como mostrado na Tabela 2.

Figura 10 – Falha do sistema de captação



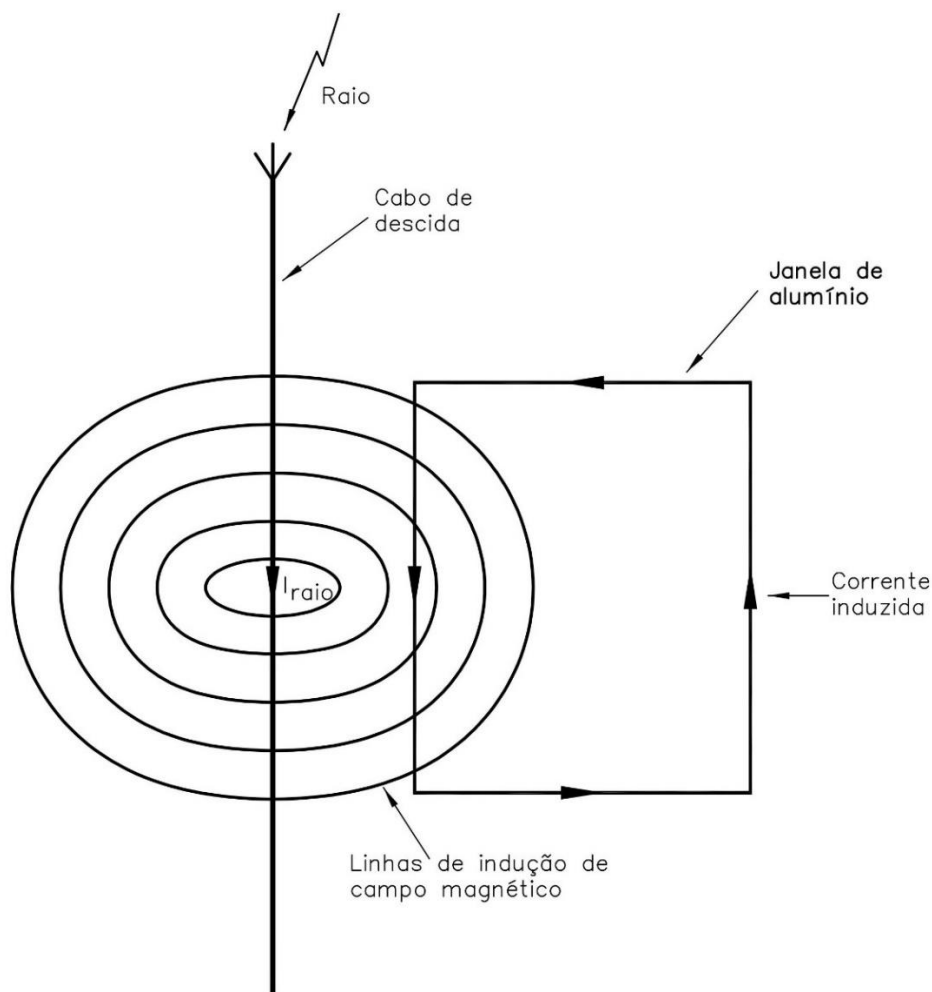
Fonte: Clamper (2015)

3.2.3.7 Subsistemas de descida

Tem o propósito de reduzir a probabilidade de danos devido à corrente de descarga atmosférica fluindo pelo SPDA, os condutores de descida devem garantir diversos caminhos

paralelos para o aterramento, com menor comprimento possível (NBR 5419). De acordo com Kindermann (2009) a corrente do raio que flui pelo cabo de descida, e então é gerado ao seu entorno um campo magnético variável que atrai e induz tensão nos materiais condutores vizinhos. A distância entre os condutores de decida deve ser obedecida a fim de diminuir esses campos internos à estrutura.

Figura 11 – Indução de Corrente no cabo de descida



Fonte: Adaptado de Kindermann (2009)

Para melhor distribuição da corrente de descargas, deverá ter interligações horizontais entre os condutores de descida a uma distância definida pela norma de acordo com a Tabela 3, e assim garantindo a redução da probabilidade de centelhamento perigoso e também ajudando a proteção interna das instalações (NBR 5419).

Tabela 3 – Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA.

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

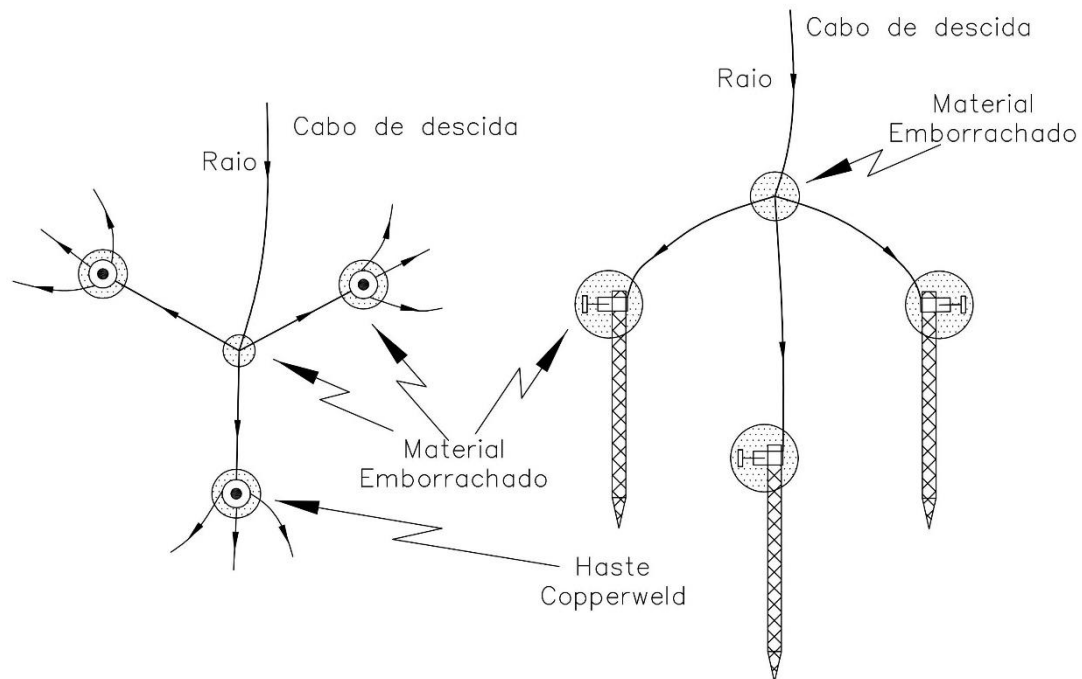
Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419 (2015).

3.2.3.8 Subsistemas de aterramento

A norma brasileira NBR 5419 sob o ponto de vista da proteção contra descargas, considera uma única infraestrutura de aterramento integrada a maneira mais adequada para todos os propósitos. Para Kindermann e Campagnolo (2011) o aterramento deve merecer cuidado especial, para garantir que sistemas de energia elétrica, níveis de segurança pessoal e desempenho do sistema de segurança. De acordo com os mesmos autores um dos objetivos principais do aterramento é obter uma resistência de aterramento a mais baixa possível e este valor é influenciado pelo tipo de solo.

Existem vários métodos para fazer um aterramento desde simples hastes fincadas na terra até um aterramento utilizando a sapata da estrutura da edificação.

