

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

**ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DE SPDA PARA TORRE DE
TRANSMISSÃO DE DADOS LOCALIZADA EM PIEDADE CARATINGA**

THALES CAETANO DE SOUZA FARIA

Trabalho de Conclusão de Curso

Caratinga/MG

2016

THALES CAETANO DE SOUZA FARIA

**ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DE SPDA PARA TORRE DE
TRANSMISSÃO DE DADOS LOCALIZADA EM PIEDADE CARATINGA**

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: José Eugênio de Oliveira e Silva.

Caratinga/MG

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DO TRABALHO

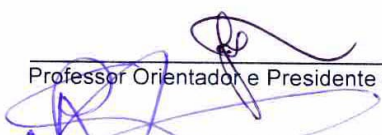
ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DE SPDA PARA TORRE DE TRANSMISSÃO DE DADOS LOCALIZADA EM PIEDADE DE CARATINGA

Nome completo do aluno: THALES CAETANO DE SOUZA FARIA


Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado perante a Banca de Avaliação composta pelos professores José Eugênio De Oliveira E Silva, Reginaldo Eustáquio e Douglas Borges Domingos, às 21:40 horas do dia 14 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: SATISFATORIO (Excelente, Ótima, Bom, Satisfatório ou Insatisfatório).

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

Caratinga, 14 de dezembro de 2016



Professor Orientador e Presidente da Banca

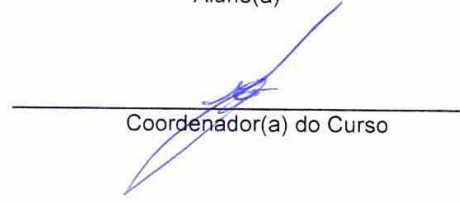


Professor Avaliador 1

Professor Avaliador 2

Thales Caetano de S. Faria

Aluno(a)



Coordenador(a) do Curso

A minha mãe Maria, pelo apoio, carinho e educação, que foram minha base e o meu norte.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que ao longo desse curso me fez superar todos os obstáculos, me dando força e orientação nos momentos difíceis.

Agradeço a minha Família, em especial a minha mãe Maria e a minha irmã Magda, por me ajudarem durante essa caminhada.

Ao meu Orientador José Eugênio, que me auxiliou durante todo o trabalho e aos meus colegas, aos quais foram divididos momentos de alegrias e companheirismo.

No mais, Obrigado!

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

(CHARLES CHAPLIN)

FARIA, Thales Caetano de Souza. **ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DE SPDA PARA TORRE DE TRANSMISSÃO DE DADOS LOCALIZADA EM PIEDADE CARATINGA** Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

RESUMO

Este trabalho descreve de forma sucinta uma descarga atmosférica, explicando os danos causados e suas características, descreve também sobre os modos de proteção contra descarga atmosférica o SPDA, abordando um estudo de caso para uma torre de transmissão de dados localizada na zona rural de Piedade Caratinga, onde foi acompanhado a implantação do projeto de SPDA, sem qualquer intervenção, para que se possa analisar os erros cometidos durante a instalação, conforme visto o projeto apresentou algumas falhas que comprometem a eficiência do mesmo, como a falta de verificação da resistência ôhmica do solo e o não aterramento da torre.

Palavras-chave: Descargas atmosféricas. SPDA. Captores. Aterramento.

FARIA, Thales Caetano de Souza. **ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DE SPDA PARA TORRE DE TRANSMISSÃO DE DADOS LOCALIZADA EM PIEDADE CARATINGA** Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

ABSTRACT

This work briefly describes an atmospheric discharge, explaining the damage caused and its characteristics, describes also the modes of protection against atmospheric discharge SPDA, addressing a case study for a tower of data transmission located in the rural area of Piedade Caratinga , Where the implementation of the SPDA project was followed without any intervention, so that the errors committed during the installation could be analyzed, as the project presented some flaws that compromise the efficiency of the project, such as the lack of verification of the ohmic resistance of the Grounding and grounding of the tower.

