

**REDE DOCTUM DE ENSINO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE PROJETO DE SPDA EM EDIFÍCIO FINALIZADO  
SEGUNDO A NOVA NBR 5419:2015**

**VICTOR HUGO PIO SÉRVULO**

**Trabalho de Conclusão de Curso**

**Caratinga/MG**

**2016**

**VICTOR HUGO PIO SÉRVULO**

**ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE PROJETO DE SPDA EM EDIFÍCIO FINALIZADO  
SEGUNDO A NOVA NBR 5419:2015**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Elétrica do Instituto Tecnológico de Caratinga da DOCTUM Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Professor Orientador: Joildo Fernandes.

**Caratinga/MG**

**2016**

TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DO TRABALHO

**ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE PROJETO DE SPDA EM EDIFÍCIO FINALIZADO SEGUNDO A NOVA NBR 5419:2015**

Nome completo do aluno: VITOR HUGO PIO SÉRVULO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado perante a Banca de Avaliação composta pelos professores Joildo Fernandes Costa Junior, Robson Da Silva e Daniel Mageste Butters, às 19:00 horas do dia 16 de dezembro de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica. Após a avaliação de cada professor e discussão, a Banca Avaliadora considerou o trabalho: APROVADO (aprovado ou não aprovado), com a qualificação: Bom. (Excelente, Ótima, Bom, Satisfatório ou Insatisfatório).

Trabalho indicado para publicação: ( ) SIM (X) NÃO

Caratinga,

16 de dezembro de 2016

\_\_\_\_\_  
Professor Orientador e Presidente da Banca

Robson da Silva  
Professor Avaliador 1

Daniel Mageste Butters  
Professor Avaliador 2

Vitor Hugo Pio Sérulo  
Alun(a)

\_\_\_\_\_  
Coordenador(a) do Curso

*À Deus por todas as bênçãos desta vida.....*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pelas bênçãos concebidas, minha família por todo apoio e a todos envolvidos academicamente por mais uma etapa vencida em minha vida.

*“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”*

(CHARLES CHAPLIN)

SÉRVULO, Victor Hugo P. **Estudo de implantação de projeto de SPDA em edifício finalizado, segundo a nova NBR 5419:2015**. Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Instituto Tecnológico de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

## RESUMO

Quando se fala em descargas atmosféricas, se fala em danos e problemas causados por elas, sendo na maioria das vezes irreversíveis. A implantação de um sistema de SPDA ( Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas ) é o principal fator de minimização dos prejuízos causados por essas descargas. Nesse trabalho será feito um estudo de implantação de um projeto de SPDA em um edifício encontrado na Rua João Pinheiro, nº 71 – Centro –Caratinga-MG que já foi totalmente construído e acabado sem a implantação do sistema. Serão aplicados os parâmetros atualizados da nova norma que abrange os sistemas de SPDA assim como o calculo de gerenciamento de risco onde será estabelecido a necessidade ou não do sistema de SPDA na estrutura. Todos esses parâmetros serão detalhados aumentando a confiabilidade do projeto, refletindo na segurança do sistema de proteção que poderá ser implantado. O projeto de SPDA será entregue para o responsável do edifício, onde ele optará por executar ou não o sistema no mesmo, estando ciente dos problemas presentes quanto ao não cumprimento da norma .

**Palavras-chave:** SPDA. Sistema de Proteção. Descargas Atmosféricas.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Pipa de Franklin . . . . .	16
<b>Figura 2</b> – Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA . . . . .	26
<b>Figura 3</b> – Laço em um condutor de descida . . . . .	29
<b>Figura 4</b> – Comprimento mínimo l1 do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA. . . . .	30
<b>Figura 5</b> – Modelos de DPS classe I,II e III . . . . .	37
<b>Figura 6</b> – Exemplo de instalação de DPS classe 1, classe 2 e classe 3. . . . .	39
<b>Figura 7</b> – Método da esfera rolante pela vista frontal da edificação . . . . .	56
<b>Figura 8</b> – Posição dos terminais aéreos pela vista frontal. . . . .	56
<b>Figura 9</b> – Método da esfera rolante pela vista lateral da edificação. . . . .	56
<b>Figura 10</b> – Posição dos terminais aéreos pela vista lateral. . . . .	57
<b>Figura 11</b> – Componentes utilizados no projeto . . . . .	57
<b>Figura 12</b> – Condutores de captação, terminais aéreos e condutores de descida em barra chata . . . . .	57
<b>Figura 13</b> – Detalhamento da caixa de inspeção conectada as hastes de aterramento . . . . .	58
<b>Figura 14</b> – Espaçamento entre os condutores de descidas . . . . .	58
<b>Figura 15</b> – Malha de proteção do pavimento saliente. . . . .	59
<b>Figura 16</b> – Malha de proteção do pavimento cobertura . . . . .	60
<b>Figura 17</b> – Anel coletor a vinte metros de altura. . . . .	60
<b>Figura 18</b> – Detalhe dos terminais aéreos sobre o muro limite do salão de festa. . . . .	61
<b>Figura 19</b> – Aterramento em anel de toda estrutura. . . . .	61
<b>Figura 20</b> – Localização da caixa de equipotencial na garagem. . . . .	62
<b>Figura 21</b> – Detalhe do local da caixa de equipotencial. . . . .	62
<b>Figura 22</b> – Esquema de ligação do DPS em quadro de distribuição. . . . .	63
<b>Figura 23</b> – Autorização para coleta de dados . . . . .	70
<b>Figura 24</b> – Laudo Meteorológico . . . . .	71
<b>Figura 25</b> – Lista de Materiais Utilizados . . . . .	72

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	– Efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas. . . . .	17
<b>Tabela 2</b>	– Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica . . . . .	19
<b>Tabela 3</b>	– Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura . . . . .	21
<b>Tabela 4</b>	– Valores típicos de risco tolerável RT . . . . .	23
<b>Tabela 5</b>	– Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA	24
<b>Tabela 6</b>	– Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA. . . . .	26
<b>Tabela 7</b>	– Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA. . . . .	28
<b>Tabela 8</b>	– Materiais para SPDA e condições de utilização. . . . .	31
<b>Tabela 9</b>	– Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas. . . . .	32
<b>Tabela 10</b>	– Continuação . . . . .	32
<b>Tabela 11</b>	– Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento. . .	33
<b>Tabela 12</b>	– Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento. . . . .	35
<b>Tabela 13</b>	– Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização(BEP ou BEL) . . . . .	35
<b>Tabela 14</b>	– Seção transversal mínima para componentes de equipotencialização . . . .	36
<b>Tabela 15</b>	– Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura. . . . .	41
<b>Tabela 16</b>	– Valores médios típicos de LT, LF e LO . . . . .	44
<b>Tabela 17</b>	– Fator de redução $r_t$ em função do tipo da superfície do solo ou piso. . . . .	44
<b>Tabela 18</b>	– Fator de redução $r_p$ em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio. . . . .	45
<b>Tabela 19</b>	– Fator de redução $r_f$ em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura.	45
<b>Tabela 20</b>	– Fator $h_z$ aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial. . . . .	46
<b>Tabela 21</b>	– Valores de probabilidade PTA de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas.	47
<b>Tabela 22</b>	– Valores de probabilidade PB dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos. . . . .	48

<b>Tabela 23</b> – Valores da probabilidade PTU de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas. . . . .	49
<b>Tabela 24</b> – Valor da probabilidade PEB em função do NP para o qual os DPS foram projetados. . . . .	49
<b>Tabela 25</b> – Valores da probabilidade PLD dependendo da resistência RS da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso UW do equipamento. . . . .	49
<b>Tabela 26</b> – Valores dos fatores CLD e CLI dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento. . . . .	50
<b>Tabela 27</b> – Fator de localização da estrutura CD. . . . .	51
<b>Tabela 28</b> – Fator de instalação da linha CI. . . . .	53
<b>Tabela 29</b> – Fator tipo de linha CT . . . . .	53
<b>Tabela 30</b> – Fator ambiental da linha CE. . . . .	53

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>13</b>
2.1 Descargas Atmosféricas	13
<b>2.1.1 Formação das descargas atmosféricas</b>	13
<b>2.1.2 Descargas Atmosféricas no Brasil</b>	14
<b>2.1.3 Surgimento do Para-Raio</b>	15
2.2 Danos, Efeitos e Perdas devido às descargas atmosféricas	16
<b>2.2.1 Fontes e tipos de danos a uma estrutura</b>	17
2.2.1.1 Danos a uma estrutura	18
2.2.1.2 Tipos de perdas	18
2.3 Gerenciamento de risco	19
<b>2.3.1 Componente de riscos</b>	19
2.3.1.1 Composição dos componentes de risco	21
2.3.1.2 Análise dos componentes de risco	22
<b>2.3.2 Necessidade da proteção contra descargas atmosféricas</b>	22
<b>2.3.3 Risco tolerável RT</b>	23
2.4 Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas - SPDA	23
<b>2.4.1 Classe do SPDA</b>	24
<b>2.4.2 Sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas</b>	25
2.4.2.1 Subsistema de captação	25
2.4.2.1.1 <i>Posicionamento</i>	25
2.4.2.1.2 <i>Construção</i>	27
2.4.2.2 Subsistema de Descida	27
2.4.2.2.1 <i>Posicionamento</i>	28
2.4.2.2.2 <i>Construção</i>	28
2.4.2.3 Subsistema de aterramento	29
2.4.2.4 Componentes	30
2.4.2.5 Fixação	31
2.4.2.6 Conexões	31
2.4.2.7 Materiais e Dimensões	32
<b>2.4.3 Sistema Interno de Proteção Contra Descargas Atmosféricas</b>	33
2.4.3.1 Equipotencialização	34
2.4.3.1.1 <i>Materiais e dimensões dos componentes de equipotencialização</i>	36
2.4.3.2 Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS)	36
2.4.3.2.1 <i>Localização do DPS</i>	38

<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>40</b>
3.1 ESTUDO DE CASO	40
<b>3.1.1 Cálculo do Gerenciamento de Risco</b>	<b>40</b>
3.1.1.1 Risco Tolerável RT	41
3.1.1.2 Cálculo das componentes de risco	42
3.1.1.3 Cálculo das perdas	43
3.1.1.4 Cálculo da Probabilidade	47
3.1.1.5 Cálculo do número anual N de eventos perigosos	51
<b>3.1.2 Definição dos Parâmetros Básicos</b>	<b>55</b>
3.1.2.1 Método de Proteção	55
3.1.2.2 Materiais	57
3.1.2.3 Número de Descidas	58
3.1.2.4 Construção do Projeto	58
3.1.2.5 Proteção Externa da Estrutura	59
3.1.2.5.1 <i>Proteção do Pavimento Saliente (Claraboia)</i>	59
3.1.2.5.2 <i>Proteção do pavimento cobertura.</i>	59
3.1.2.5.3 <i>Proteção pelo anel coletor</i>	60
3.1.2.5.4 <i>Proteção na Área do Salão de Festas</i>	60
3.1.2.5.5 <i>Malha de Aterramento</i>	61
3.1.2.6 Proteção Interna da Estrutura	61
3.1.2.6.1 <i>Equipotencialização</i>	61
3.1.2.6.2 <i>Dispositivo de Proteção Contra Surto (DPS)</i>	62
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>64</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>65</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO A PROJETO SPDA</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO B AUTORIZAÇÃO PARA COLETA DE DADOS</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO C LAUDO METEOROLÓGICO</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO D LISTA DE MATERIAIS</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

"As descargas atmosféricas são fenômenos da natureza absolutamente imprevisíveis e aleatórios, tanto em relação as suas características elétricas de intensidade de corrente ou tempo de duração, como em relação aos efeitos desastrosos de correntes de sua incidência sobre as edificações"(TERMOTÉCNICA , 2015, p. 2).

Na prática não há como impedir a queda de uma descarga em determinado local. Não há atração a longas distâncias, sendo os sistemas totalmente receptores. Deste modo, as soluções aplicadas buscam minimizar os efeitos destruidores a partir da colocação de pontos preferenciais de captação e da criação de um caminho de baixa resistência elétrica para a corrente elétrica possa fluir para o solo. Um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) tem como objetivo escoar para o solo, no caminho mais curto possível os raios que eventualmente atingem direta ou indiretamente a edificação onde estão instalados.

Uma edificação é considerada segura contra descargas atmosféricas a partir do momento em que todo o procedimento de instalação for projetado e construído de tal maneira que os componentes da estrutura, as pessoas, os equipamentos e instalações, que estejam permanentemente ou temporariamente em seu interior, fiquem efetivamente protegidos contra raios e seus efeitos pelo maior espaço de tempo possível. (CAVALIN, 2010, p.376)

A norma que regulamentadora do sistema de SPDA é a NBR 5419:2015, a qual sofreu alterações após reformulação, entrando em vigor em 22 de julho de 2015, com o objetivo de aumentar a confiabilidade e a segurança dos sistemas de proteção, aumentando os níveis de proteção, gerenciamentos de risco, além de novos materiais não registrado na versão anterior. A NBR 5419:2015 afirma que na prática é impossível obter uma proteção de 100% contra as descargas atmosféricas, mas obedecendo os parâmetros norma é possível se obter uma eficiência de ate 98% na proteção da estrutura.

O objetivo desse trabalho consiste em proteger e prevenir pessoas, bens e serviços contra a incidência de descargas atmosféricas diretas ou indiretas em uma edificação . O edifício já se encontra finalizado e não possui nenhum sistema de proteção contra descargas atmosféricas.Por se tratar de uma construção já concluída, o projeto visa conservar a estética na edificação e reduzir custos caso o sistema seja executado.

O projeto de SPDA será entregue para o responsável pela edificação e ficará ao seu critério sobre a execução da proteção em sua estrutura.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

#### 2.1.1 Formação das descargas atmosféricas

A descarga atmosférica, também conhecida como raio, é um dos fenômenos naturais mais poderosos conhecidos. Muito já se ouviu falar sobre os danos e prejuízos na maioria das vezes irreversíveis causados por ela.

Os relâmpagos, descargas atmosféricas, ou ainda os raios são formados dentro de uma nuvem denominada cumulonimbo, que possui características diferenciadas em relação a outras, por ser verticalmente mais extensas. Essas nuvens se forma a uma altura de 2000 metros do solo e se estendem até 18000 metros acima. (CAVALIN, 2010, p.373)

As tempestades são formadas por água e calor, quando bolsas de ar úmido são aquecidas pelo sol elas sobem, enquanto ganham altura o ar a sua volta fica mais frio e a pressão atmosférica diminui. A umidade se esfria e condensa para formar nuvens. Esse processo está no centro da formação de todo tipo de nuvem, mas para criar o raio ele precisa ir além, quando as condições estão certas com água e calor o bastante para dar prosseguimento ao sistema, as nuvens antes pequenas crescem e se unem formando nuvens maiores sempre subindo.