Figura 12 – Aterramento tipo pé de galinha

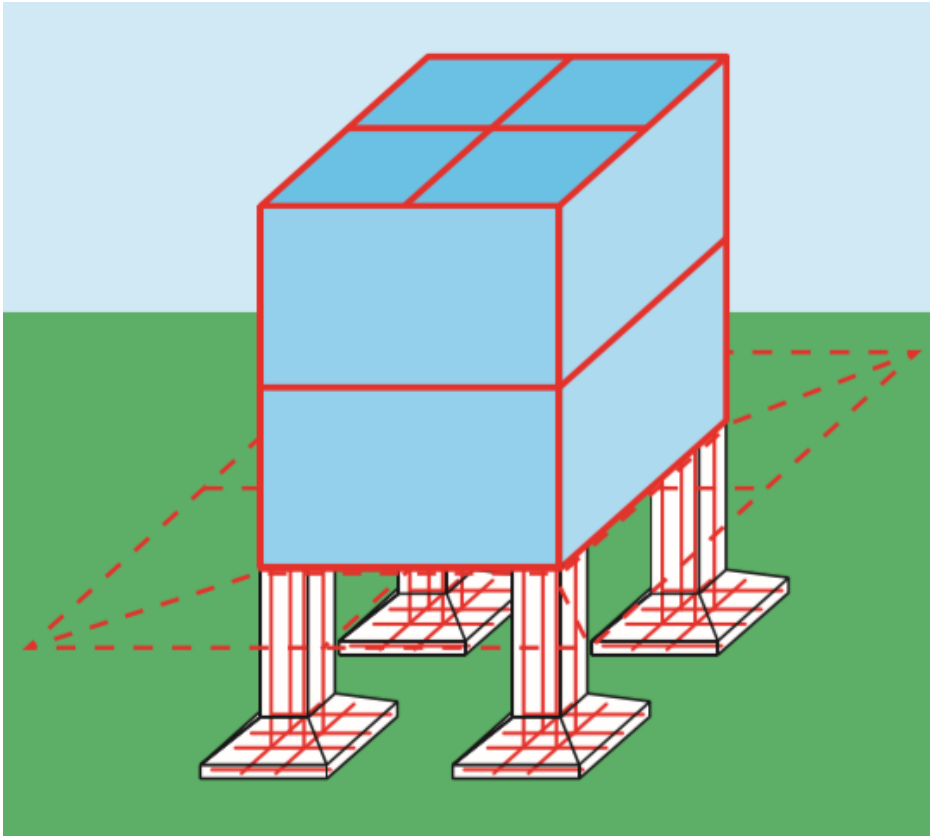


Fonte: Adaptado de Kindermann (2009)

Um sistema simples e eficiente é o sistema apresentado na Figura 12, este pode ser conectado a uma descida. Este tipo de aterramento é eficiente, pois a corrente é dividida simetricamente em três partes para a terra ajudando a atenuar as tensões de passo produzidas nos entornos do aterramento (KINDERMANN, 2009).

As ferragens estruturais podem e devem ser utilizadas como parte do sistema de aterramento, pois a resistividade do concreto úmido é baixa ($< 200 \Omega m$) (ABNT, 2015). Uma característica do concreto é que, mesmo na época seca, ele retém a umidade por um longo período. A utilização das fundações, conforme Figura 13, contribui bastante para a redução do valor da resistência de aterramento da malha (CLAMPER, 2016).

Figura 13 – Aterramento estrutural

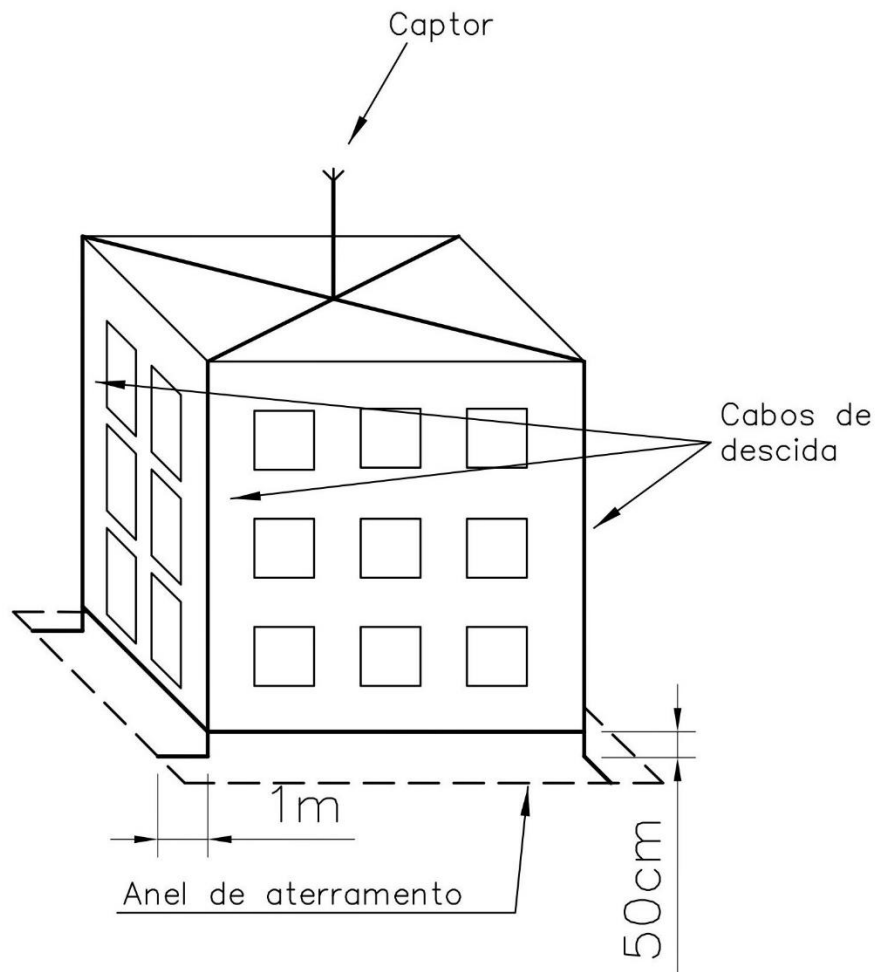


Fonte: Clamper (2016)

Na versão anterior da norma, NBR 5419:2005, eram permitidos dois tipos de arranjo de aterramento, o arranjo físico A pontual e o arranjo B em anel. O arranjo físico A poderia ser constituído por uma haste de aterramento ou como a Figura 12, conectada a cada descida do SPDA. Com a atual Norma NBR 5419:2015 só é permitido o arranjo B em anel (Alves, 2019).

De acordo com Alves (2019), O arranjo B consiste num anel circulando a edificação com cabo de cobre nu 50 mm² afastado de um metro da projeção da edificação, a 50cm de profundidade, de acordo com o esquema da Figura 14.

Figura 14 – Aterramento em anel



Fonte: O autor (2020)