Key-words: Atmospheric discharges. SPDA. Captors. Grounding.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Infográfico quantidade de descargas atmosféricas Brasil	16
Figura 2	– Formação de uma descarga atmosférica.	17
Figura 3	– Forma de onda padrão da tensão descarga atmosférica.	20
Figura 4	– Mapa Isoceraúnico do Brasil.	25
Figura 5	– Área de exposição equivalente	26
Figura 6	– Relação de danos com tipo de perda.	30
Figura 7	– Componente de risco em relação ao tipo de perda.	32
Figura 8	– Fluxograma análise de viabilidade de implantação de um SPDA.	33
Figura 9	– Probabilidade de dano e suas divisões.	35
Figura 10	– Fator de localização da estrutura CD	36
Figura 11	– Fator tipo de linha CT.	36
Figura 12	– Fator de instalação da linha CI.	37
Figura 13	– Fator ambiental da linha CE.	37
Figura 14	– Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passos.	38
Figura 15	– Probabilidade PB em relação as medidas de proteção.	39
Figura 16	– Probabilidade de PSPD em função do NP para qual os DPS foram projetados.	39
Figura 17	– Valores dos fatores CLD e CLI.	40
Figura 18	– Valor do Fator KS3 dependendo da fiação interna.	41
Figura 19	– Valores da probabilidade PTU de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choques a seres vivos devido a tensão de toque.	41
Figura 20	– Valor da probabilidade PEB em função do NP para qual os DPS foram projetados.	42
Figura 21	– Valores da probabilidade PLD dependendo da resistência da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso do equipamento.	42
Figura 22	– Probabilidade PLI dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso dos equipamentos.	43
Figura 23	– Tipo de perda L1.	43
Figura 24	– Valores médios de LT, LF e LO para tipo de perda L1.	44
Figura 25	– Fator de redução r_t	44
Figura 26	– Fator de redução r_p	45
Figura 27	– Fator de redução r_f	45
Figura 28	– Fator h_z	45
Figura 29	– Tipos de perda L2.	45
Figura 30	– Valores médio de LF e LO, para tipo de perda L2.	46
Figura 31	– Tipos de perda L3.	46

Figura 32 – Valor médio de LF para perda tipo L3.	46
Figura 33 – Perdas tipo L4.	47
Figura 34 – Valores médios LT, LF e LO para tipo de perda L4	47
Figura 35 – Estrutura metálica como captor natural.	48
Figura 36 – Captor não natural modelo Franklin.	49
Figura 37 – Modelo de medição de aterramento Wenner.	51
Figura 38 – Área de proteção segundo método de Franklin.	53
Figura 39 – Modelo eletrogeométrico: aplicação da esfera rolante.	54
Figura 40 – Modelo gaiola de Faraday.	55
Figura 41 – Valor de Ng conforme INPE para região de Piedade Caratinga.	57
Figura 42 – Torre metálica existente no local.	59
Figura 43 – Abrigo existente no local.	59
Figura 44 – Captor tipo franklin existente no local	60
Figura 45 – Hastes de aterramento existente no local.	60
Figura 46 – Haste de aterramento utilizado para o neutro da concessionária	61
Figura 47 – Disjuntor e DPS instalados no local	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Efeitos das descargas atmosféricas	18
Tabela 2	– Valores descarga atmosférica	21
Tabela 3	– Tipo de estrutura em relação ao nível de proteção	24
Tabela 4	– Fator de ponderação A, em função do tipo de ocupação.	27
Tabela 5	– Fator de ponderação B, em função material de construção e cobertura.	27
Tabela 6	– Fator de ponderação C, em função do conteúdo da estrutura e efeitos indiretos das descargas atmosféricas.	28
Tabela 7	– Fator de ponderação D, em função da localização da estrutura.	28
Tabela 8	– Fator de ponderação E, em função da topografia.	28
Tabela 9	– Espaçamento médio dos condutores de descida não naturais.	50
Tabela 10	– Ângulos de proteção do método Franklin	53
Tabela 11	– Distância Esfera rolante "R" em função da corrente de crista I_{max}	54
Tabela 12	– Seção mínima dos materiais método Faraday	55
Tabela 13	– Fator de ponderação A, para o estudo de caso.	57
Tabela 14	– Fator de ponderação B, para o estudo de caso.	58
Tabela 15	– Fator de ponderação C, para o estudo de caso.	58
Tabela 16	– Fator de ponderação D, para o estudo de caso.	58
Tabela 17	– Fator de ponderação E, para o estudo de caso.	58
Tabela 18	– Análise do nível de proteção.	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SPDA	Sistema de proteção contra descargas atmosféricas
NBR	Norma Regulamentadora Brasileira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
KA	Kilo Amperes
Ng	Densidade de descargas atmosféricas para a terra por KM^2
Td	numero de dias de trovoadas por ano
Ae	Areá de exposição equivalente
Nd	Frequência media anual previsível de descargas atmosféricas sobre uma estrutura
Nc	Frequência media anual admissível de danos
Rt	Riscos toleráveis
Nde	Numero de descidas
DPS	Dispositivo de proteção contra surtos elétricos
R	Raio
H	Altura em (m)
L	Comprimento em (m)
W	Largura em (m)
LEMP	Pulso eletromagnético