Algumas das gotas de água se tornam grandes e pesadas demais para a corrente de ar ascendente sustenta-las e com isso precipitam em forma de chuva. Mas as fortes correntes de convecção elevam as menores gotículas cada vez mais alto e na região superior da nuvem que é a mais fria elas se congelam formando minúsculos cristais de gelo. No topo da nuvem que pode estar a quilômetros de altitude elas se espalham horizontalmente tomando a forma achatada de bigorna, uma típica nuvem de tempestade.

Mais água congela nas partículas de gelo que crescem e formam granizo que passa e volta através da nuvem. O granizo cai através da corrente de partículas menores em ascensão causando milhões de minúsculas colisões. Cada colisão derruba elétrons dos cristais de gelo que estão subindo dando a eles uma carga elétrica positiva enquanto o granizo que está caindo fica carregado negativamente. Toda a nuvem acaba ficando eletrificada como uma pilha gigante, positiva acima e negativa nas regiões inferiores.

Os raios são formados no início de pequenas faíscas, que nesse estágio denomina-se líder escalonado. O líder escalonado a medida que vai descendo, vai se ramificando pelo caminho.

Ao aproxima-se do solo (em torno de 50 metros), sai a uma velocidade de 1500km/s outra faísca denominada “descarga conectante ou piloto. Nesse momento, as duas faíscas se encontram. É chamada de “descarga de retorno ou

principal”. Isso é o que, de fato, enxergamos. A descarga de retorno começa a subida em direção à nuvem a uma velocidade de 30000km/s e intensidade de corrente elétrica de 2kA a 200kA. Quando a faísca chega lá, ela atinge o máximo da luminosidade. (CAVALIN, 2010, p.3740)

As cargas elétricas positivas reúnem-se em objetos pontiagudos, lâminas de grama, agulha de pinheiro, galhos de árvores e postes metálicos, essas cargas emitem faixas luminosas ascendentes na direção do líder descendente, quando eles fazem contato a nuvem repentinamente fica aterrada e uma enorme corrente elétrica se rompe para o solo criando as descargas atmosféricas.

### 2.1.2 Descargas Atmosféricas no Brasil

O Brasil é o recordista mundial de incidência de raios, são aproximadamente 50 milhões de descargas atmosféricas por ano, 130 mortos e 500 feridos. Isso acontece porque o Brasil é um país tropical de dimensões continentais onde o calor favorece a ocorrência de tempestades. Entre os anos de 1991 a 2010 o número de mortos por raios no Brasil chegou a 2.640, mais do que o número total de óbitos no mesmo período por enchentes ou deslizamentos de terra (2.475 mortos). “Estima-se que 80% dessas mortes por raios poderiam ser evitadas”. explicou o coordenador do ELAT (Grupo de Eletricidade Atmosférica), Osmar Pinto Júnior.

O ELAT é o primeiro grupo de pesquisa sobre raios criado no Brasil e faz parte do Centro de Ciências do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (IMPE). Criado oficialmente em 1995, é considerado uma referência mundial nas pesquisas sobre eletricidade atmosférica. O Segundo o IMPE, o ELAT possui um Núcleo de Monitoramento e alerta de ocorrência de descargas atmosféricas funcionando 24 horas por dia durante os sete dias da semana, para prestar serviços de alerta da incidência de descargas para uma dada região, com o intuito de proteger pessoas exercendo atividades ao ar livre. O serviço é disponível para todo o país.

Este serviço é realizado de forma não automática por uma equipe altamente qualificada, utilizando uma metodologia desenvolvida pelo ELAT baseada em informações integradas provenientes de diversas técnicas. O alerta é enviado via telefone fixo, telefone celular e/ou e-mail” confirma o IMPE

Abaixo estão listadas algumas atividades pioneiras da ELAT no Brasil:

- 1986 - Primeiro modelo da estrutura elétrica das nuvens de tempestade;
- 1987 - Primeira tese de doutorado em eletricidade atmosférica;
- 1996 - Primeiro livro publicado sobre raios;
- 1999 - Primeira geração de raio artificial;
- 2001 - Primeira observação de raios no país com câmeras de alta velocidade;

- 2002 - Primeiro registro de sprites;
- 2002 - Primeiro mapa de incidência de raios no país com base em dados de superfície e de satélite;
- 2003 - Primeira observação do aumento da incidência de raios em grandes centros urbanos;
- 2005 - Primeiro modelo de eficiência de detecção de raios por redes de monitoramento;
- 2005 - Primeira observação de um raio atingindo simultaneamente dois pontos no solo
- 2006 - Primeiro sistema integrado de alerta da incidência de descargas;
- 2010 - Primeira evidencia de que a largura da nuvem de uma tempestade afeta as características dos raios;
- 2011 - Primeira Rede Brasileira de Monitoramento de Descargas nuvem-solo e nuvem-nuven (rede BrasilDAT)
- 2011 - Primeiro algoritmo de previsão de raios com alta resolução espacial e 24 horas de antecedência;
- 2012 - Primeira série científica sobre raios na TV brasileira;
- 2012 - Primeira observação de raios bipolares;
- 2012 - Primeiro registro em foto e vídeo de raio ascendente;
- 2013 - Primeiro documentário sobre raios do Brasil.

Existem outras empresas especializadas em ocorrências de raios no Brasil , onde cliente podem solicitar laudos meteorológicos das regiões que preferir, como mostra um exemplo apresentado no anexo C.

### **2.1.3 Surgimento do Para-Raio**

No dia 15 de junho de 1750, em meio a uma tempestade, o americano Benjamin Franklin (1706-1790) cientista e também escritor e diplomata resolveu provar algumas de suas suposições científicas. Franklin desenvolveu dois experimento para analisar o comportamento elétrico das nuvens.

O primeiro foi a Guarita que era composto por um abrigo de madeira e uma barra de ferro para fora erguida a uma certa altura. Se a barra de ferro atraísse eletricidade da nuvem de tempestade, ele poderia recolher as faíscas com um fio terra isolado e foi o que aconteceu. Sua teoria estava quase comprovada.

O segundo experimento foi a pipa de Franklin, figura 1, onde um pequeno pedaço de metal seria levado para o céu amarrado em uma pipa; o mesmo atrairia eletricidade das nuvens e a conduziria a uma chave amarrada a linha que Franklin segurava. A pipa transferiu a carga elétrica para a chave confirmando os resultados do experimento da guarita.



**Figura 1:** Pipa de Franklin

**Fonte:** Dicas Free .Disponível em <

<http://www.dicasfree.com/como-benjamin-franklin-desenvolveu-o-para-raio/>>

"Nuvens de tempestade contem eletricidade e os raios são uma descarga elétrica", concluiu Franklin. Em 1752, Franklin queria aplicar na prática o que havia descoberto, e assim surgira o primeiro para-raios, composto por um condutor metálico ligado ao chão. Benjamin convenceu autoridades da Filadelfia a instalar para raios em prédios cívicos importantes e igrejas que eram os edifícios de maiores alturas na época. Os para raios se espalharam pelos Estados Unidos e Europa.

Quando os raios derreteram alguns para-raios de latão, Franklin aperfeiçoou a invenção com um condutor mais resistente e uma barra de maior comprimento para melhor fixação ao solo. Com o passar dos anos os materiais dos para-raios foram aperfeiçoados até chegarem ao que temos atualmente.

Até os dias de hoje, não é possível se obter um sistema com 100% de proteção. Desde que Franklin propôs pela primeira vez seu método de proteção contra raios, até os tempos de hoje, a proteção máxima que se consegue obter contra descargas elétricas é de 98% de eficiência.

## 2.2 DANOS, EFEITOS E PERDAS DEVIDO ÀS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

As descargas atmosféricas quando atingem uma estrutura causa diversos problemas na estrutura da edificação, aos ocupantes e falhas dos sistemas internos; sendo na maioria das vezes irreversíveis. A NBR 5419:2015 lista na tabela 1, os efeitos causados pelas descargas atmosféricas em diversos tipos de estruturas:

**Tabela 1:** Efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas.

<b>Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo</b>	<b>Efeitos das descargas atmosféricas</b>
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 (exemplos: aparelhos de TV, computadores, modems, telefones etc.).
Edificação em zona rural	Risco maior de incêndio e tensões de passo perigosas, assim como danos materiais. Risco secundário devido à perda de energia elétrica e risco devidos animais de criação devido à falha de sistemas de controle eletrônicos de ventilação e suprimento de alimentos etc.
Teatro ou cinema Hotel Escola Shopping centers Áreas de esportes	Danos em instalações elétricas que tendem a causar pânico (por exemplo, iluminação elétrica)  Falhas em sistemas de alarme de incêndio, resultando em atrasos nas ações de combate a incêndio.
Banco Empresa de seguros Estabelecimento comercial etc.	Conforme acima, adicionando-se problemas resultantes da perda de comunicação, falha de computadores e perda de dados.
Hospital Casa de tratamento médico Casa para idosos creche Prisão	Conforme acima, adicionando-se os problemas relacionados a pessoas em tratamento médico intensivo e a dificuldade de resgatar pessoas incapazes de se mover.
Indústria	Efeitos adicionais dependendo do conteúdo das fábricas, que vão desde os menos graves até danos inaceitáveis e perda de produção.
Museu e sítio arqueológico Igreja	Perda de patrimônio cultural insubstituível.
Fabrica de fogos de artificios Trabalhos com munição	Incêndio e explosão com consequências à planta e arredores
Industria 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:** NBR 5419-2:2015.

### 2.2.1 Fontes e tipos de danos a uma estrutura

As fontes de danos podem ser classificadas de acordo com a posição do ponto de impacto da corrente de descarga:

- a) S1 - descargas atmosféricas na estrutura: Podem causar danos mecânicos imediatos, fogo ou explosão devido ao calor por aquecimento dos cabos, danos as pessoas por choque, falhas e mal funcionamento de sistemas internos;
- b) S2 - descargas atmosféricas próximas à estrutura: Podem causar falhas ou mau funcionamento de sistemas internos;

- c) S3: descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura : Podem causar fogo ou explosão causada por centelhamento devido a sobretensões e correntes de descargas vindas por meio das linhas elétricas e tubulações que adentram a estrutura;
- d) S4: descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura: Podem causar falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido à sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura.

#### 2.2.1.1 Danos a uma estrutura

Em consequência, as descargas atmosféricas podem causar três tipos básicos de danos:

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

#### 2.2.1.2 Tipos de perdas

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

- a) L1: perda de vida humana (incluindo-se danos permanentes);
- b) L2: perda de serviço ao público<sup>1</sup> ;
- c) L3: perda de patrimônio cultural;
- d) L4: perda de valor econômico<sup>2</sup>

De modo resumido, a tabela 2 demonstra as fontes de danos com as respectivos danos e perdas :

<sup>1</sup> Para efeitos da ABNT NBR 5419, somente são considerados serviços ao público os suprimentos de água, gás, energia e sinais de TV e telecomunicações.

<sup>2</sup> Perdas dos tipos L 1, L2 e L3 podem ser consideradas como perdas de valor social, enquanto perdas do tipo L4 podem ser consideradas como perdas puramente econômicas.

**Tabela 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 <sup>a</sup> L1, L2,L3, L4 L1 <sup>b</sup> , L2, L4
Nas proximidades de uma estrutura	S2	D3	L1 <sup>b</sup> , L2, L4
Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura	S3	D1 D2 D3	L1, L4 <sup>a</sup> L1, L2,L3, L4 L1 <sup>b</sup> , L2, L4
Proximidades de uma linha elétrica ou tubulação metálica	S4	D3	L1 <sup>b</sup> , L2, L4
a - Somente para propriedades onde pode haver perda 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:** NBR 5419-2:2015

### 2.3 GERENCIAMENTO DE RISCO

O gerenciamento de risco é uma das inovações que a nova NBR 5419:2015 trouxe para assegurar um dimensionamento mais eficaz e seguro do sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Esse gerenciamento tem como objetivo avaliar a necessidade ou não de um sistema de proteção contra descarga atmosférica. O risco em uma estrutura esta associado as fontes de danos e os tipos de danos. Os riscos a serem avaliados em uma estrutura devem ser como a seguir:

- 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

#### 2.3.1 Componente de riscos

Cada risco, R, é a soma dos seus componentes de risco. Ao calcular um risco, os componentes de risco podem ser agrupados de acordo com as fontes de danos e os tipos de danos, explica a norma NBR 5419:2015:

- **Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura**

- a) RA: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 m ao redor dos condutores de descidas. 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.

- **Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura**

- a) 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 risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura**

- a) 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;
- b) 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;
- c) 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 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

• **Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura**

a) 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

2.3.1.1 Composição dos componentes de risco

A tabela 3 possui as componentes de risco para cada tipo de perda em uma estrutura:

**Tabela 3:** Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura

Fonte de Danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica Perto da Estrutura S2	Descarga atmosférica em Uma Linha conectada à Estrutura S3			Descarga atmosférica Perto de Uma Linha conectada à Estrutura S4
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ
Risco para cada tipo de perda								
R1	*	*	*a	*a	*	*	*a	*a
R2		*	*	*		*	*	*
R3		*				*		
R4	*b	*	*	*	*b	*	*	*

a - Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana.  
 b - Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

**Fonte:** NBR 5419-2:2015

O cálculo das componentes de risco são efetuados através das formulas:

a) R1: Riscos de perda de vida humana:

$$R1 = RA + RB + RC^1 + RM^1 + RU + RV + RW^1 + RZ^1 \quad (2.1)$$

<sup>1</sup> - Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa por em perigo a vida humana.

b) R2: Risco de perdas de serviço ao público:

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ \quad (2.2)$$

c) R3: Risco de perdas de patrimônio cultural:

$$R3 = RB + RV \quad (2.3)$$

d) R4: Risco de perdas de valor econômico:

$$R4 = RA^2 + RB + RC + RM + RU^2 + RV + RW + RZ \quad (2.4)$$

<sup>2</sup> - Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

### 2.3.1.2 Análise dos componentes de risco

Cada componente de risco RA, RB, RC, RM, RU, RV, RW e RZ, como descrito acima, pode ser expressa pela seguinte equação geral:

$$RX = NX * PX * LX \quad (2.5)$$

onde

NX é o número de eventos perigosos por ano (ver Anexo A);

PX é a probabilidade de dano à estrutura (ver Anexo B);

LX é a perda consequente (ver Anexo C).