3.2.3.9 Componentes do SPDA

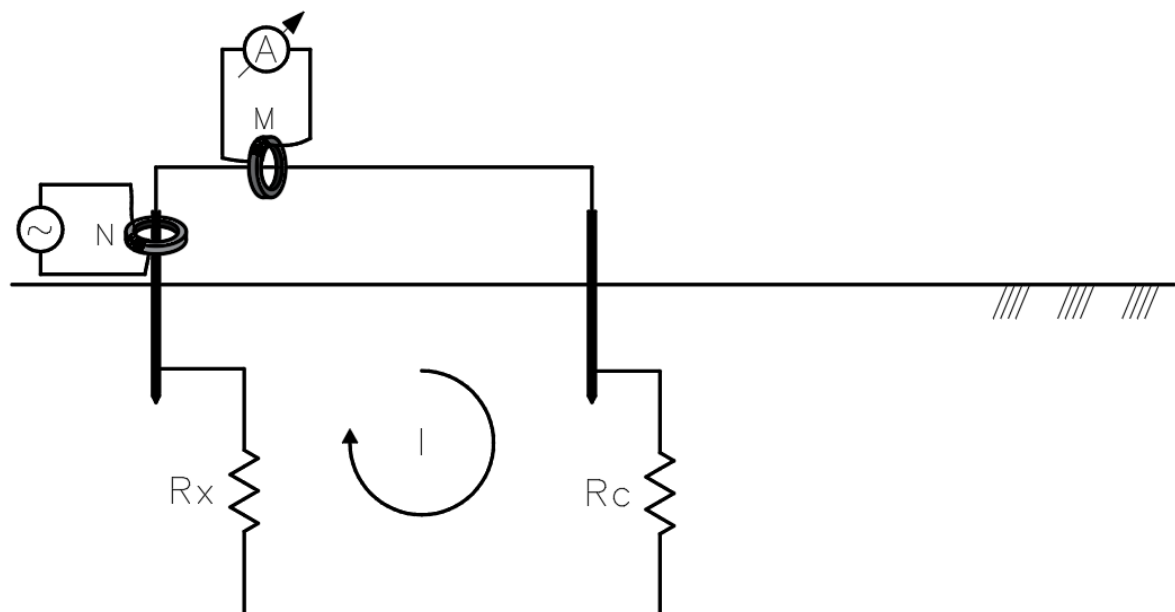
Os componentes de um SPDA devem suportar os efeitos eletromagnéticos da corrente de descarga atmosféricas e esforços acidentais previsíveis sem serem danificados (ABNT, 2015). Elementos captadores e condutores de descida devem ser firmemente fixados de forma a não haver afrouxamento ou quebra de condutores. Os números de conexões deve ser o mínimo possível, e emendas devem ser feitas de forma segura por meio de solda exotérmica ou elétrica e conexões mecânicas ou compressão.

3.3 MEDIÇÕES DE RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO

3.3.1 Terrômetro alicate

O princípio de funcionamento de um medidor deste tipo, consiste em um gerador de corrente alternada (c.a.) que aplica uma tensão numa bobina com N espiras, cujo núcleo ferromagnético envolve um circuito fechado como apresentado na Figura 15, a qual simula a única espira do secundário de um transformador com relação $N:1$. A tensão aplicada na bobina produzirá no circuito fechado uma força eletromotriz. E então com outra bobina com (M) espiras, pode-se medir a corrente que circula no circuito (NBR 15749, 2009).

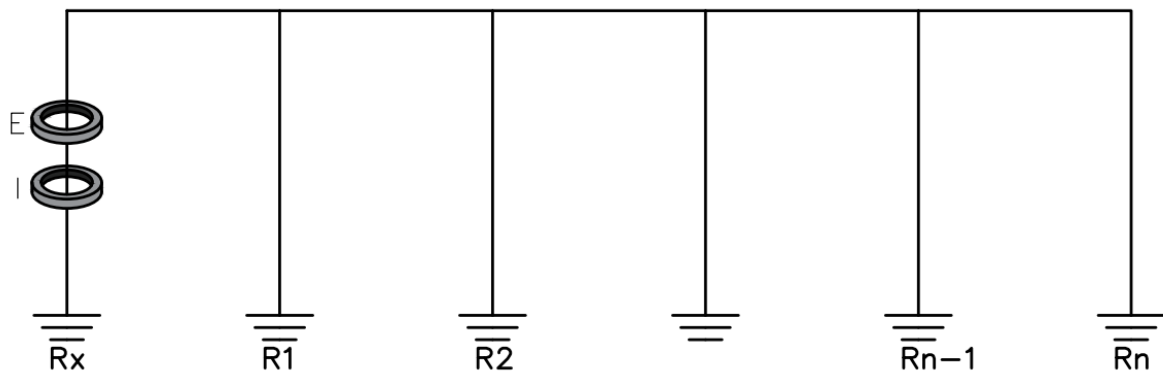
Figura 15 – Princípio de funcionamento de um terrômetro alicate



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15749 (2009)

A soma das resistências R_x e R_c pode ser obtida pela relação entre a tensão gerada e a corrente circulante. Bem como R_c representar um conjunto de eletrodos em paralelo, como nos sistemas multiterrados, mostrados na Figura 16, nos quais pode-se analisar R_x muito maior que R_c . Portanto nessas condições o equipamento mostrara o valor de aterramento R_x (NBR 15749, 2009).

Figura 16 – Sistema multiaterrado



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15749 (2009)

A grande vantagem deste método é a não necessidade de cravar hastes auxiliares e a rapidez na medição bastando apenas abraçar o cabo de descida e obter a resistência ôhmica. Porém existem algumas restrições para fazer uso deste método. São elas:

- a) O método não pode ser aplicado para medição de resistência de um aterramento simples de um para-raios;
- b) A resistência do sistema de aterramento que fecha o circuito (laço) deve ser muito menor que a resistência do aterramento sob medição;
- c) A distância entre o aterramento sob medição e o mais próximo dos aterramentos que completam o laço, deve ser consideravelmente grande para que as respectivas zonas de influência não apresentem sobreposição. No caso de uma malha de aterramento, não é válida a medição de cada eletrodo por separado para cálculo total do conjunto.
- d) Para sistemas conectados em anel, no caso de edifícios com múltiplas descidas do SPDA, não se pode medir a resistência de aterramento do conjunto, pois iria apresentar erro de estar medindo a resistência do laço fechado quando se quer medir a descida do SPDA.

A Figura 17 apresenta um modelo de alicate terrômetro da MINIPA, modelo ET-4310.

Figura 17 – Alicate Terrômetro da MINIPA

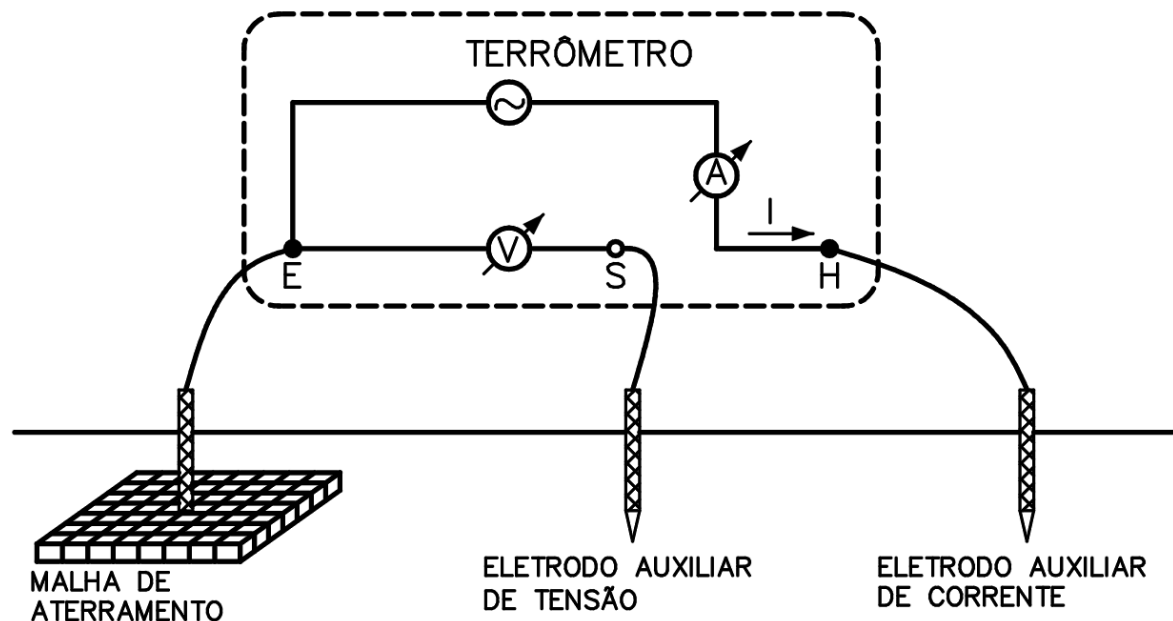


Fonte: Minipa (2020)

3.3.2 Terrômetro de hastes

Este equipamento tem como método a queda de potencial, que consiste em fazer circular uma corrente através da malha de aterramento sob ensaio por intermédio de um eletrodo auxiliar de corrente e medir a tensão entre a malha de aterramento e o terra de referência por meio de um eletrodo auxiliar de potencial (NBR 15749, 2009), conforme Figura 18:

Figura 18 – Método da queda de potencial



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15749 (2009)

Onde:

I – corrente de ensaio;

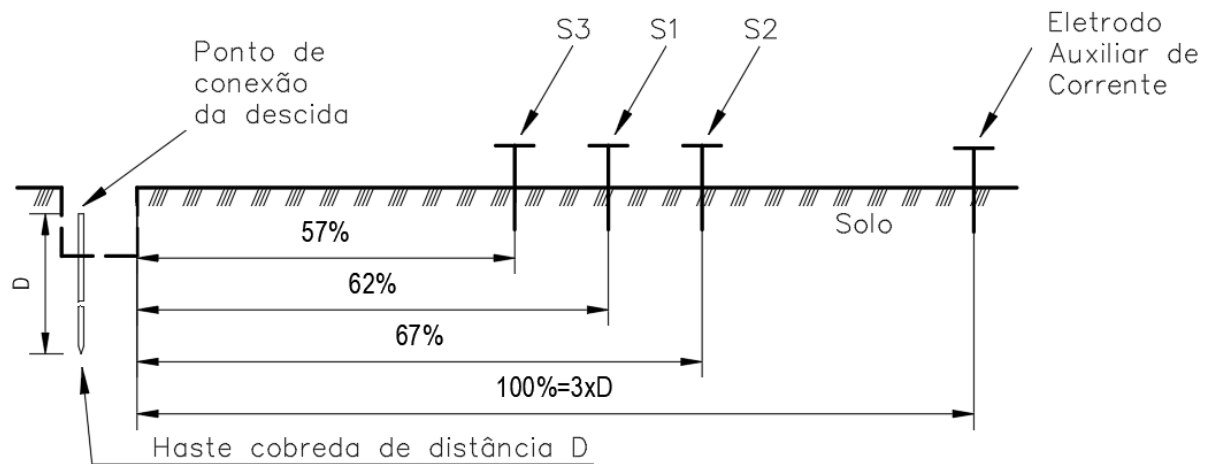
S – borne para sonda ou eletrodo auxiliar de potencial;

H – borne para eletrodo auxiliar de corrente;

E – borne para malha de aterramento sob medição.

No processo de medição, é colocado o borne E na malha de aterramento, eletrodo auxiliar de corrente a uma distância três vezes o tamanho da haste de aterramento. Depois, marca-se três pontos alinhados a 57%, 62% e a 67% do ponto sob medição. Assim feito três medições com a haste auxiliar de potencial nos pontos citados, S3, S1, S2 respectivamente como apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Figura 19 - Pontos para medição com terrômetro de hastes

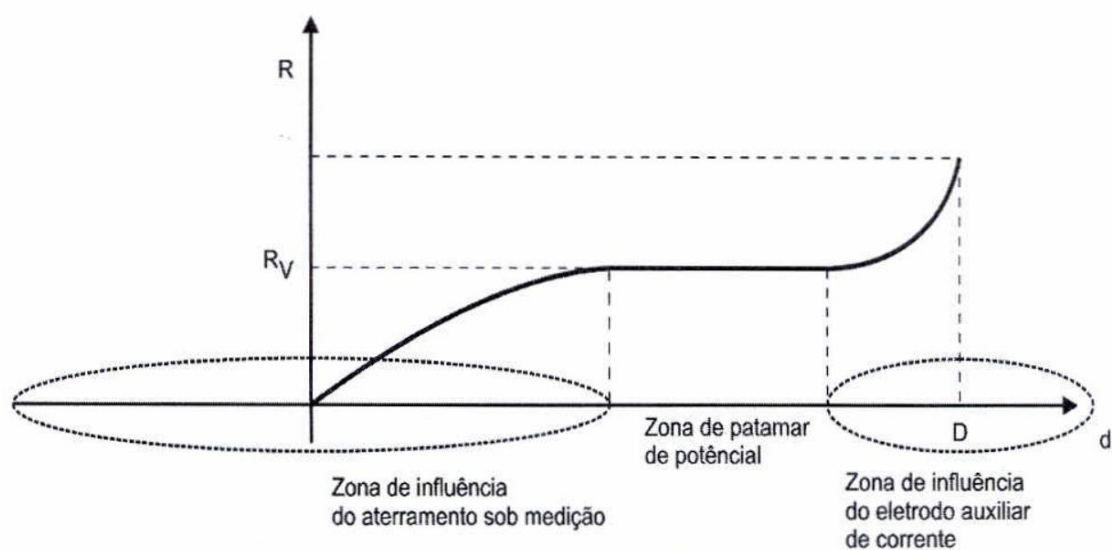


Fonte: O autor (2020)

Para achar um valor confiável é feito um cálculo para garantir que a medição foi feita na zona de patamar utilizando os três valores encontrados, obtendo-se a curva de resistência em função da distância (Figura 20), o valor encontrado deverá ser menor que 10% de acordo com a equação (5).

$$\frac{S_2 - S_3}{S_1} * 100 < 10\% \quad (5)$$

Figura 20 – Curva característica teórica da resistência de aterramento de um eletrodo pontual



Fonte: ABNT NBR 15749 (2009)

Onde:

R – resistência obtida variando a distância da sonda desde a distância $d=D$ até $d=0$;

Rv – valor verdadeiro do aterramento.

Após confirmar a afirmação anterior, deve-se fazer a média aritmética para encontrar a resistência de aterramento verdadeira como na equação (6).

$$\frac{S_1+S_2+S_3}{3} = S_{verdadeira} \quad (6)$$

Em alguns casos torna-se difícil ou mesmo impossível a aplicação deste método da queda de tensão. As distâncias que são necessárias para fazer medições confiáveis são diretamente proporcionais às distâncias do aterramento, assim torna-se inviável em instalações urbanas densamente povoadas e em sistemas de aterramento de grandes dimensões. Outro alvo a ser observado é o ponto sob medição, ele deverá estar desconectado do sistema de aterramento, portando, lugares onde não existe caixa de inspeção, torna-se difícil o ensaio.

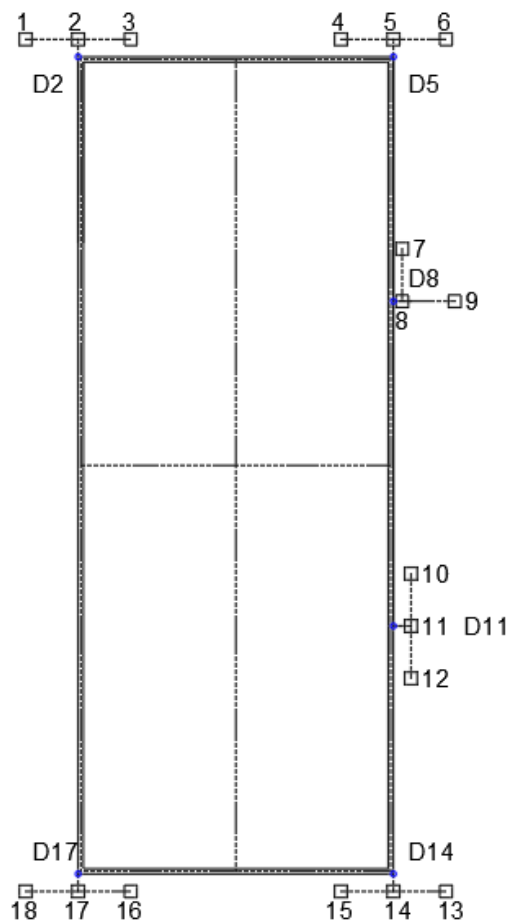
4 ANÁLISE DO SPDA E MEDIÇÕES

O primeiro passo para esta análise foi obter junto à instituição o projeto de SPDA do Bloco referente ao estudo. Com os projetos em mãos, foram traçados procedimentos para realizar as medições e poder registrá-las de forma clara e objetiva. Como o projeto não tinha a descrição dos pontos a serem analisados, o primeiro procedimento constituiu em numerar as caixas de inspeção e pontos de descida no projeto, conseqüentemente numerando as tampas de concreto para facilitar a identificação no relatório fotográfico.

4.1 PROJETO ORIGINAL

No projeto original de 1997, consta dezenove caixas de inspeção, seis descidas com indicação para cabo de cobre nu de 35mm², como apresentado no esboço do projeto na Figura 21.

Figura 21 – Esboço do projeto original



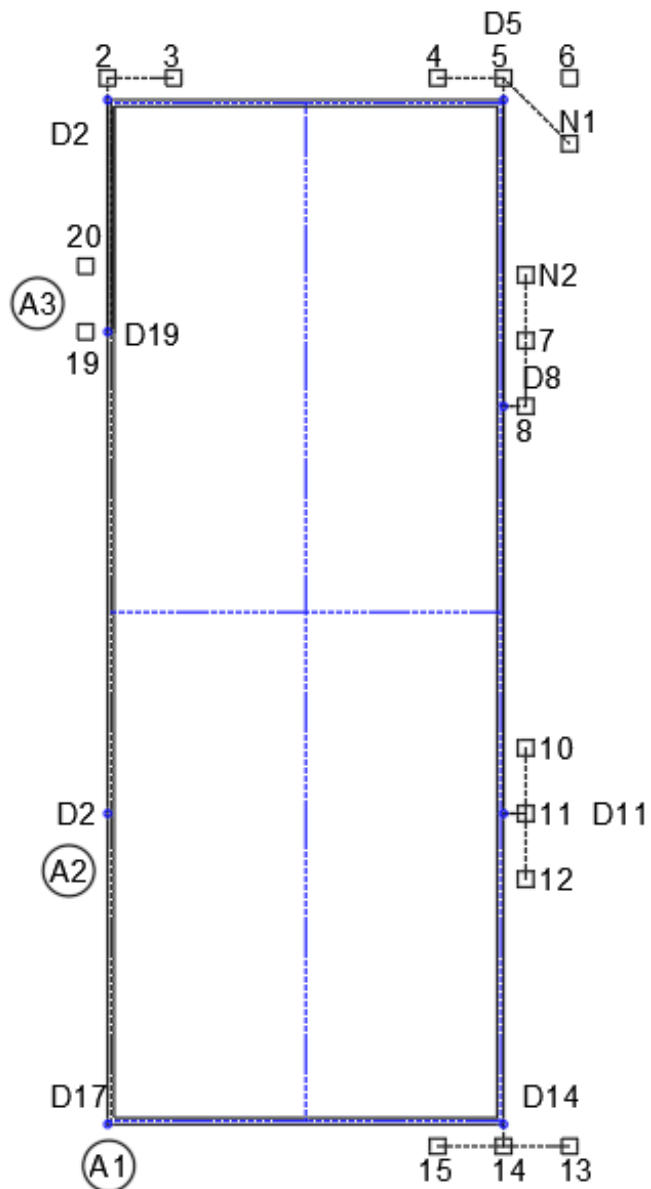
Fonte: O autor (2020)

Nos projetos fornecidos, pedia hastes tipo Copperweld, com diâmetro de 5/8", comprimento de 2,40 metros.

4.2 PROJETO EXECUTADO

No projeto executado foram encontradas algumas inconformidades com o projeto original, como apresentado no esboço da Figura 22.

Figura 22 – Esboço do projeto executado



Fonte: O autor (2020)

4.2.1 Caixa de Inspeção

As caixas de inspeção 1 e 9 não foram encontradas, assim como na área nomeada de A1 as caixas 16,17 e 18.

Figura 23 - Área A1



Fonte: O autor (2020)

Nas caixas de inspeção 4 e 6 não foi encontrada nenhuma haste. Como apresentado na Figura 24 .

Figura 24 - Caixa de inspeção 4.e 6



Fonte: O autor (2020)

Na caixa de inspeção 20 foi encontrada apenas a haste de cobre sem cabo de cobre como mostra a Figura 25.

Figura 25 - Caixa de inspeção 20.



Fonte: O autor (2020)

Na averiguação, foram encontradas duas caixas de inspeção nomeadas de N1 e N2, Figura 26, que não estavam indicadas no projeto original.

Figura 26 - Caixa de inspeção N1 e N2.



Fonte: O autor (2020)

Outro ponto observado nas caixas de inspeção, constituiu na falta de limpeza, sendo encontradas folhas, raízes ou mesmo soterradas com barro, Figura 27.

Figura 27 - Caixa de inspeção 7 e 13.

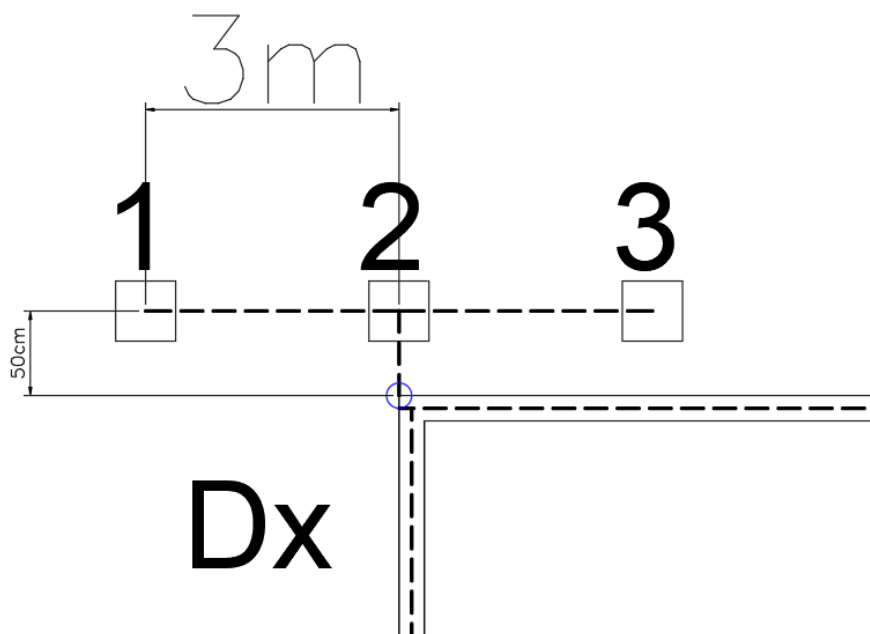


Fonte: O autor (2020)

4.2.2 Aterramento

O aterramento encontrado foi pontual do tipo pé de galinha, onde no qual são alinhadas três hastes com distância de três metros entre elas, e a 50cm da descida na parede, Figura 28.

Figura 28 – Esquema de Aterramento encontrado



Fonte: O autor (2020)

4.2.3 Descidas

As descidas foram nomeadas de acordo com a numeração da caixa de inspeção que estava conectada ou deveriam estar.

As descidas D2, D5, D8, D11, D14 estavam conectadas às suas respectivas caixas de inspeção.

A área A2 apresentou apenas uma descida que não estava em projeto, e sem caixa de inspeção, Figura 29.

Figura 29 – Área A2



Fonte: O autor (2020)

Na descida D19, que não estava em projeto, foi possivelmente furtado um pedaço do cabo de cobre, Figura 30.

Figura 30 – Descida D19.



Fonte: O autor (2020)

4.2.4 Captação

A captação projetada foi mesclada por malha de cabos de cobre 35mm² e mini captores espaçados nas extremidades e no meio da edificação, Figura 31.

Figura 31 – Mini captor e malha de cobre



Fonte: O autor (2020)

Em praticamente todo o trecho da malha do telhado, não foi encontrado o cabo de cobre, Figura 32.