### 2.3.2 Necessidade da proteção contra descargas atmosféricas

A proteção contra descargas atmosféricas é necessária se o risco R (R1 a R4) for maior que o risco tolerado RT :

$$\mathbf{R > RT}$$

Neste caso, devem ser adotadas medidas de proteção de modo a reduzir o risco R (R1 a R3) ao nível tolerável RT:

$$\mathbf{R \leq RT}$$

### 2.3.3 Risco tolerável RT

Risco tolerável RT A NBR 5419 estabelece valores representativos de risco tolerável RT, onde as descargas atmosféricas envolvem perdas de vida humana, valores sociais ou culturais, fornecidos na Tabela 4 :

**Tabela 4:** Valores típicos de risco tolerável RT

Tipo de perda		RT( $y^{-1}$ )
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	$10^{-5}$
L2	Perda de serviço ao público	$10^{-3}$
L3	Perda de patrimônio cultural	$10^{-4}$

**Fonte:** NBR 5419-2:2015

Para perda de valor econômico (L4), a rotina a ser seguida é a comparação custo/ benefício dada no Anexo D. Se os dados para esta análise não estão disponíveis, o valor representativo de risco tolerável RT =  $10^{-3}$  pode ser utilizado.

**NOTA:** As explicações detalhadas sobre o cálculo do gerenciamento de risco estão contidas na seção 2.3, onde é feito detalhadamente o gerenciamento de risco do estudo de caso .

## 2.4 SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS - SPDA

A invenção do primeiro equipamento de proteção contra raios criado por Benjamin Franklin, abriu as portas da ciência e tecnologia para aperfeiçoar os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) que temos hoje no mercado.

O Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas é a principal medida para minimizar os efeitos físicos causados pelas descargas atmosféricas em uma estrutura. O SPDA tem como principal objetivo escoar para o solo, e caminho mais curto, qualquer descarga atmosférica que incida direta ou indiretamente sobre a edificação a ser protegida. O SPDA é composto por dois sistemas de proteção: sistema interno e sistema externo, como diz a NBR 5419:2015:

O SPDA externo é destinado a:

- interceptar uma descarga atmosférica para a estrutura (por meio do subsistema de captação);
- conduzir a corrente da descarga atmosférica para a terra de forma segura (por meio do subsistema de descida);

- dispersar a corrente da descarga atmosférica na terra (por meio do subsistema de aterramento).

O SPDA interno é tem a função de diminuir os riscos de centelhamentos dentro da parte protegida pelo sistema de proteção externo utilizando ligações equipotenciais ou isolamento elétrica entre os componentes do SPDA externo e outros elementos eletricamente condutores internos à estrutura.

#### 2.4.1 Classe do SPDA

As características de um SPDA são determinadas pelas características da estrutura a ser protegida e pelo nível de proteção considerado para descargas atmosféricas. A ABNT NBR 5419, estabelece quatro níveis de proteção contra descargas atmosféricas (I a IV) conforme tabela 5. Para cada nível de proteção, é fixado um conjunto de parâmetros máximos e mínimos que estabelecem um sistema mais ou menos protegido.

Na tabela 5 é possível perceber a relação direta entre a classe do SPDA e o nível de proteção do sistema.

**Tabela 5:** Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA

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

**Fonte:** NBR 5419-2:2015

A NBR 5419 estabelece os parâmetros seguintes:

**a) dados dependentes da classe de SPDA:**

- parâmetros da descarga atmosférica (disponível em ABNT NBR 5419-1:2015, Tabelas 3 e 4);
- 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 perigoso;
- comprimento mínimo dos eletrodos de terra .

**b) dados 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 captores, descidas e eletrodos de aterramento;
- dimensões mínimas dos condutores de conexão.

#### **2.4.2 Sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas**

O SPDA externo tem como principal objetivo interferir as descargas atmosféricas que incidam diretamente a estrutura, conduzindo-as de forma segura para a terra.

##### **2.4.2.1 Subsistema de captação**

Os terminais aéreos, também chamados de para-raios, são hastes condutoras cuja função é interceptar os raios, evitando que eles incidam diretamente sobre a estrutura. Os para-raios devem ser instalados nos pontos mais altos da estrutura, para se obter uma maior nível de proteção, que será explicado no decorrer do trabalho. Os terminais aéreos devem ter a capacidade térmica e mecânica suficiente para suportar o calor gerado no ponto de impacto da descarga.

O correto posicionamento dos elementos captors e do subsistema de captação é que determina o volume de proteção, explica a NBR 5419.

##### *2.4.2.1.1 Posicionamento*

O posicionamento do sistema de captação segundo a norma, devem ser nos cantos salientes, pontas expostas e nas beiradas (especialmente no nível superior de qualquer fachada) de acordo com os métodos aceitáveis na determinação do subsistema de captação.

- Método do ângulo de proteção (captor Franklin);
- Método da esfera rolante;
- Método das malhas (gaiola de Faraday).

Portier, (2010) relata que é de extrema importância conhecer os três tipos de métodos na hora da elaboração de um projeto de SPDA para determinar qual se encaixa na proteção adequada da edificação.

Os métodos da esfera rolante e das malhas se aplicam em todo os casos, explica a NBR 5419:2015. Já o método do ângulo de proteção é adequado para edificações de formato simples, e está sujeito aos limites de altura dos captores com mostra a tabela abaixo.

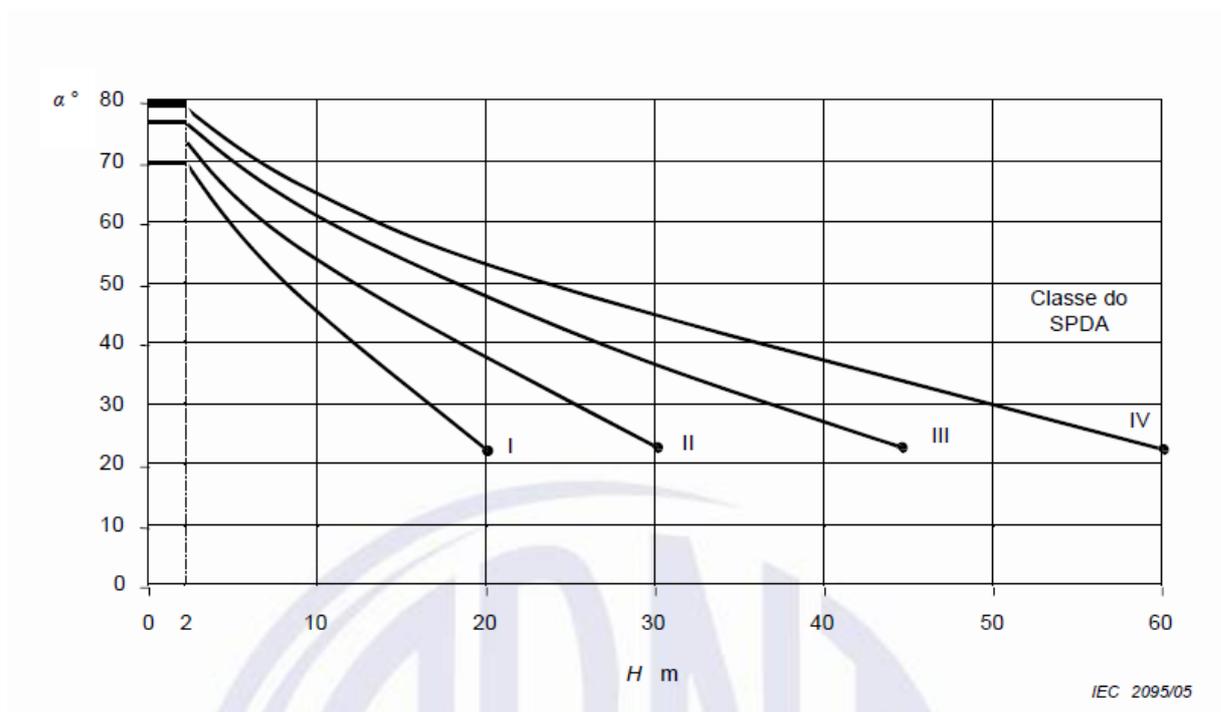
O método das esferas rolantes consiste em rolar uma esfera imaginária de raio estabelecido pela classe do SPDA escolhido, por toda edificação , onde a esfera tocar a estrutura é necessária a proteção, desse modo protegendo toda a estrutura.

Na tabela 6 são dados os valores para o ângulo de proteção, raio da esfera rolante e tamanho da malha para cada classe de SPDA:

**Tabela 6:** Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA.

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

Fonte: NBR 5419-2:2015.



**Figura 2:** Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA

Fonte: NBR 5419-2:2015.

## NOTAS:

- Para valores de H (m) acima dos valores finais de cada curva (classes I a IV) são aplicáveis apenas os métodos da esfera rolante e das malhas;
- H é a altura do captor acima do plano de referência da área a ser protegida;
- O ângulo não será alterado para valores de H abaixo de 2 m.

#### 2.4.2.1.2 Construção

A NBR 5419 estabelece alguns parâmetros quanto a instalação dos captores de um SPDA não isolado na estrutura:

- se a cobertura é feita por material não combustível, os condutores do subsistema de captação podem ser posicionados na superfície da cobertura;

- se a cobertura for feita por material prontamente combustível, cuidados especiais devem ser tomados em relação à distância entre os condutores do subsistema de captação e o material. Para coberturas de sapé ou palha onde não sejam utilizadas barras de aço para sustentação do material, uma distância não inferior a 0,15 m é adequada. Para outros materiais combustíveis, 0,10 m;

- partes facilmente combustíveis da estrutura a ser protegida não podem permanecer em contato direto com os componentes de um SPDA externo e não podem ficar abaixo de qualquer componente metálico que possa derreter ao ser atingido pela descarga atmosférica (ver 5.2.5). Devem ser considerados componentes menos combustíveis como folhas de madeira.

#### 2.4.2.2 Subsistema de Descida

Os condutores de descida são conectados nos terminais captores e conduzem o raio por um caminho de baixa resistência por todo seu comprimento até a malha de aterramento, sem que a edificação seja afetada. O subsistema de descida deve ser projetado de modo a assegurar:

- diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica;
- o menor comprimento possível do caminho da corrente elétrica;
- a equipotencialização com as partes condutoras de uma estrutura.

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

Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores horizontais são dados na Tabela 7:

**Tabela 7:** Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA.

<b>Classe do SPDA</b>	<b>Distâncias m</b>
I	10
II	10
III	15
IV	20

NOTA. É aceitável que o espaçamento dos condutores de descida tenha no máximo 20% além dos valores acima.

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

#### 2.4.2.2.1 Posicionamento

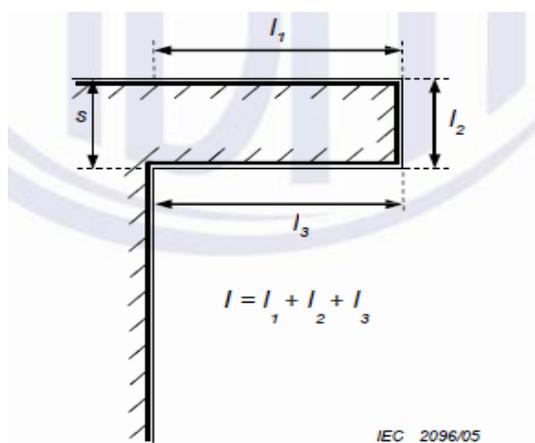
Para cada SPDA não isolado, o número de condutores de descida não pode ser inferior a dois, mesmo se o valor do cálculo do perímetro dividido pelo espaçamento para o nível correspondente resultar em um valor inferior, a firma a NBR 5419:2015.

Quanto ao posicionamento, o ideal é utilizar um espaçamento mais uniforme possível entre as descidas ao redor da edificação. Um condutor de descida deve ser instalado, preferencialmente, em cada canto saliente da estrutura, além dos demais condutores impostos pela distância de segurança calculada na Tabela 7

#### 2.4.2.2.2 Construção

Os condutores de descida devem ser instalados de forma exequível e que formem uma continuação direta, ligando o sistema de captação ao de descida. Preferencialmente os condutores de descida devem ser instalados em linha reta e vertical pelo caminho mais curto e direto para a terra.

Quanto a geometria da edificação não permitir essa linearidade da descida, a NBR 5419:2015 estabelece alguns critérios conforme figura 3 :



**Figura 3:** Laço em um condutor de descida

**Fonte:** NBR 5419-2:2015

O posicionamento dos condutores de descida de um SPDA não isolado, são descritos na NBR 5419:2015 obedecendo os parâmetros a seguir:

- se a parede é feita de material não combustível, os condutores de descida podem ser posicionados na superfície ou dentro da parede;
- se a parede for feita de material combustível, os condutores de descida podem ser posicionados na superfície da parede, desde que a elevação de temperatura devido à passagem da corrente da descarga atmosférica neste não seja perigosa para o material da parede;
- se a parede for feita de material prontamente combustível e a elevação da temperatura dos condutores de descida for perigosa, os condutores de descida devem ser instalados de forma a ficarem distantes da parede, pelo menos 0,1 m. Os suportes de montagem podem estar em contato com a parede.

#### 2.4.2.3 Subsistema de aterramento

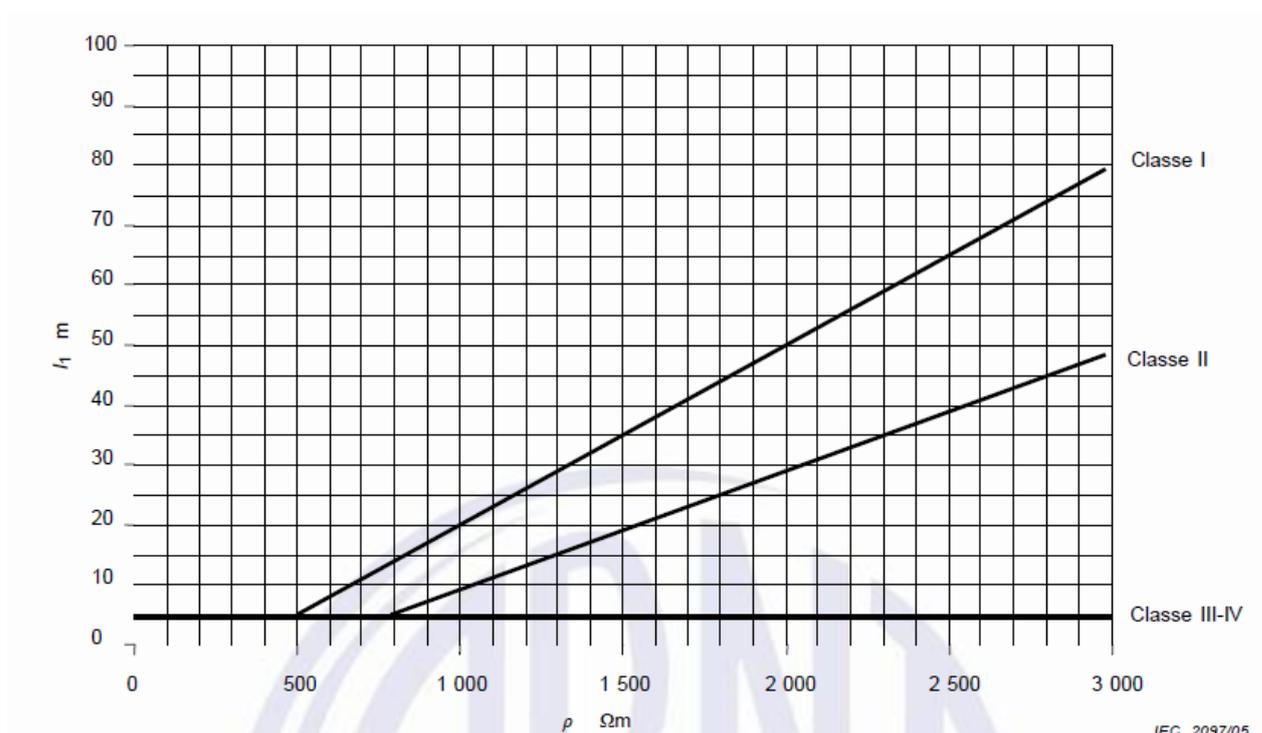
"Um Aterramento elétrico consiste em uma ligação elétrica proposital de um sistema físico (elétrico, eletrônico ou corpos metálicos) ao solo", VISACRO(2002,p.11) O sistema de aterramento dissipa para o solo a energia que atinge a edificação, se tratando de minimizar qualquer sobretensão potencialmente perigosa. Deve-se obter a menor resistência de aterramento possível, compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo no local. Um único sistema de aterramento deve ser capaz de atender a proteção de descargas atmosféricas, sistema de energia elétrica, estruturas metálicas e sinais (TV a cabo, dados e etc).

A NBR 5419:2015 estabelece que quando não for possível o aproveitamento das armaduras das fundações como eletrodos naturais, utiliza-se o método dos condutores em anel, externo a estrutura a ser protegida, em contato mínimo de 80% do seu comprimento com o solo.

Para o eletrodo em anel, o raio médio  $R_e$  da área abrangida pelos eletrodos não pode ser inferior ao valor  $L1$  :

$$R_e \leq L1$$

onde  $L1$  é representado na figura de acordo com o SPDA classe I,II,III e IV.



**Figura 4:** Comprimento mínimo  $l1$  do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA.

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

NOTA: As classes III e IV são independentes da resistividade do solo.

"Contrariando a prática adotada, a nova ABNT NBR 5419:2015 não apresenta um valor de referência para a resistência de aterramento e, por consequência, não exige sua medição nas inspeções periódicas para o caso de aterramento não natural", OLIVEIRA (2016).

#### 2.4.2.4 Componentes

Os materiais que constituem um sistema de SDPA deve suportar todos os efeitos térmicos, físicos e eletromagnéticos. A tabela 8 lista os materiais utilizados na fabricação dos componentes de um sistema de SPDA:

**Tabela 8:** Materiais para SPDA e condições de utilização.

Material	Utilização				Corrosão		
	Ao ar livre	Na terra	No concreto ou reboco	No concreto armado	Resistência	Aumentado por	Podem ser destruídos por acoplamento galvânico
Cobre	Maciço Encordoado Como cobertura	Maciço Encordoado Como cobertura	Maciço Encordoado Como cobertura	Não permitido	Boas em muitos ambientes	Compostos sulfurados Materias orgânicos Altos conteúdos de cloretos	-
Aço galvanizado a quente	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Aceitável no ar, em concreto e em solos salubres	Altos conteúdos de cloretos	Cobre
Aço inoxidável	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Bom em muitos ambientes	Altos conteúdos de cloretos	-
Aço revestido por cobre	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Não permitido	Bom em muitos ambientes	Compostos sulfurados	-
Alumínio	Maciço Encordoado	Não permitido	Não permitido	Não permitido	bom em atmosferas contendo baixas concentrações de sulfurados e cloreto	Soluções alcalinas	Cobre

NOTA 1 Esta tabela fornece somente um guia geral. Em circunstâncias especiais, considerações de imunização de corrosão mais cuidadosas são requeridas.  
NOTA 2 Condutores encordoados são mais vulneráveis à corrosão do que condutores sólidos. Condutores encordoados são também vulneráveis quando eles entram ou saem nas posições concreto/terra.  
NOTA 3 Aço galvanizado a quente pode ser oxidado em solo argiloso, úmido ou com solo salgado.

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

#### 2.4.2.5 Fixação

A fixação de captosres e condutores de descida devem suportar os esforços eletrodinâmicos e mecânicos e por isso devem ser fortemente fixados de acordo com alguns parâmetros de distancias máximas estabelecidos pela norma:

- até 1,0 m para condutores flexíveis (cabos e cordoalhas) na horizontal;
- até 1,5 m para condutores flexíveis (cabos e cordoalhas) na vertical ou inclinado;
- até 1,0 m para condutores rígidos (fitas e barras) na horizontal;
- até 1,5 m para condutores rígidos (fitas e barras) na vertical ou inclinado.

#### 2.4.2.6 Conexões

Deve-se evitar conexões (emendas) ao longo dos condutores. Conexões devem ser feitas de forma segura e por meio de solda elétrica ou exotérmica e conexões mecânicas de pressão (se embutidas em caixas de inspeção) ou compressão”, explica a norma. Nos cabos de descidas não permitido emendas, exceto durante ensaios.

## 2.4.2.7 Materiais e Dimensões

Os materiais e suas dimensões são dados na tabela 9 e devem ser levado em conta com relação a esforços e desgastes citamos na Tabela 8

**Tabela 9:** Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas.

Material	Configuração	Área da seção mínima <i>mm<sup>2</sup></i>	Comentários <sup>d</sup>
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75 mm
	Arredondado maciço <sup>d</sup>	35	Diâmetro 6 mm
	Encordado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
	Arredondado maciço <sup>b</sup>	200	Diâmetro 16 mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura 3 mm
	Arredondado maciço	70	Diâmetro 9,5 mm
	Encordado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm
	Arredondado maciço <sup>b</sup>	200	Diâmetro 16 mm
Aço cobreado IACS 30% <sup>e</sup>	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	50	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
Alumínio cobreado IACS 64%	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,6 mm

Fonte: NBR 5419-3:2015.

**Tabela 10:** Continuação

Material	Configuração	Área da seção mínima <i>mm<sup>2</sup></i>	Comentários <sup>d</sup>
Aço galvanizado a quente <sup>a</sup>	Fita maciça	50	Espessura mínima 2,5 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	50	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço <sup>b</sup>	200	Diâmetro 16 mm
Aço inoxidável <sup>c</sup>	Fita maciça	50	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	70	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço <sup>b</sup>	200	Diâmetro 16 mm

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

b - Aplicável somente a mini captoras. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo, força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.

c - Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %.

d - Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos, sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2 %.

e - A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (International Annealed Copper Standard).

NOTA 1 Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo é importante que as prescrições da Tabela 7 sejam atendidas.

NOTA 2 Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

**Tabela 11:** Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento.

Material	Configuração	Dimensões mínimas <sup>f</sup>		Comentários <sup>f</sup>
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordoado <sup>c</sup>	-	50 mm <sup>2</sup>	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
	Arredondado maciço <sup>c</sup>	-	50 mm <sup>2</sup>	Diâmetro 8 mm
	Fita maciça <sup>c</sup>	-	50 mm <sup>2</sup>	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	-	
	Tubo <sup>a,b</sup>	20 mm	-	Espessura da parede 2 mm
Aço galvanizado a quente	Arredondado maciço <sup>a,b</sup>	16 mm	-Diâmetro 10 mm	-
	Tubo <sup>a,b</sup>	25 mm	-	Espessura da parede 2 mm
	Fita maciça <sup>a</sup>	-	90 mm <sup>2</sup>	Espessura 3 mm
	Encordoado	-	70 mm <sup>2</sup>	-
Aço cobreado	Arredondado Maciço <sup>d</sup> Encordoado <sup>g</sup>	12,7 mm	70 mm <sup>2</sup>	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45 mm
Aço inoxidável <sup>e</sup>	Arredondado maciço Fita maciça	15 mm	Diâmetro 10 mm 100mm <sup>2</sup>	Espessura mínima de 2 mm

a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme a ABNT NBR 6323 [1].  
b Aplicável somente a mini captos. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo: força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.  
c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %.  
d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2 %.  
e Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo devem atender as prescrições desta tabela .  
f A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (International Annealed Copper Standard).  
g Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

**Fonte:** NBR 5419-2:2015

### 2.4.3 Sistema Interno de Proteção Contra Descargas Atmosféricas

Os sistemas internos de proteção tem a função de proteger os equipamentos e os sistemas internos contra centelhamentos provenientes de descargas induzidas dentro volume de proteção da estrutura. As descargas podem ser diretas quando o raio cai diretamente sobre as edificações e/ou instalações elétricas ou indiretas quando o raio cai em um ponto e a sobretensões induzida chega até as instalações elétricas. “ A descarga atmosférica direta ou indireta pode ter consequências destrutivas nas instalações elétricas, mesmo a diversos quilômetros do ponto da queda ” (MARIA LIMA, 2014).

“ Descargas atmosféricas diretas na estrutura (fonte de danos S1), próximas às estruturas(fonte de danos S2), nos serviços conectados à estrutura (fonte de danos S3) e próximas aos serviços conectados à estrutura (fonte de danos S4)

podem causar falhas ou mau funcionamento nos sistemas internos” explica a NBR 5419.

O centelhamento pode ocorrer entre o SPDA externo e instalações metálicas, sistemas internos, partes condutivas externas e linhas que conectadas a estrutura. A NBR 5419 estabelece que o centelhamento pode ser evitado por meio de ligações equipotenciais que podem ser:

- direto: condutores de ligação, onde a continuidade elétrica não seja garantida pelas ligações naturais;
- indireto: dispositivos de proteção contra surtos (DPS), onde a conexão direta por meio de condutores de ligação não possa ser realizada e centelhadores, onde a conexão direta por meio de condutores de ligação não seja permitida.

#### 2.4.3.1 Equipotencialização

O objetivo da equipotencialização contra descargas atmosféricas visa evitar o centelhamento perigoso causado pelos raios onde as ligações das componentes metálicas da estrutura devem ser interligados através de condutores elétricos, para que tenhamos a menor impedância possível entre eles.

“A equipotencialização é justamente a interligação das partes metálicas da instalação, envolvendo ou não o aterramento. O seu objetivo é limitar as diferenças de potencial entre os sistemas elétricos e seus componentes metálicos. Podemos considerar, de forma simplificada, que o aterramento limita a duração das sobretensões, enquanto a equipotencialização reduz a sua intensidade. Embora ambas sejam medidas de proteção, elas têm objetivos diferentes” (UNIVERSO,2016)

O (UNIVERSO,2016) ainda conclui que:

“Mais do que eliminar as diferenças de potencial, a equipotencialização determina o caminho que as correntes de surto devem seguir. Sem a equipotencialização teríamos centelhamentos entre partes da instalação, ou correntes de surto conduzidas por caminhos indesejáveis, como o interior dos equipamentos eletrônicos”

A equipotencialização de instalações metálicas deve ser realizada preferencialmente na base da estrutura ou próximo do nível do solo. Os condutores de ligação devem ser conectados a uma barra de ligação construída e instalada de modo a permitir fácil acesso para inspeção. O barramento de equipotencialização principal (BEP) deve ser ligado ao sistema de aterramento.

No caso de estruturas extensas pode-se acrescentar quantas barras de equipotencialização local (BEL) forem necessárias, tendo em vista que todos os barramentos devem estar interligados, explica a norma 5419.

“A equipotencialização é essencialmente local, por isso a necessidade também dos BELs. Existem limitações para equipotencializarmos sistemas que se encontram a uma certa distância, diretamente através de condutores elétricos. Enquanto o BEP equipotencializa a nossa edificação em relação a outras estruturas, os BELs equipotencializam partes internas da edificação que se originam, ou se dirigem, a diferentes pontos internamente. A existência de um BEP não garante a equipotencialização de todos os sistemas elétricos existentes na estrutura, por isto a necessidade complementar dos BELs, tantos quanto forem necessários.” (UNIVERSO,2016)

Vale ressaltar que as equipotencializações para fins de proteção contra descargas atmosféricas devem ser retilíneas e curtas tanto quanto possível.

A tabela 12 apresenta os valores mínimos da seção reta dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização e dos condutores que ligam essas barras ao sistema de aterramento:

**Tabela 12:** Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento.

Nível do SPDA	Modo de instalação	Material	Área da seção reta
I a IV	Não enterrado	Cobre	16
		Alumínio	25
		Aço galvanizado a fogo	50
	Enterrado	Cobre	50
		Alumínio	Não aplicável
		Aço galvanizado a fogo	80

**Fonte:** NBR 5419-2:2015

Os valores mínimos da seção reta dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização são fornecidos na tabela 13 abaixo:

**Tabela 13:** Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL)

Nível do SPDA	Material	Área da seção reta <i>mm</i> <sup>2</sup>
I a IV	Cobre	6
	Alumínio	10
	Aço galvanizado a fogo	16

**Fonte:** NBR 5419-2:2015

NOTA: A parte 4 da nova NBR 5419:2015, explica todos os parâmetros detalhadamente para um dimensionamento de um sistema de equipotencialização.