Figura 32 – Cabos rompidos no telhado.



Fonte: O autor (2020)

4.3 MEDIÇÕES IN LOCO

4.3.1 Procedimento antes das medições

Segundo a NBR 15749, no item 5.1, algumas medidas de segurança devem ser tomadas para diminuir o risco de acidentes relativos a potenciais perigosos que possam ocorrer nas proximidades de sistemas de aterramento. Para realização dos testes utilizou-se de equipamentos de proteção individual, como luvas de borracha e sapato emborrachado, Figura 33.

Figura 33 – Luvas e sapato de proteção.



Fonte: O autor (2020)

A NBR 15749:2009 indica evitar a realização de medições com algum risco de tempestades atmosféricas, devido a possibilidade da ocorrência de descargas atmosféricas. Tendo isso em vista, optou-se por um dia ensolarado e com a previsão do tempo sem chuvas no momento das medições. No dia das medições, a temperatura ambiente foi medida com o aparelho Termo-Higrômetro, da marca MINIPA, modelo MTH-1301, Figura 34, obtendo-se de 38,4 °C com 37,3% de umidade relativa do ar, cenário ideal para os procedimentos.

Figura 34 – Temperatura ambiente e umidade relativa do ar.



Fonte: O autor (2020)

Outro ponto importante que a norma NBR 15749:2009 apresenta, é evitar que pessoas estranhas e animais se aproximem dos eletrodos utilizados na medição de aterramento. Para isso optou-se por um horário em que a instituição não tivesse movimento de pessoas.

Para realização das medições sendo elas com miliohmímetro ou terrômetro de hastes, utilizou-se de uma escova de aço para preparação das superfícies (Figura 35). Este importante procedimento é indicado pela NBR 5419:2015 – parte 3, para tirar qualquer oxidação no ponto de medição e evitar uma possível resistência de contato indesejada.

Figura 35 – Escovação do ponto de contato.



Fonte: O autor (2020)

4.3.2 Teste de continuidade

O teste de continuidade teve como objetivo averiguar se o aterramento estava como no projeto original ou se houve alguma mudança, além de verificar a continuidade das descidas. A norma NBR 5419:2015 - parte 3, no Anexo F, indica esses testes de continuidade entre vários trechos da edificação.

O equipamento utilizado foi o MILIOHMÍMETRO, modelo MILLIOHM-1, da marca Instrum, Figura 36. Ele calcula a resistência do condutor na ordem de mili (10^{-3}).

Figura 36 – Miliohmímetro da Instrum



Fonte: Instrum (2020)

O procedimento para fazer o teste, consiste em conectar cada ponta de prova entre os pontos que se deseja medir a resistência de continuidade. A Figura 37 mostra o ensaio de continuidade entre as hastes das caixas de inspeção 5 e 7, na qual o borne C2/P2 é conectada na haste 5 e o borne C1/P1 na haste 7.

Figura 37 – Teste de continuidade com miliohmímetro entre as caixas de inspeção 5 e 7



Fonte: Autor (2020)

Figura 38 – Visor do miliohmímetro no teste entre as caixas de inspeção 5 e 7



Fonte: Autor (2020)

Os valores encontrados pelo equipamento são apresentados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Resistências medidas com o uso miliohmímetro

Pontos de conexão	Valor apresentado pelo equipamento	
	Entre os Aterramento	Entre as Descidas
2 - 5	12,6mΩ	1
5 - 7	80,9mΩ	1
7 - 11	11,6mΩ	1
11 - 14	59,3mΩ	1
14 – A1	64,0 mΩ	1
A1 – A2	24,5mΩ	1
A2 – 19	14,8mΩ	1
19 – 2	20,5mΩ	1

Fonte: O autor (2020)

Os valores de resistência entre os aterramentos, indicam que existe continuidade entre os pontos avaliados, levando a supor que houve alguma reforma desde a época em que o projeto foi executado, podendo ser um anel circulando a edificação e conectando todas as hastes com as descidas.

Para o teste entre as descidas, o visor do equipamento apresentou o número 1, indicando que não há continuidade, confirmando o que já havia sido verificado através da análise visual.

4.3.3 Medição de aterramento

A medição de aterramento consiste em averiguar o estado da malha de aterramento, de acordo com a NBR 15749:2009.

O equipamento utilizado foi o TERRÔMETRO DIGITAL PORTÁTIL C/ 4 HASTES, modelo TMD-20KWI, da marca INSTRUM, Figura 39.

Figura 39 – Terrômetro de hastes da Instrum



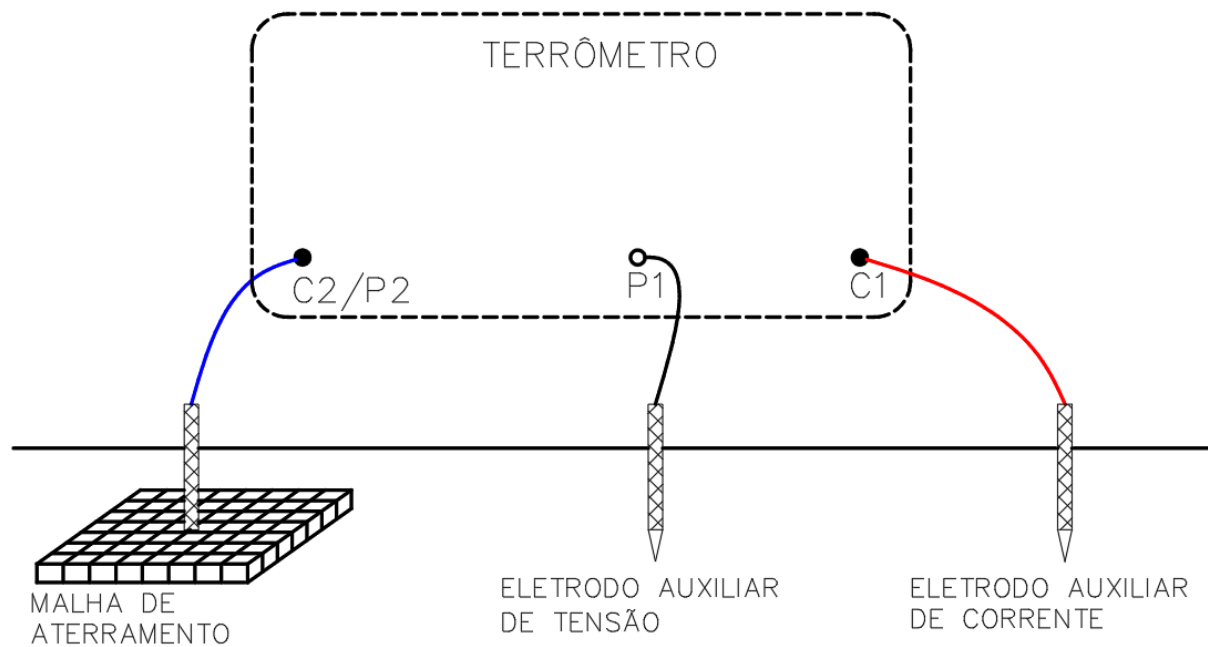
Fonte: Instrum (2020)

O procedimento para medição de aterramento consiste em seguir o seguinte roteiro:

- a) Desconectar todas as descidas do aterramento;

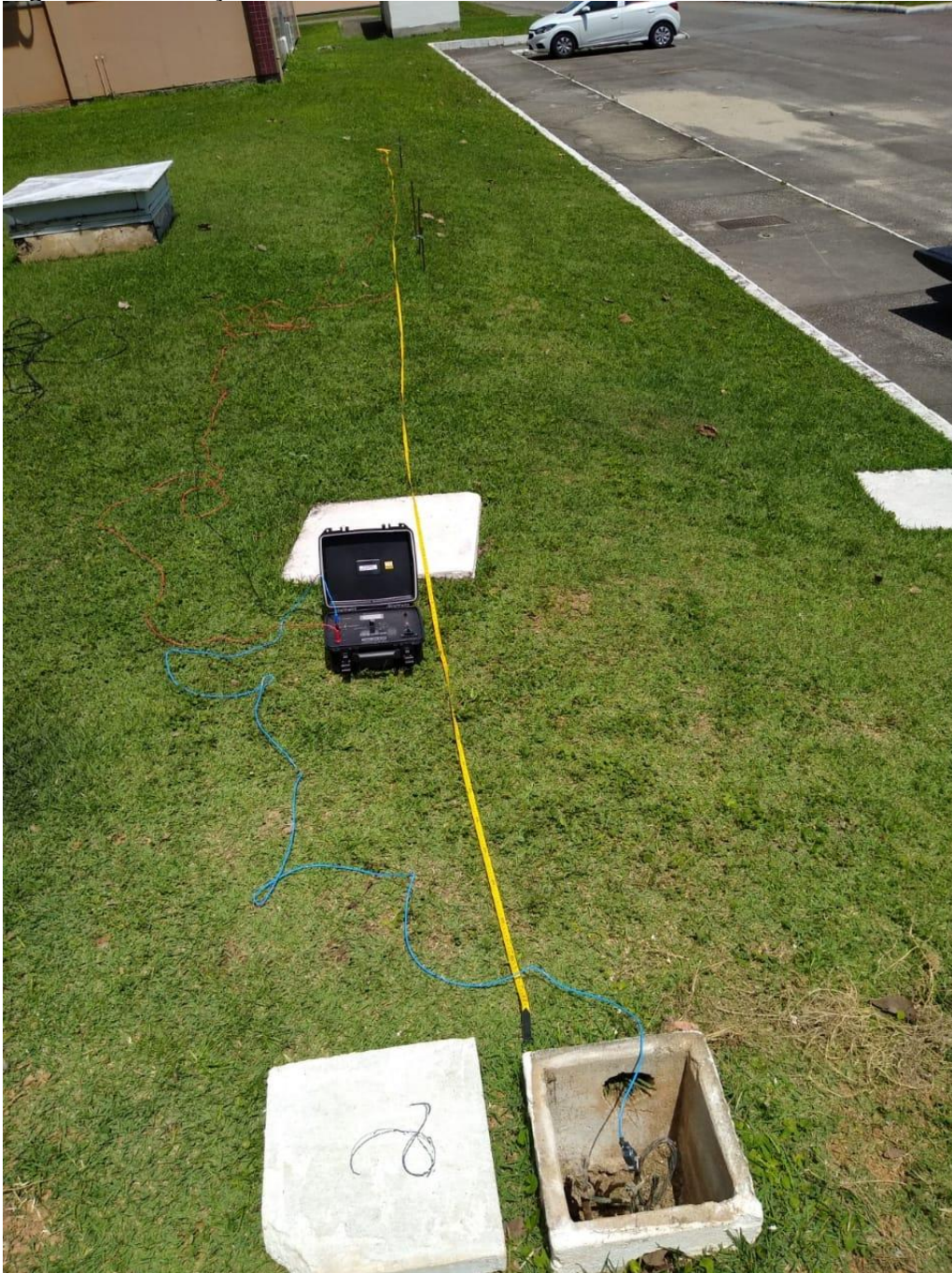
- b) Escolher um ponto da malha para conexão;
- c) Definir uma distância de para o ensaio, Figura 19;
- d) Fincar as hastes nas distâncias calculadas com auxílio de trena de fita, Figura 41;
- e) Conectar as pontas de prova como no manual do equipamento, Figura 40;
- f) Fazer as três medições S1, S2, S3;
- g) Calcular se as medições estão na zona de patamar;
- h) Calcular a resistência verdadeira.

Figura 40 – Esquema de ligação terrômetro de hastes da Instrum



Fonte: Autor (2020)

Figura 41 – Medição de resistência de aterramento com terrômetro de hastes em campo



Fonte: Autor (2020)

Considerando que o tamanho da malha de aterramento era incerto estimou-se um valor inicial de uma malha de três metros, e como a norma pede que seja três vezes esse valor, arredondamos para dez metros o valor de “d”, para facilitar os cálculos das distâncias. Foi escolhido como ponto de conexão da malha a haste localizada na caixa de inspeção 2, devido ao seu espaço ser viável para espalhar as hastes do equipamento.

No primeiro teste com $d=10$ metros já foi encontrado um valor aceitável, na zona de patamar, assim, não sendo mais preciso outras tentativas com valores superiores da malha de aterramento.

A Tabela 5 apresenta os valores obtidos de resistência da malha de aterramento.

Tabela 5 - Valores usados e obtidos na medição de resistência da malha de aterramento

Ponto de medição	Distância $d=10m$		Resistência medida		$\frac{S_2 - S_3}{S_1} * 100$	Resistência equivalente
S1	62%*d	6,2m	Figura 42	1,58 Ω	8,86%	1,61 Ω
S2	67%*d	6,7m	Figura 43	1,7 Ω		
S3	57%*d	5,7m	Figura 44	1,56 Ω	Aceitável	

Fonte: Autor (2020)

Figura 42 – Resistência obtida ponto S1



Fonte: Autor (2020)

Figura 43 – Resistência obtida ponto S2



Fonte: Autor (2020)

Figura 44 – Resistência obtida ponto S3



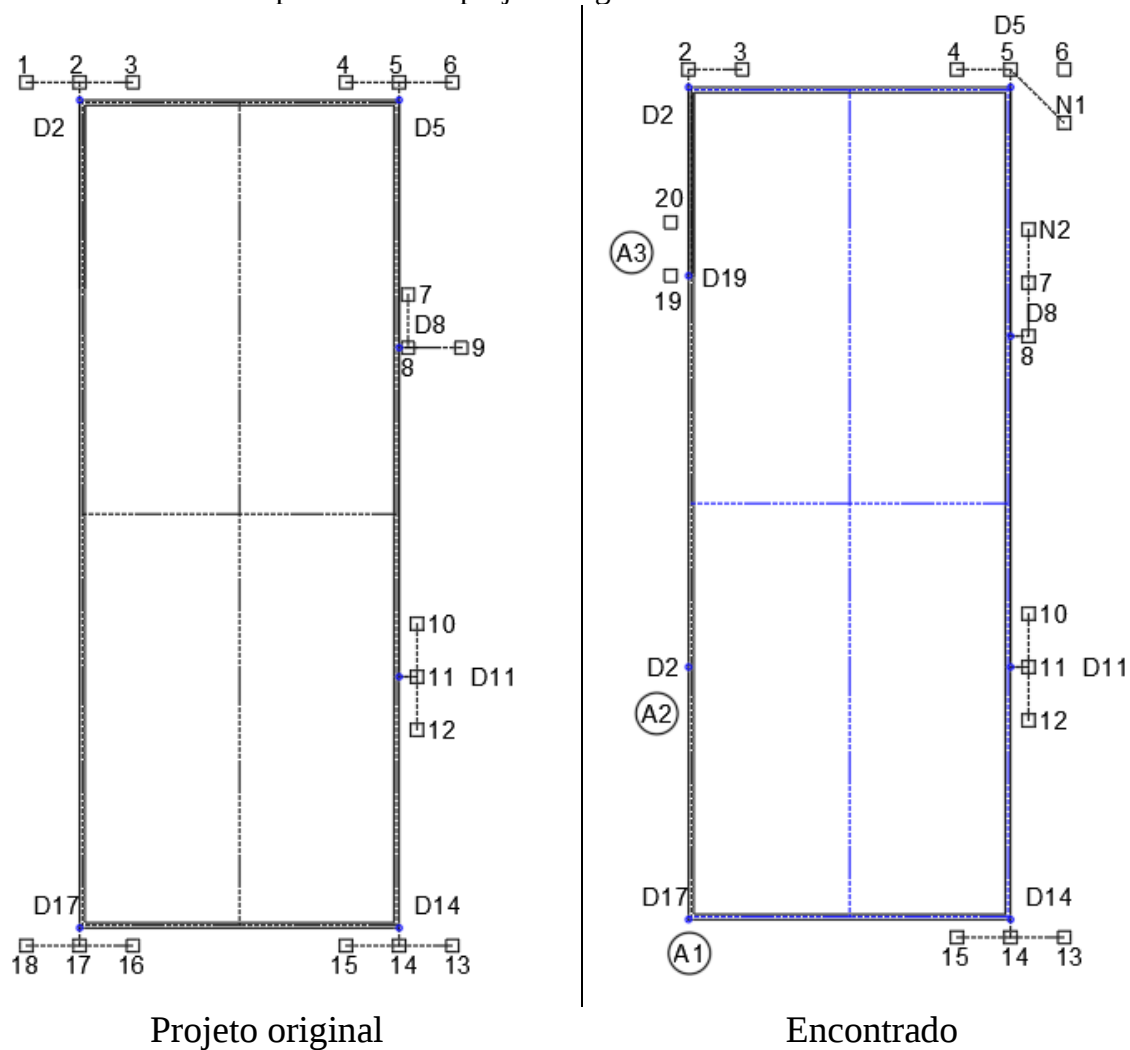
Fonte: Autor (2020)