### 2.4.3.1.1 Materiais e dimensões dos componentes de equipotencialização

A seção transversal mínima para componentes da equipotencialização deve atender à Tabela 14, respeitando os parâmetros da ABNT NBR 5419-3 :

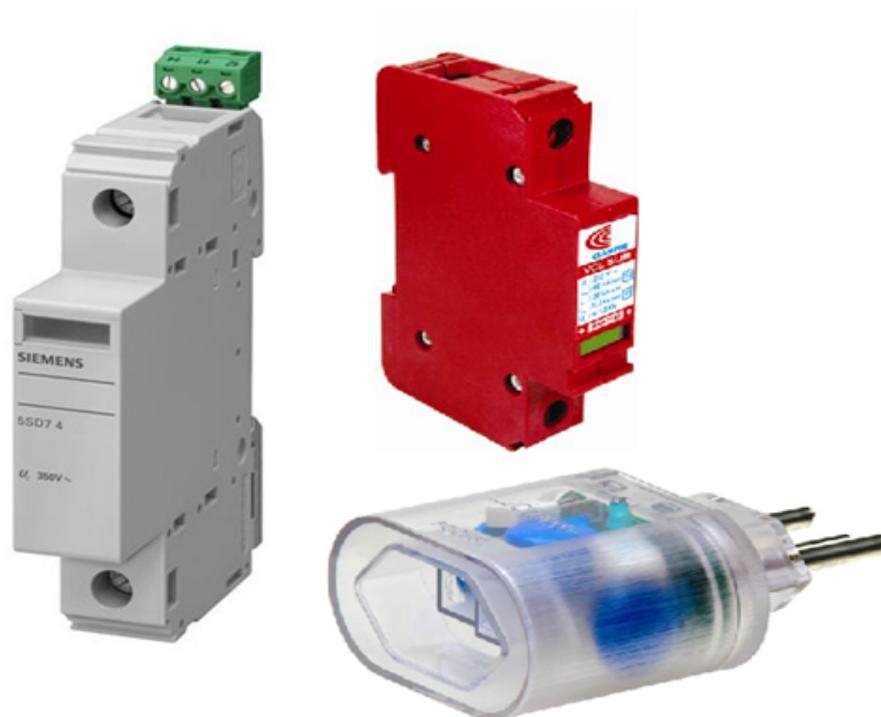
**Tabela 14:** Seção transversal mínima para componentes de equipotencialização

Componentes da equipotencialização		Material <sup>2</sup>	Seção transversal <i>mm</i> <sup>2</sup>
Barras de equipotencialização (cobre, aço cobreado ou aço galvanizado)		Cu	50
		Fe	50
Condutores para conexão de barras de equipotencialização para o subsistema de aterramento		Cu	50
		Fe	80
Condutores para conexão de partes metálicas internas da instalação para as barras de equipotencialização (conduzindo uma parcela da corrente de raio)		Cu	16
		Al	25
		Fe	50
Condutores para conexão de partes metálicas internas da instalação para as barras		Cu	6
		Al	10
		Fe	16
Condutores de aterramento para os DPS (conduzindo a totalidade ou parte significativa da corrente da descarga atmosférica) <sup>b</sup>	Classe I	Cu	16
	Classe II		6
	Classe III		1
	Outros DPS <sup>c</sup>		1
<p>a - Outros materiais utilizados devem ter seção transversal assegurando resistência mecânica e condutância equivalentes.</p> <p>b - Para DPS usados em aplicações de energia, informações adicionais de condutores para conexão são fornecidas na ABNT NBR 5410:2004, 6.3.5..</p> <p>c - Incluindo DPS usados em sistemas de sinal.</p>			

**Fonte:** NBR 5419-2:2015

### 2.4.3.2 Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS)

O DPS é um dispositivo destinado a limitar as sobretensões e desviar correntes de surto. A função do DPS é escoar a sobretensão causada pela descarga atmosférica e limitar a sobretensão (afim de não danificar os receptores). Existem vários modelos e fabricantes no mercado como mostra a figura abaixo. Os DPS usam duas diferentes tecnologias adaptadas para cada efeito de descarga atmosférica.



**Figura 5:** Modelos de DPS classe I,II e III

**Fonte:** <http://www.clamper.com.br/blog/dps/voce-conhece-os-equipamentos-dps-saiba-como-eles-podem-protger-os-seus-aparelhos-eletricos>

- Tipo chaveamento de tensão : dispositivo spark gap (centelhador) é principalmente usado contra efeito de descarga direta.
- Tipo limite de tensão : varistor ou diodo ceifador (semi condutor) principalmente usado contra efeito de descarga indireta.

“Quando há descargas atmosféricas, o dispositivo regula a tensão fornecida e a absorve, escoando-a para o sistema de aterramento. Quando essa energia está além da sua capacidade, o aparelho é queimado, acionando o dispositivo térmico que desliga toda a rede elétrica, evitando danos aos equipamentos. Para verificar se houve essa queima, todos os dispositivos de proteção possuem um indicador de estado. Se ele ficar vermelho, é porque o circuito está danificado, precisando ser trocado” explica CLAMPER, 2015.

Existem três Classes de DPS, explica MARIA LIMA (2014) :

- Classe I – destinado à proteção contra sobretensões causadas por descargas atmosféricas diretas, com uma grande capacidade de escoamento, recomendados para instalações em locais de alta exposição à descargas atmosféricas, na entrada da distribuição elétrica das edificações com SPDA. O DPS Classe I é caracterizado por uma onda de corrente  $10/350\mu\text{s}$ ;

- Classe II – com uma capacidade de escoamento menor que o do Classe I, recomendados para proteção das instalações elétricas e equipamentos eletroeletrônicos em edificações sem SPDA, mas que podem sofrer os efeitos indiretos das descargas atmosféricas. O DPS Classe II é caracterizado por uma onda de corrente  $8/20\mu s$ ;
- Classe III – eles são destinados a proteção fina dos receptores sensíveis (computadores, . . . ), possuem uma capacidade baixa de escoamento, devem ser instalados a jusante de um DPS Classe II. O DPS Classe I é caracterizado por uma onda de corrente combinada  $1,2/50\mu s$  e  $8/20\mu s$ . Os DPS devem suportar a corrente da descarga atmosférica esperada nos pontos onde estão instalados, conforme a ABNT NBR 5419-1:2015, Anexo E. A utilização de DPS depende de suas capacidades classificadas na IEC 61643-1 para redes elétricas de energia e na IEC 61643-21 para sistemas de telecomunicações.

#### 2.4.3.2.1 Localização do DPS

Os DPS podem ser selecionados conforme suas localizações de instalação, como se segue:

- a) Na entrada da linha na estrutura ou seja, no quadro de distribuição principal
- b) Próximo ao equipamento a ser protegido, ou seja, no quadro de distribuição secundário ou na tomada de energia.

“O primeiro critério a ser considerado é: quanto mais próximo estiver o DPS da entrada da linha entrante, maior será a quantidade de equipamentos protegidos por este DPS (vantagem econômica). O segundo critério a ser verificado é: quanto mais próximo estiver um DPS do equipamento a ser protegido, mais efetiva será a proteção (vantagem técnica)” explica a NBR 5419:2015.

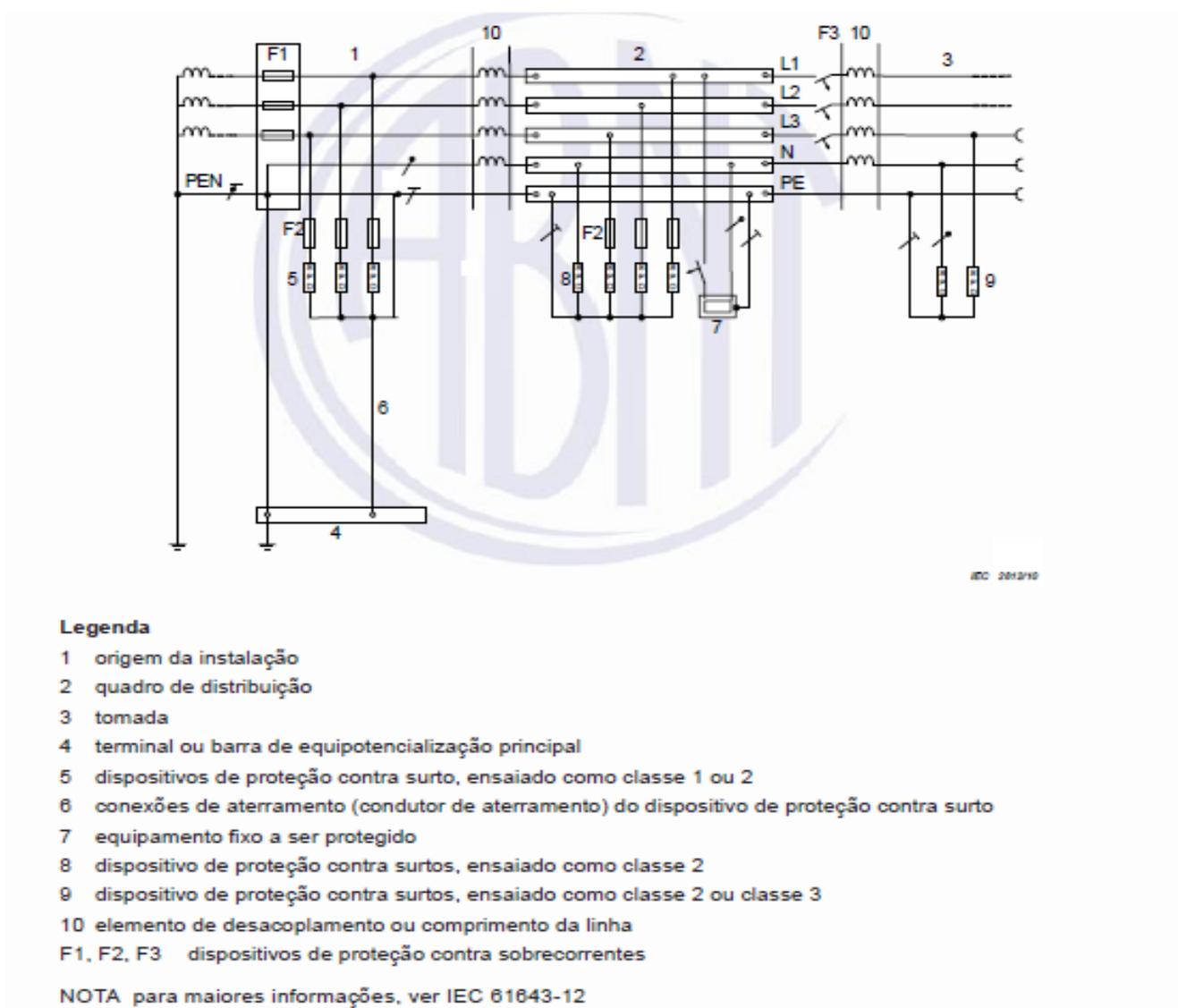
A norma ABNT NBR 5410 explica:

- a) “ quando o objetivo for a proteção contra sobretensões de origem atmosférica transmitidas pela linha externa de alimentação, bem como a proteção contra sobretensões de manobra, os DPS devem ser instalados junto ao ponto de entrada da linha na edificação ou no quadro de distribuição principal, localizado o mais próximo possível do ponto de entrada; ou .
- b) "quando o objetivo for a proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, os DPS devem ser instalados no ponto de entrada da linha na edificação.”

Resumindo, quando existir SPDA na edificação devem ser instalados DPS Classe I e II no quadro principal que pode sofrer ocorrência direta de descargas atmosféricas. Os DPS

Classe II podem ser instalados nos quadros terminais dentro da estrutura, onde pode ocorrer sobre tensões indiretas.

Quando não existir SPDA na edificação, deve ser instalado o DPS Classe II nos quadros de distribuição e se existir equipamentos sensíveis a mais de 30m do quadro onde esteja instalado um DPS Classe II, deve ser instalado um DPS Classe III próximo a equipamento sensível como mostra a figura 6 :



**Figura 6:** Exemplo de instalação de DPS classe 1, classe 2 e classe 3.

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 ESTUDO DE CASO

O edifício a ser analisado cuja autorização se encontra no Anexo B, encontra-se na Rua João Pinheiro nº 71 Centro de Caratinga MG, localiza-se em uma área plana, apresenta construções adjacentes em sua redondeza e possui um fluxo de 80 pessoas por dia. A edificação dispõe das seguintes dimensões:

- Altura (H) = 31 metros;
- Comprimento (L) = 63 metros;
- Largura (W) = 13 metros.

A edificação é composta por uma garagem subterrânea, uma galeria de pontos comerciais no seu pavimento térreo e 12 apartamentos divididos em seis andares.

O estudo de caso sobre a proteção contra descargas atmosféricas inicia-se após análise crítica da norma ABNT NBR 5419:2015, que regulamenta os sistemas de SPDA, consequentemente os cálculos do gerenciamento de risco conduzirão os parâmetros necessários para um eficiente sistema de proteção.

##### 3.1.1 Cálculo do Gerenciamento de Risco

A norma ABNT NBR 5419-2:2015 estabelece os requisitos para análise de risco em uma estrutura sujeita às descargas atmosféricas, a qual será implantado no estudo de caso proposto nesse trabalho. Pelo fato do cálculo de Gerenciamento de Risco ser uma "novidade" após a reformulação da 5419 de 2015, os parâmetros e cálculos descritos a seguir serão explicados detalhadamente para melhor entendimento.

Para o cálculo do gerenciamento de risco e da necessidade do sistema de SPDA dessa estrutura do tipo residencial, foram levados em conta os seguintes parâmetros:

##### **Riscos**

- R1: risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos).

##### **Perdas**

- L1: perda de vida humana.

##### **Danos**

- D1: ferimentos aos seres vivos por choque elétrico.
- D2: danos físicos
- D3: falhas de sistemas eletroeletrônicos.

Os riscos de perda de serviço ao público (R2) e de perda ao patrimônio cultural (R3) assim como as perdas L2 e L3 não se enquadram nesse tipo de estrutura e por isso não serão utilizados no estudo.

Os componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda na estrutura são listados na tabela 15 :

**Tabela 15:** Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura.

Fonte de Danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica Perto da Estrutura S2	Descarga atmosférica em Uma Linha conectada à Estrutura S3			Descarga atmosférica Perto de Uma Linha conectada à Estrutura S4
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ
Risco para cada tipo de perda								
R1	*	*	*a	*a	*	*	*a	*a
R2		*	*	*		*	*	*
R3		*				*		
R4	*b	*	*	*	*b	*	*	*
a - Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana. b - Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.								

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

As componentes de risco de importância para o estudo são apenas RA, RB, RU e RV referentes ao risco R1 sendo as demais somente para estruturas com risco de explosão, hospitais, etc. Demais informações relacionadas aos riscos não citados estão disponíveis na NBR-5419:2015 anexos A, B e C

### 3.1.1.1 Risco Tolerável RT

A avaliação da necessidade de proteção de uma estrutura é feita através da comparação dos riscos R1, R2 e R3 com os riscos toleráveis RT disponibilizados na Tabela 4:

Levando em conta apenas as perdas de vida humana ( $L1$ ), o valor do risco tolerável usado será  $RT = 10^{-5}$ .

Segundo a NBR 5419-2:2015:

- Se  $R \leq RT$ , a proteção contra descargas atmosféricas não é necessária.
- Se  $R > RT$ , medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir  $R \leq RT$  para todos os riscos aos quais a estrutura está exposta.

### 3.1.1.2 Cálculo das componentes de risco

A seguir serão feitos os cálculos das componentes de risco da estrutura em estudo e comparado com o risco tolerável  $RT$  para saber se é necessário ou não a implantação do sistema de SPDA no mesmo.

- **Componentes de risco devido as descargas atmosféricas na estrutura (S1). (Ver Anexo A da NBR 5419-2:2015).**

a. Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1):

$$RA = ND * PA * LA \quad (3.1)$$

b. Componente relacionado a falha de sistemas internos (D2):

$$RB = ND * PB * LB \quad (3.2)$$

- **Componentes de risco devido a descargas atmosféricas em uma linha conectada á estrutura (S3). (Ver Anexo A da NBR 5419-2:2015.)**

a. Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1):

$$RU = (NL + NDJ) * PU * LU \quad (3.3)$$

b. Componente relacionado a danos físicos (D2):

$$RV = (NL + NDJ) * PV * LV \quad (3.4)$$

### 3.1.1.3 Cálculo das perdas

Nessa etapa serão calculado os valores de perdas LA, LB, LU e LV de acordo com as equações 3.5, 3.6 e 3.7 : (Ver Anexo C da NBR 5419-2:2015.)

$$LA = rt * LT * nZ/nt * tz/8760 \quad (3.5)$$

$$LB = LV = rp * rf * hz * LF * nZ/nt * tz/8760 \quad (3.6)$$

$$LU = rt * LT * nZ/nt * tz/8760 \quad (3.7)$$

LT - é número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso (ver tabela16);

LF - é número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (ver tabela 16);

rt - é um fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso (ver tabela17);

rp - é um fator de redução da perda devido a danos físicos, dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio (ver tabela 18);

rf - é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura (ver tabela 19);

hz - é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente (ver tabela 20);

nz - é o número de pessoas na zona;

NT - é o número total de pessoas na estrutura;

tz - é o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano.