O valor obtido de resistência pela média aritmética foi de $1,61\Omega$. De acordo com a norma NBR 5419:2005 este valor era plausível, já que se encontrava abaixo de 10Ω . Porém, a atual norma de 2015 não estabelece um valor para validação do aterramento, apenas cita que seja o menor valor possível. A atual norma considera válidos apenas os aterramentos com sistema em anel ou estrutural.

4.3.4 Resumo comparativo

Na Figura 45 são apresentados o projeto original e a situação atual, o que permite verificar as diferenças encontradas in loco.

Figura 45 – Resumo comparativo entre projeto original e encontrado



Projeto original
Fonte: O autor (2020)

Encontrado

5 CONCLUSÃO

Através da análise do sistema de proteção contra descargas atmosféricas no bloco D da instituição UNISUL, foi possível analisar a verdadeira situação em que se encontra o sistema. Verificou-se várias inconformidades com o projeto original, podendo ser citadas a ausência e acréscimo de algumas caixas de inspeção e acréscimo de algumas descidas.

O projeto fornecido pela instituição foi feito em 1997, quando a norma que prevalecia era a NBR 5419: 1993. Sendo assim, é importante que seja feita uma análise de risco a fim de chegar a um nível de proteção adequado à edificação e então atualizar o projeto.

A malha de aterramento apresentou um resultado plausível, levando em conta o tempo que o sistema está instalado em uma área próximo ao mar, com forte ação da maresia.

A atual norma NBR 5419:2015-parte 3, no item 5.5.3, considera obrigatória a instalação de caixas de inspeção, com a altura sugerida de 1,5m a partir do solo, com conexões mecânicas para proporcionar um fácil acesso na realização de ensaios. A falta destas caixas foi um problema encontrado quando foram realizadas as medições.

Para os responsáveis pela manutenção do SPDA é importante recomendar que tenham um registro dos ensaios realizados nas malhas de aterramento e continuidade elétrica dos condutores, a fim de verificar a integridade das conexões e condutores, através de possíveis aumentos das resistências. Também é importante que façam uma análise visual mensal nos arredores e no telhado e, caso ocorra uma descarga direta na edificação, seja possível verificar a integridade do sistema.

Contudo, após as análises realizadas na instituição, é de suma importância que a instituição contrate uma empresa competente a fim de refazer as conexões além de revisar todo o sistema de proteção contra descargas atmosféricas devido ao furto dos cabos de cobre ocorridos no telhado, podendo assim oferecer o mínimo de proteção aos ocupantes desse bloco. Também é necessário que se faça a limpeza das caixas de inspeção subterrâneas e as demais mudanças sugeridas.

Outro ponto a ser citado é a necessidade de impedimento físico do acesso ao telhado pois, no momento da inspeção, a porta de acesso encontrava-se aberta, viabilizando possíveis furtos das instalações.

Como a norma regulamenta o uso de condutores de alumínio tanto nas descidas quanto na malha de captação. O uso deste material inibirá futuros furtos e diminuirá os custos para a readequação de praticamente todo sistema de proteção de para-raios.

Por conluinte, o SPDA é um sistema eficaz e necessário, entretanto, só funciona adequadamente se os requisitos mínimos das normas sejam colocados em prática, pois nada vale se este sistema de proteção ficar abandonado e fora das regulamentações, o que pode acarretar acidentes e perdas para os usuários desta instituição.

Para futuros trabalhos, é interessante fazer uma análise completa de risco e separando os blocos em zonas de proteção, apresentando uma classe de SPDA que comporte os riscos toleráveis. Pode-se indicar uma análise do barramento de equipotencialização e conferir a continuidade entre os blocos próximos, além de averiguar se existe dispositivos de proteção contra surtos (DPS) nos quadros existentes.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 15749: **Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento**. Rio de Janeiro. 2009.
- ABNT. NBR 5419: **Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 1: Princípios Gerais**. Rio de Janeiro. 2015.
- ABNT. NBR 5419: **Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 2: Gerenciamento de Risco**. Rio de Janeiro. 2015.
- ABNT. NBR 5419: **Proteção Contra Descargas Atmosféricas - Parte 3: Danos Físicos a Estruturas e Perigos à Vida**. Rio de Janeiro. 2015.
- ALVES, Normando. **Como validar um eletrodo de aterramento de acordo com a NBR5419/2015**. 2019. Disponível em <<https://tel.com.br/como-validar-um-eletrodo-de-aterramento-de-acordo-com-nbr5419-2015/#:~:text=%E2%80%9CNBR%205419%2F1977%20%E2%80%93%203.4,por%20aparelhos%20e%20m%C3%A9todos%20adequados.%E2%80%9D>> Acesso em 06/07/2020.
- BENITEZ, C. Z. M. **Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas Conforme Norma NBR-5419/2005**. Salvador: 2006. Monografia apresentada ao curso de engenharia elétrica, ÁREA 1, 2005.
- BERTUCCI, Janete Lara de Oliveira. **Metodologia básica para elaboração de trabalhos de conclusão de cursos: ênfase na elaboração de TCC de pós graduação Lato Sensu**. São Paulo: Atlas, 2009.
- BORTOLATO, W. W. **Estudo comparativo das alterações da norma NBR 5419, avaliação e estudo de gerenciamento de risco**. Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 2017.
- CLAMPER. **Proteção de Equipamentos Elétricos**. 1º Edição. ed. Lagoa Santa: Editora Clamper, 2016.
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisas**. 4. ed. 11 reimpr. São Paulo – Atlas, 2008.
- GODOY, A. S. **Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades**. Revista de Administração de Empresas, Rio de Janeiro, v. 35, 1995.
- KINDERMAN, G. **Proteção Contra Descargas Atmosféricas em Estruturas Edificadas**. 4ª Edição. ed. Florianópolis: [s.n.], 2009.
- KINDERMAN, G.; CAMPAGNOLO, J. M. **Aterramento Elétrico**. 6ª edição. ed. Florianópolis: [s.n.], 2011.
- LIMA, S. Q. de. **Aterramento de antenas de tv em edificações residenciais**. 2009.
- MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas Industriais**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

PRAZERES, M. de Nazaré dos. **Análise em FDTD de Tensões Induzidas no Interior de um Prédio com SPDA: Aspectos de Blindagem.** 2007.

YIN, R. K. **Estudo de Caso – Planejamento e Método.** 2. ed. São Paulo: Bookman, 2001.