A seguir serão extraídos os valores necessários para efetuar os cálculos das perda para a estrutura em estudo.

Obs: Os valores **em negrito** em cada tabela são os valores que se enquadram no perfil da estrutura e serão utilizados nos cálculos .

**Tabela 16:** Valores médios típicos de LT, LF e LO

Tipos de danos	Valor de perda típico		Tipo da estrutura
	LT	LF	
D1 ferimentos	LT	$10^{-2}$	<b>Todos os tipos</b>
D2 danos físicos	LF	$10^{-1}$	Risco de explosão
		$10^{-1}$	Hospital,hotel,escola,edifício cívico
		$5*10^{-2}$	Entretenimento publico, igreja, museu
		$2*10^{-2}$	Industrial, comercial
		$10^{-2}$	Outros
D3 falhas de sistemas internos	LO	$10^{-1}$	Risco de explosão
		$10^{-2}$	Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		$10^{-3}$	Outras partes de hospital

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

Os valores obtidos são: LT =  $10^{-2}$  (todos os tipos) e LF =  $10^{-2}$  (outros).

**Tabela 17:** Fator de redução  $r_t$  em função do tipo da superfície do solo ou piso.

Tipo de superfície (b)	Resistência de contato k (a)	$r_t$
Agricultura, concreto	$\leq 1$	$10^{-2}$
Marmore, cerâmica	1 - 10	$10^{-3}$
Cascalho, tapete, carpete	10 - 100	$10^{-4}$
Asfalto, linóleo, madeira	$\leq 100$	$10^{-5}$
a - Valores medidos entre um eletrodo de $400\text{ cm}^2$ comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.		
b - Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável		

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

Pelo fato do edifício ter a superfície de concreto, utiliza-se  $r_t = 10^{-2}$ .

**Tabela 18:** Fator de redução  $rp$  em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio.

Providências	$rp$
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos á prova de fogo, rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático (a)	0,2
a - Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.	

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

Obs: O edifício possui um sistema de combate a incêndio, utiliza-se  $rp = 0,5$ .

**Tabela 19:** Fator de redução  $rf$  em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura.

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

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

Com relação ao risco de incêndio, adotaremos  $rf = 10^{-2}$ , risco normal.

**Tabela 20:** Fator hz aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial.

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

**Fonte:** NBR 5419-2:2015

A edificação não possui nenhum perigo especial, assim  $hz = 1$ .

Efetando os cálculos de LA, LB, LU e LV com os valores obtidos das tabelas:

**OBS: nt = 80 pessoas, nz = 80 pessoas e tz = 8760 (horas por ano)**

$$LA = rt * LT * nZ/nt * tz/8760$$

$$LA = 10^{-2} * 10^{-2} * 1$$

$$LA = 10^{-4}$$

$$LB = LV = rp * rf * hz * LF * nZ/nt * tz/8760$$

$$LB = LV = 0,5 * 10^{-2} * 1 * 10^{-2} * 1$$

$$LB = LV = 5 * 10^{-5}$$

$$LU = rt * LT * nZ/nt * tz/8760$$

$$LU = 10^{-2} * 10^{-2} * 1$$

$$LU = 10^{-4}$$

## 3.1.1.4 Cálculo da Probabilidade

Nessa etapa serão calculado os valores das probabilidades PA, PB, PU e PV de acordo com as equações (Anexo B da NBR 5419-2:2015):

$$PA = PTA * PB \quad (3.8)$$

PTA - depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo, como as listadas na Tabela 21. Valores de PTA são obtidos na Tabela 21.

PB - depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o SPDA de acordo com o ABNT NBR 5419-3 foi projetado. Valores de PB são obtidos na Tabela 22.

**Tabela 21:** Valores de probabilidade PTA de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas.

Medida de proteção adicional	PTA
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	$10^{-1}$
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de descidas)	$10^{-2}$
Equipotencialização efetiva do solo	$10^{-2}$
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

O edifício não possui nenhuma medida de proteção adicional, consideremo PTA = 1.

**Tabela 22:** Valores de probabilidade PB dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.

<b>Características da estrutura</b>	<b>Classe do SPDA</b>	<b>PB</b>
Estrutura não protegida por SPDA	-	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural		0,01
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas natural		0,001

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

A estrutura não possui nenhum sistema de SPDA, admite-se  $PB = 1$ .

Sendo assim

$$PA = PTA * PB$$

$$PA = 1 * 1$$

$$PA = 1$$

Para cálculo do valor de PU e PV , utiliza-se a seguinte formula:

$$PU = PTU * PEB * PLD * CLD \quad (3.9)$$

$$PV = PEB * PLD * CLD \quad (3.10)$$

PTU - depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta. Valores de PTU são dados na Tabela 23;

PEB - depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme a ABNT NBR 5419-3 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o DPS foi projetado. Valores de PEB são dados na Tabela 24;

PLD - é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descargas atmosféricas na linha conectada dependendo das características da linha. Valores de PLD são dados na Tabela 25;

CLD - é um fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições da isolação da linha. Valores de CLD são dados na Tabela 26.

**Tabela 23:** Valores da probabilidade PTU de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas.

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

Fonte: NBR 5419-2:2015.

O edifício não possui nenhuma medida de proteção contra descargas atmosféricas em uma linha que adentre a estrutura, por isso admite-se  $PTU = 1$ .

**Tabela 24:** Valor da probabilidade PEB em função do NP para o qual os DPS foram projetados.

Nível de Proteção	PEB
Sem DPS	1
III - IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 4	0,005 - 0,001

Fonte: NBR 5419-2:2015.

A edificação não possui Dispositivo de Proteção Contra Surto (DPS), por isso admite-se  $PEB = 1$ .

**Tabela 25:** Valores da probabilidade PLD dependendo da resistência RS da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso UW do equipamento.

Tipo da Linha	Condições de roteamento, blindagem e interligação	Tensão suportável UW em KV					
		1	1,5	2,5	4	6	
Linhas de energia ou sinal	Linha área ou enterrada, não blindada ou com blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	1	1,5	2,5	4	6	
		1	1	1	1	1	
	Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	$5/km < RS \leq 20/km$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1/km < RS \leq 5/km$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
	$RS \leq 1/km$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02	

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

O edifício possui as linhas de energia enterradas e não blindadas. De acordo com a tabela 26, independente do valor de tensão suportável admi-se  $PLD = 1$ .

**Tabela 26:** Valores dos fatores CLD e CLI dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento.

<b>Tipo de linha externa</b>	<b>Conexão na entrada</b>	<b>CLD</b>	<b>CLI</b>
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multi-aterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

Admi-se  $CLD = 1$  (Linha enterrada não blindada, conexão de entrada indefinida).

Calculado o valor de PU e PV:

$$PU = PTU * PEB * PLD * CLD$$

$$PU = 1 * 1 * 1 * 1$$

$$PU = 1$$

$$PV = PEB * PLD * CLD$$

$$PV = 1 * 1 * 1$$

$$PV = 1$$

## 3.1.1.5 Cálculo do número anual N de eventos perigosos

Nessa etapa serão calculado o número de eventos ND, NDJ, NL de acordo com as equações: (Ver Anexo A da NBR 5419-2:2015).

- Número de eventos perigosos ND para a estrutura.

$$ND = NG * AD * CD * 10^{-6} \quad (3.11)$$

NG - é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ( $1/km^2 * ano$ );

AD - é a área de exposição equivalente da estrutura, expressa em metro quadrado ( $m^2$ );

CD - é o fator de localização da estrutura (ver Tabela 27).

O valor da densidade de descarga (NG) pode ser obtido no site do IMPE ELAT, ou através de um mapa de densidade de descargas atmosféricas disponível no Anexo F da NBR 5419-2:2015. Nesse trabalho, a cidade em estudo é Caratinga MG com densidade  $NG = 6,32 km^2/ano$ .

A determinação de AD pode ser obtida matematicamente, onde L,W e H são respectivamente comprimento, largura e altura da edificação analisada:

$$AD = L * W + 2 * (3 * H) * (L + W) + \pi * (3 * H)^2 \quad (3.12)$$

$$AD = 63 * 13 + 2 * (3 * 31) * (63 + 13) + \pi * (3 * 31)^2$$

$$AD = 42126,63m^2$$

**Tabela 27:** Fator de localização da estrutura CD.

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

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

Calculando o fator ND:

$$ND = NG * AD * CD * 10^{-6}$$

$$ND = 6,32 * 42126,63 * 0,5 * 10^{-6}$$

$$ND = 13.312 * 10^{-2}$$

- Número de eventos perigosos NDJ para uma estrutura adjacente.

A estrutura em estudo possui edificação nas suas proximidades, sendo assim a NBR 5419 exige o cálculo do número de eventos NDJ da estrutura adjacente:

$$NDJ = NG * ADJ * CDJ * CT * 10^{-6} \quad (3.13)$$

ADJ - é a área de exposição equivalente da estrutura adjacente, expressa em metro quadrado ( $m^2$ );

CDJ - é o fator de localização da estrutura adjacente (ver 27);

CT - é o fator tipo de linha (ver Tabela 29).

A área de exposição da estrutura adjacente é calculada pela formula 3.14, de acordo com as seguintes dimensões da estrutura adjacente:

- Altura = 15 metros;
- Comprimento = 20 metros;
- Largura = 11 metros.

$$ADJ = L * W + 2 * (3 * H) * (L + W) + \pi * (3 * H)^2 \quad (3.14)$$

$$ADJ = 20 * 11 + 2 * (3 * 15) * (20 + 15) + \pi * (3 * 15)^2$$

$$ADJ = 9731,72m^2$$

Calculando o número médio anual de eventos perigosos NL devido a descargas atmosféricas na linha:

$$NL = NG * AL * CI * CE * CT * 10^{-6} \quad (3.15)$$

NL - é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;

NG - é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ( $1/km^2 * ano$ );

AL - é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, expressa em metro quadrado ( $m^2$ );

CI - é o fator de instalação da linha (ver Tabela 28);

CE - é o fator ambiental (ver Tabela 30);

Com a área de exposição equivalente para a linha onde LL é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m) aplica-se a formula:

**NOTA: Onde o comprimento da seção da linha é desconhecido, pode ser assumido LL = 1 000 m.**

$$AL = 40 * LL \quad (3.16)$$

$$AL = 40 * 1000$$

$$AL = 40000m$$

**Tabela 28:** Fator de instalação da linha CI.

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

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

A estrutura em estudo possui roteamento de linha enterrado , por isso adota-se CI = 0,5.

**Tabela 29:** Fator tipo de linha CT

Instalação	CT
Linha de energia ou sinal	1
Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	0,5

**Fonte:** NBR 5419-2:2015

A estrutura em estudo possui não possui transformador em sua linha de energia , por isso adota-se CT = 1.

**Tabela 30:** Fator ambiental da linha CE.

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

**Fonte:** NBR 5419-2:2015.

A estrutura em estudo está localizada em um ambiente urbano, assim, CE = 0,1.

Calculando NL :

$$\begin{aligned}
 NL &= NG * AL * CI * CE * CT * 10^{-6} \\
 NL &= 6,32 * 40000 * 0,5 * 0,1 * 1 * 10^{-6} \\
 NL &= 1,264 * 10^{-2}
 \end{aligned}$$

Para finalizar os cálculos de gerenciamento de risco, calcula-se RA, RB, RU, RV e comparando com o risco tolerável (RT).

$$\begin{aligned}
 RA &= ND * PA * LA \\
 RA &= 13,312x10^{-2} * 1 * 10^{-4} \\
 RA &= 1.3312 * 10^{-5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RB &= NDxPBxLB \\
 RB &= 13.312x10^{-2}x1x5x10^{-5} \\
 RB &= 6,656x10^{-6}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RU &= (NL + NDJ) * PU * LU \\
 RU &= (1,264 * 10^{-2} + 30,75 * 10^{-3}) * 1 * 10^{-4} \\
 RU &= 4,33x10^{-6}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RV &= (NL + NDJ) * PV * LV \\
 RU &= (1,264 * 10^{-2} + 30,75 * 10^{-3}) * 1 * (5 * 10^{-5}) \\
 RU &= 2,16x10^{-6}
 \end{aligned}$$

$$RA + RB + RU + RV = 2,4633 * 10^{-5} \quad (3.17)$$

**Sendo  $2,6458 * 10^{-5} > RT(10^{-5})$ , o sistema de SPDA é necessário**

Para reduzir os riscos a um valor tolerável, deve-se alterar o valor da probabilidade PB (tabela 22) incluindo um SPDA classe III; com isso os cálculos RA e RB sofrerão alterações como a seguir:

PB = 0,1( SPDA classe III) ver tabela 22.

$$PA = PTA * PB$$

$$PA = 1 * 0,1$$

$$PA = 0,1$$

$$RA = ND * PA * LA$$

$$RA = 13,312x10^{-2} * 0,1 * 10^{-4}$$

$$RA = 1.3312 * 10^{-6}$$

$$RB = NDxPBxLB$$

$$RB = 13.312x10^{-2}x0,1x5x10^{-5}$$

$$RB = 6,656x10^{-7}$$

assim,

$$RA + RB + RU + RV = 0.848 * 10^{-5} \quad (3.18)$$

**Com a implantação do sistema de SPDA classe III, pode-se reduzir o risco total a um valor aceitável pela norma,  $0.848 * 10^{-5} < RT (10^{-5})$**

### 3.1.2 Definição dos Parâmetros Básicos

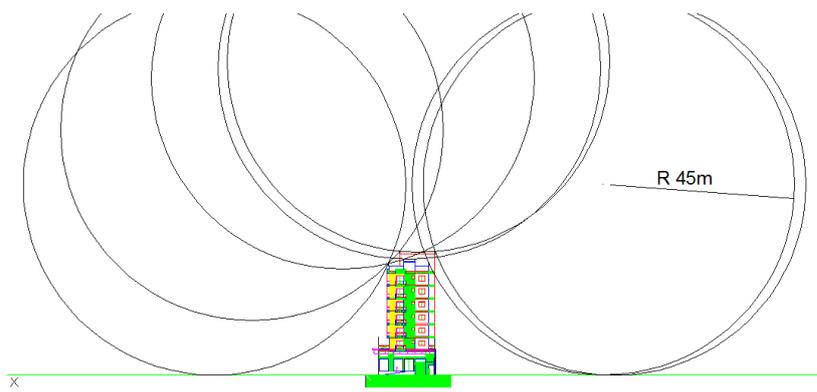
Após os cálculos da necessidade do sistema de SPDA na edificação em estudo e da definição da classe do SPDA, foram feitas visitas na edificação para coleta de dados.

Após a definição do SPDA classe III, limita-se os principais parâmetros para a confecção do projeto de SPDA.

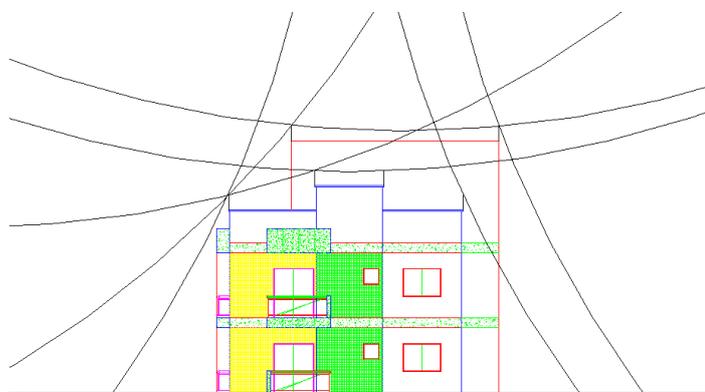
#### 3.1.2.1 Método de Proteção

O método de proteção que irá ser utilizado no estudo será o método das esferas rolantes, visto que pelas dimensões da edificação, dentre os três métodos existentes, as esferas rolantes melhor atendem nos quesitos eficiência de proteção e custos.

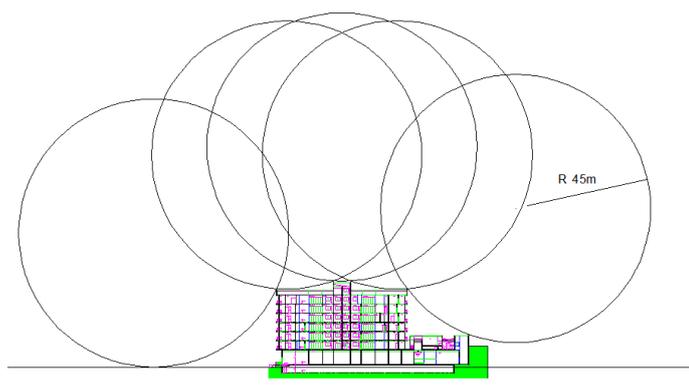
A figura 7 demonstra o método das esferas sobre a edificação em estudo na plataforma de Auto CAD com as dimensões reais da edificação disponibilizada pela empresa Construtora Liderança. O raio da esfera será de 45m referente a classe III do SPDA (ver tabela 6).



**Figura 7:** Método da esfera rolante pela vista frontal da edificação



**Figura 8:** Posição dos terminais aéreos pela vista frontal.



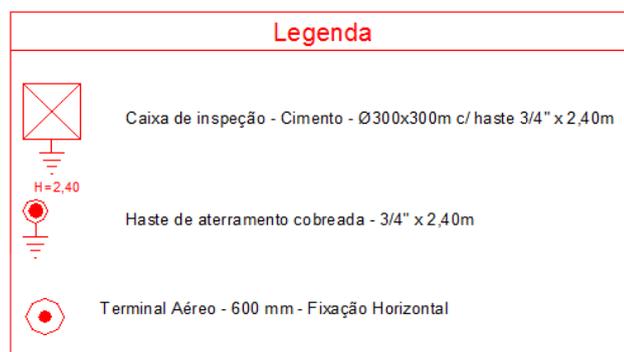
**Figura 9:** Método da esfera rolante pela vista lateral da edificação.



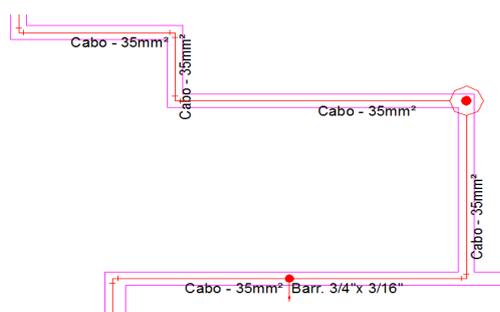
**Figura 10:** Posição dos terminais aéreos pela vista lateral.

### 3.1.2.2 Materiais

- Os condutores de captação serão de cobre, com área de seção de 35mm<sup>2</sup>;
- Os captosres serão de cobre com comprimento de 60cm;
- Os condutores de descida serão de barra chata 3/4"x 3/16".

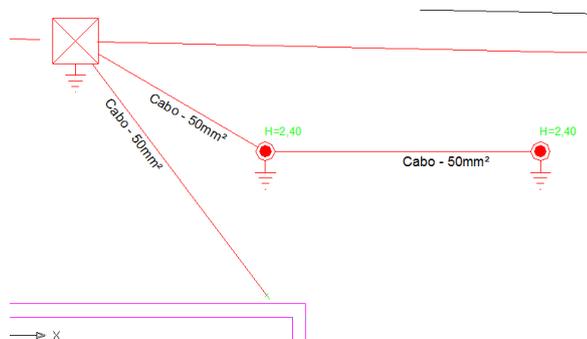


**Figura 11:** Componentes utilizados no projeto



**Figura 12:** Condutores de captação, terminais aéreos e condutores de descida em barra chata

- Os cabos de aterramento são de seção de 50 mm<sup>2</sup>;
- As hastes são de cobre, com comprimento de 2,4m;
- As caixas de inspeção utilizadas serão de cimento 300 x 300mm c/ haste 3/4" x 2,40m.

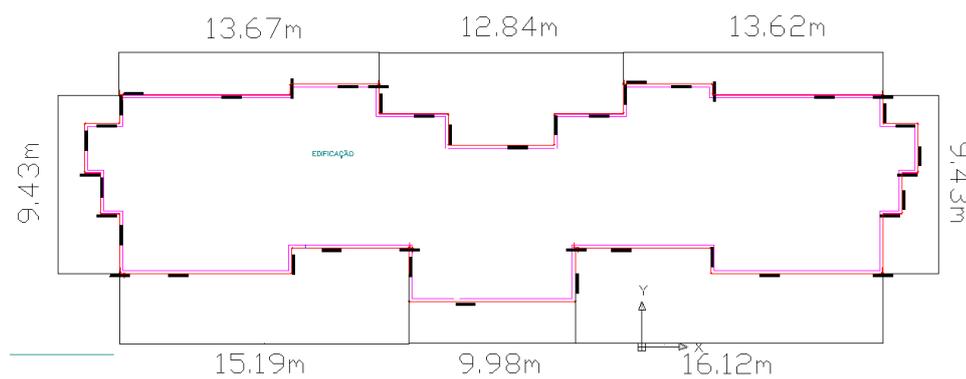


**Figura 13:** Detalhamento da caixa de inspeção conectada as hastes de aterramento

### 3.1.2.3 Número de Descidas

De acordo com a tabela 7 , o espaçamento entre descidas para SPDA classe III é 15 metros, excedido no máximo de 20% dessa valor. As descidas serão compostas por barras chatas fixadas na estrutura a cada 1,50m para suportar os esforços eletrodinâmicos e mecânicos.

As distância entre as descidas foram projetadas respeitando o afastamento estipulado pela norma e a geometria da estrutura , mantendo um afastamento mais uniforme possível .



**Figura 14:** Espaçamento entre os condutores de descidas

### 3.1.2.4 Construção do Projeto

Para a construção de um projeto de SPDA é necessário a utilização de softwares específicos para esse tipo de tarefa. Nesse projeto, utiliza-se o software Lumine V4 da empresa Alto Qi. O Alto Qi Lumine é um programa integrado para projeto de instalações elétricas prediais,

contendo uma base independente de CAD, que contempla o lançamento, dimensionamento e detalhamento final da instalação. O Lumine V4 conta com módulos adicionais para atender diferentes interesses dos profissionais como o Módulo Cabeamento Estruturado e Módulo SPDA. Aplica-se o módulo SPDA para o desenho e dimensionamento do projeto do edifício Dalva Nacif.

A planta arquitetônica da estrutura foi importada dentro da plataforma CAD do Lumine V4, para o lançamento dos componentes do sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

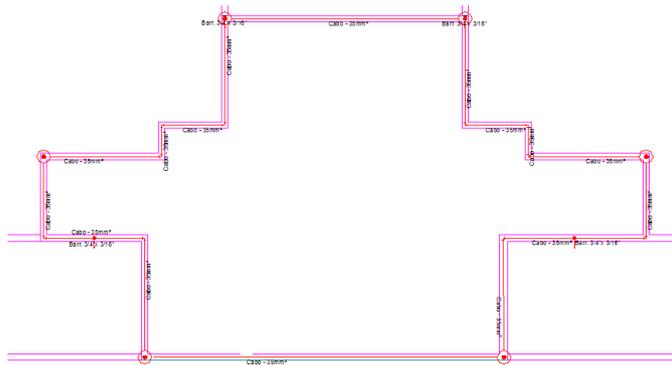
### 3.1.2.5 Proteção Externa da Estrutura

O projeto é dividido em pavimentos para um melhor entendimento do dimensionamento dos componentes de proteção.

NOTA: O projeto final com todos detalhamentos construtivos se encontra no Anexo A.

#### 3.1.2.5.1 Proteção do Pavimento Saliente (Claraboia)

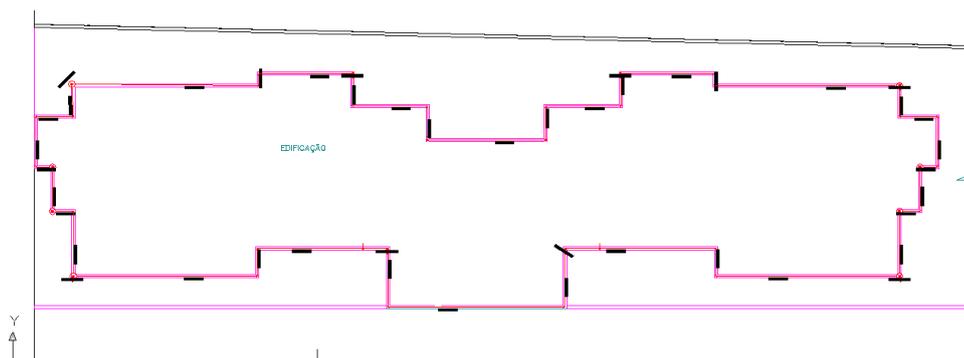
A parte mais saliente da edificação encontra-se a 31 metros de altura medidos do pavimento subterrâneo da garagem. Nessa área se encontram as caixas d'água e os maquinários. Pelo método das esferas foram dimensionados quatro terminais aéreos, que fazem a proteção de toda essa parte mais elevada da edificação. Os terminais aéreos são interligados formando uma malha de proteção e derivam 4 descidas para o pavimento inferior a 28 metros, como mostra a figura 15:



**Figura 15:** Malha de proteção do pavimento saliente.

#### 3.1.2.5.2 Proteção do pavimento cobertura.

Na elevação de 28 metros se encontra a cobertura do edifício como mostra a figura 16:

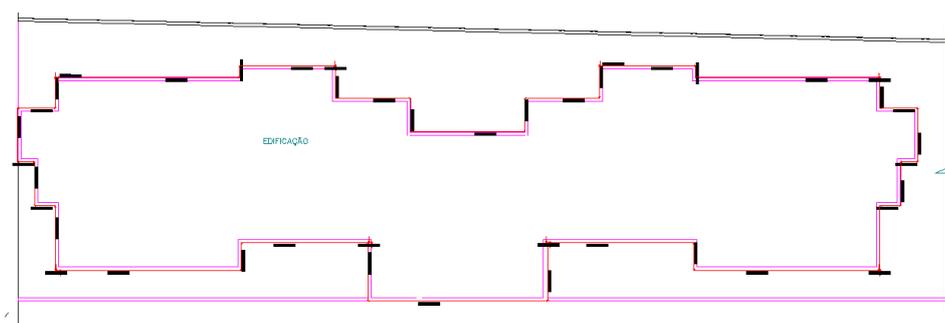


**Figura 16:** Malha de proteção do pavimento cobertura

De acordo com o método das esferas, os terminais aéreos serão localizados apenas nos pontos onde a esfera rolante toca a estrutura. Os terminais aéreos são interligados por cabos de cobre nu de secção  $35\text{mm}^2$  formando uma malha de captação por todo o pavimento. Como essa região representa a área de toda a edificação, a partir desse nível serão derivadas oito descidas distanciadas de acordo com a tabela 7.

#### 3.1.2.5.3 Proteção pelo anel coletor

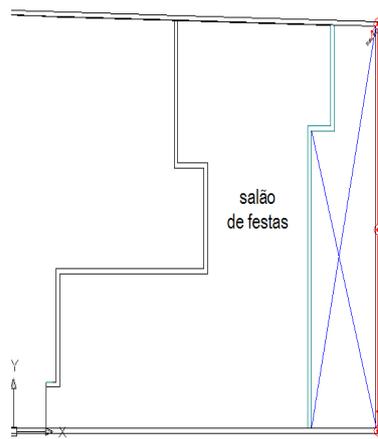
A norma estabelece que estruturas com alturas elevadas, devem conter um anel coletor a cada 20 metros de altura. Esse anel será constituído de barra chata de cobre fixada na edificação a cada 1,0 metro de acordo com a norma.



**Figura 17:** Anel coletor a vinte metros de altura.

#### 3.1.2.5.4 Proteção na Área do Salão de Festas

Nos fundos da edificação, existe um salão de festa coberto no limite com um muro a 9 metros de altura. Através do método das esferas rolantes que toca o muro, foram projetados três terminais aéreos de 60 cm espaçados uniformemente, sendo um em cada canto saliente e um ao meio. Os terminais aéreos foram interligados com cabo de cobre nu de secção  $35\text{mm}^2$ .

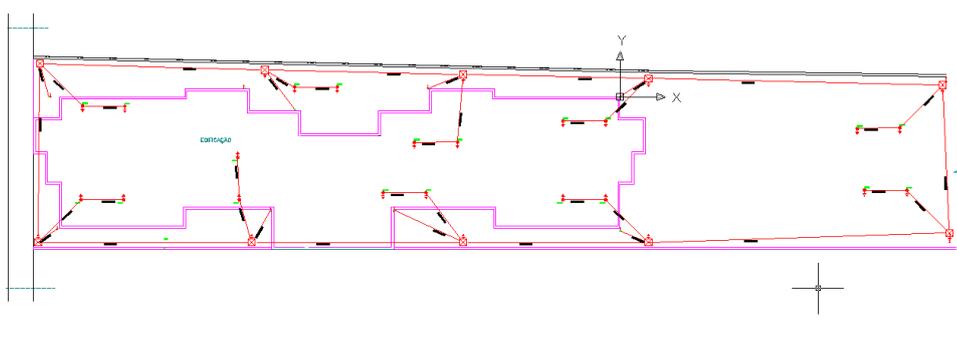


**Figura 18:** Detalhe dos terminais aéreos sobre o muro limite do salão de festa.

#### 3.1.2.5.5 Malha de Aterramento

Para cada cabo de descida é dimensionado uma caixa de inspeção, localizadas como mostra a figura 19, de modo que seja possível o acesso dos profissionais habilitados para a inspeção e manutenção.

Dentro das caixas de inspeção acontece a conexão do cabo de descida com a malha de aterramento. As hastes de aterramento foram conectadas em linha distanciadas 3 metros umas das outras assim como todas as hastes que compõem o anel de aterramento.



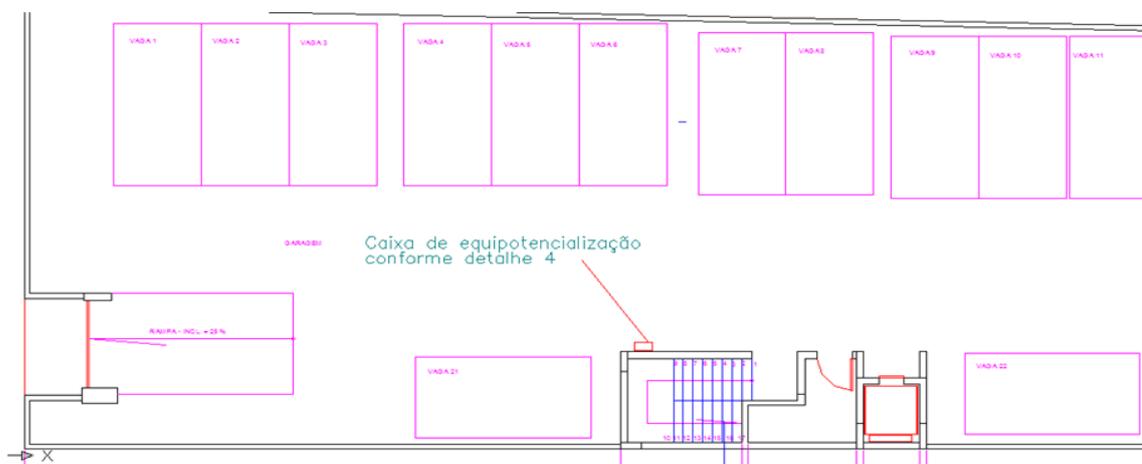
**Figura 19:** Aterramento em anel de toda estrutura.

#### 3.1.2.6 Proteção Interna da Estrutura

##### 3.1.2.6.1 Equipotencialização

O barramento de equipotencialização será instalado na garagem da edificação próximo ao quadro geral, onde serão conectados os aterramentos de energia, dado e massas metálicas. As conexões e materiais utilizados estão detalhados no projeto final. ( ver Anexo A)

A seção dos materiais utilizados na equipotencialização estão detalhados no projeto final.(Anexo A)



**Figura 20:** Localização da caixa de equipotencial na garagem.



**Figura 21:** Detalhe do local da caixa de equipotencial.

### 3.1.2.6.2 Dispositivo de Proteção Contra Surto (DPS)

Serão utilizados DPS classe I no quadro geral da edificação para proteção de descargas diretas nas linhas de energia que adentram a estrutura e classe II nos quadros de distribuição dos apartamentos para a proteção contra surtos induzidos nas fases por descargas indiretas na estrutura.(ver seção 2.4.3.2)

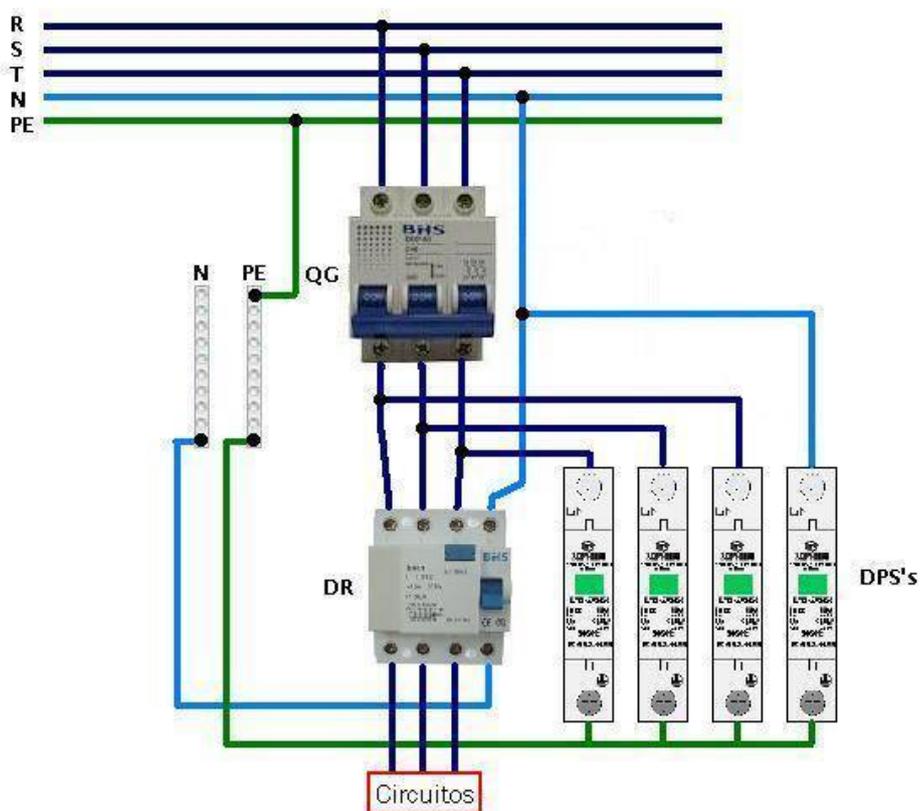


Figura 22: Esquema de ligação do DPS em quadro de distribuição.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O projeto do SPDA do edifício Dalva Nacif foi desenvolvido de acordo com as especificações da Norma. O projeto se encontra no Anexo A , com todos os detalhamentos construtivos e observações para um melhor entendimento quanto a execução do sistema. Todo o volume da edificação estará protegido se o sistema for executado respeitando os parâmetros desse projeto.

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 deve se enquadrar no projeto de SPDA, sempre respeitando os parâmetros da norma NBR 5419.

As interferências necessárias para a instalação do sistema de aterramento são de responsabilidade dos profissionais que executarem o projeto, tendo em vista que o projeto já foi dimensionado de modo a reduzir ao máximo os impactos das intervenções necessárias para implantação do sistema, gerando um menor custo de execução.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A prevenção é a principal ferramenta quando se fala em danos causados pelas descargas atmosféricas. Os benefícios para a edificação com relação à proteção contra descargas atmosféricas são variados. Tendo em vista o fluxo de pessoas que transitam por toda a edificação, os serviços prestados à comunidade através dos pontos comerciais e a quantidade de equipamentos eletrônicos nos apartamentos e nas lojas .

Vale a pena ressaltar que o estudo sobre a necessidade de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas em uma estrutura, deve ser feito nas etapas de projeto do empreendimento. As armaduras de aço dentro da estrutura de concreto armado podem ser utilizadas como condutores naturais de descida e aterramento desde que o projeto de SPDA seja feito nas etapas iniciais da obra , reduzindo custos com materiais e interferências na estética da edificação.

O projeto do SPDA desenvolvido nesse trabalho, foi entregue para o Síndico da edificação e foram discutidos os critérios do projeto e da necessidade da proteção no mesmo, entre outras ponderações . O síndico irá marcar uma reunião com os condôminos da edificação para discutirem sobre a execução do projeto. Caso o projeto seja executado, ele deverá ser realizado por profissional habilitado e capacitado a exercer esta atividade, com emissão de documentação pertinente.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5419-1:2015. Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas. Parte 1: Princípios gerais . 1.ed .Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5419-2:2015. Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas. Parte 2: Gerenciamento de Riscos . 1.ed .Rio de Janeiro, 2015.

TISSIER, A. CERCA: Working towards better LEU fuel production, v. 36, n. 449, p. 1-50, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5419-3:2015. Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas. Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida. 1.ed .Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5419-4:2015. Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas. Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. 1.ed .Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR5410:2004 . Versão corrigida 2008: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15749. Versão corrigida 2008: Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento. Rio de Janeiro, 2009.

CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. Instalações Elétricas Prediais Conforme Norma NBR 5410:2004. 20.ed. São Paulo: Érica, 2010.

PINTO, Osmar Júnior. INPE lança serviço inédito de previsão de raios. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/noticias/release.php?id=64>> . 22 set.2016.

INPE/ELAT Grupo de Eletricidade Atmosférica. Monitoramento .Disponível em <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/servicos/contrato.monitoramento.php>>. 22 set.2016.

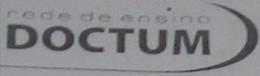
- Relação entre urbanização e raios. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/relacao.entre.urbanizacao.e.raios.php>>. 24 set.2016.
- Histórico ELAT. Disponível em : <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/elat/elat.historico.php>>. 29 set.2016.
- CREDER, Hélio. Instalações Elétricas. 15.ed Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- SCHNEIDER ELECTRIC. Proteção contra descargas atmosféricas . Disponível em: < <http://blog-br.schneider-electric.com/sem-categoria/2014/08/14/protacao-contradescargas-atmosfericas-raios/>> . 03 out.2016.
- UNIVERSO LAMBDA. A equipotencialização. Disponível em: <<http://universolambda.com.br/a-equipotencializacao/>> . 07 out.2016.
- VISACRO Filho, S. Aterramento Elétrico : Conceitos básicos técnicas de medição e instrumentação . 1.ed. São Paulo: Artiber, 2002.
- PORTIER, G.C. et al. Física dos raios e Engenharia de proteção. 2.ed. Porto alegre: EDPUCRS, 2010, cap. 03, p. 47-60.
- CLAMPER .BLOG. Você conhece os dispositivo de proteção contra surtos elétricos (dps)? Saiba como eles podem proteger os seus aparelhos elétricos. Disponível em: <<http://www.clamper.com.br/blog/dps/voce-conhece-os-equipamentos-dps-saiba-como-eles-podem-protoger-os-seus-aparelhos-eletricos>> . 17 nov.2016.
- OLIVEIRA, J.B. de . Como ficou o jargão “10 ohms em qualquer época do ano” para o caso de aterramento não natural, com a nova abnt nbr 5419?.Portal O Setor Elétrico. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/2016/2016/01/18/como-ficou-o-jargao-10-ohms-em-qualquer-epoca-do-ano-para-o-caso-de-aterramento-nao-natural-com-a-nova-abnt-nbr-5419/>>. 12 nov.2016.
- MODENA, Jobson. Determinação do comprimento mínimo do eletrodo convencional (não natural) de aterramento. Portal O Setor Elétrico. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/2016/2015/10/22/determinacao-do-comprimento-minimo-do-eletrodo-convencional-nao-natural-de-ater>>

ramento/>. 20 nov.2016.

## **ANEXO A PROJETO SPDA**

Segue em anexo o projeto de SPDA completo da estrutura em estudo.

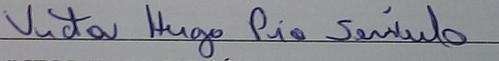
**ANEXO B AUTORIZAÇÃO PARA COLETA DE DADOS**



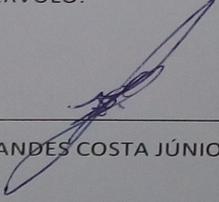
**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA COLETA DE DADOS**

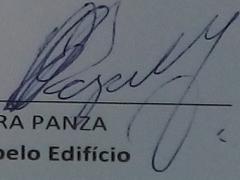
Eu, **VICTOR HUGO PIO SÉRVULO**, matriculado no curso de Engenharia Elétrica da FIC - Faculdades Integradas de Caratinga, sob a orientação do professor **JOILDO FERNANDES COSTA JÚNIOR**, Engenheiro Eletricista e Coordenador do curso de Engenharia Elétrica, venho solicitar a V. Sra autorização para coleta de dados do edifício Dalva Nacif, localizado na Rua João Pinheiro em Caratinga MG, com a finalidade de realizar uma pesquisa para meu trabalho de Conclusão de Curso. Agradeço antecipadamente e espero contar com a sua colaboração.

Atenciosamente,

  
\_\_\_\_\_  
**VICTOR HUGO PIO SÉRVULO**

Eu, **JOILDO FERNANDES COSTA JÚNIOR**, responsabilizo-me pelo trabalho científico do **VICTOR HUGO PIO SÉRVULO**.

  
\_\_\_\_\_  
**JOILDO FERNANDES COSTA JÚNIOR**

  
\_\_\_\_\_  
**RONNEY DE OLIVEIRA PANZA**  
Síndico responsável pelo Edifício

**Figura 23:** Autorização para coleta de dados

## ANEXO C LAUDO METEOROLÓGICO

**SIMEPAR**  
Tecnologia e Informações Ambientais

Curitiba, 29 de novembro de 2016  
**LT 652/16**

**LAUDO METEOROLÓGICO**

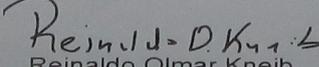
**Solicitante: Joildo Fernandes Costa Junior**

Em consulta ao banco de dados do Sistema Meteorológico do Paraná foram verificadas a ocorrência de descargas atmosféricas (raios) na região do município de Caratinga, estado de Minas Gerais, nos dias 01, 02 e 03 de janeiro de 2015.

A tabela abaixo cita as descargas atmosféricas registradas nos dias 01, 02 e 03 de janeiro de 2015, para uma varredura de raio de 20 km, considerando como ponto central as coordenadas geográficas oficiais do município de Caratinga.

Data	Raio
01/01/2015	Sem raios
02/01/2015	21 raios registrados entre as 20h18min e as 22h22min
03/01/2015	248 raios registrados entre as 19h04min e as 21h35min

Atenciosamente,

  
Reinaldo Olmar Kneib  
Meteorologista  
CREA RS-111388/D

**Figura 24:** Laudo Meteorológico

## ANEXO D LISTA DE MATERIAIS

Lista de materiais do projeto SPDA

<b>SPDA - SPDA - Aterramento</b>	
Caixa de inspeção	
Cimento - Ø300x300mm	10 pz
Haste de aterramento - cobreada 3/4" x 2,40m	40 pz
<b>SPDA - SPDA - Captor</b>	
Terminal Aéreo 600 mm - Fixação horizontal	17 pz
<b>SPDA - SPDA - Condutores</b>	
Barra chata em cobre - com furos 3/4" x 3/16"	391,30 m
Cabo de cobre Nú - 7 fios 35mm <sup>2</sup>	197,00 m
50mm <sup>2</sup>	313,30 m

**Figura 25:** Lista de Materiais Utilizados