LISTA DE SÍMBOLOS

π	Letra grega Pi
μ	Letra grega Micro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	16
2.1.1 Brasil no cenário mundial	16
2.1.2 Origem e formação das descargas atmosféricas	17
2.1.3 Danos causados pelas descargas atmosféricas	18
2.1.4 Características das descargas atmosféricas	20
2.1.5 Orientações de proteção	21
2.2 SPDA - SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS	22
2.2.1 Níveis de proteção do SPDA	23
2.2.2 Verificação da viabilidade de implantação de SPDA, segundo a NBR 5419:2005	25
2.2.2.1 Frequência média anual de descargas atmosféricas	25
2.2.2.2 Área de exposição equivalente	26
2.2.2.3 Frequência média anual previsível	26
2.2.2.4 Frequência media anual admissível de dados	26
2.2.2.5 Fatores de ponderação	27
2.2.3 Verificação da viabilidade de implantação de um SPDA segundo a NBR 5419:2015	29
2.2.3.1 Número anual médio de eventos perigosos	35
2.2.3.2 Probabilidade de danos	38
2.2.3.3 Quantidade relativa média da perda por evento perigoso	43
2.2.4 ELEMENTOS QUE COMPÕEM UM SPDA	48
2.2.4.1 Subsistema captor	48
2.2.4.2 Subsistema de descida	49
2.2.4.3 Subsistema de aterramento	50
2.2.5 DPS - Equipamento de proteção interno	52
2.2.6 Filosofias dos sistemas de SPDA	52
2.2.6.1 Metodo franklin	52
2.2.6.2 Método eletrogeométrico	53
2.2.6.3 Método gaiola de Faraday	55
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	56
3.1 ESCOLHA DA TORRE DE TELECOMUNICAÇÃO	56
3.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SPDA PARA ESTRUTURA ESTUDADA PELA NBR 5419:2005	56
3.3 METODOLOGIA DE PROTEÇÃO EMPREGADA	58
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63

5 CONCLUSÃO	64
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
APÊNDICE A Planta do local da estrutura estudada	68
ANEXO A Autorização de acesso ao local da estrutura	69

1 INTRODUÇÃO

A utilização de torres de transmissão de dados, para a distribuição de redes de internet é muito comum em nossa região, uma grande parte dos provedores de internet na região de Caratinga utilizam esse sistema, geralmente essas torres são construídas em locais com altitude elevada, devido ao fato de que o equipamento receptor instalado no cliente deve ter uma visão da torre, então locais elevados são mais indicados, evitando assim algum obstáculo físico.

Descargas atmosféricas são descargas elétricas que ocorrem da nuvem para terra ou entre nuvens, essas descargas chegam a vários quilo amperes, é impossível mensurar os danos que uma descarga pode ocasionar ao atingir uma estrutura, edificação ou equipamento, sabendo que é impossível evitar que uma descarga atinja determinado local é feito o uso de SPDA que é um sistema que tem como função amenizar os danos causados por estas descargas, escoado a descarga até a terra.

Tendo em mente o uso dessas estruturas, foi pensando se o sistema de proteção contra descargas atmosféricas estão de conformidade com a norma. Já que a aplicação de um projeto adequado de SPDA implica na redução de futuros problemas ocasionados por descargas atmosféricas a essas estruturas, como por exemplo, a queima de equipamentos e a interrupção do serviço prestado até a adequada substituição ou reparo do equipamento danificado.

Este trabalho tem como objetivo a análise do SPDA para essas torres, foi verificado se o sistema de SPDA instalado na estrutura localizada em Piedade de Caratinga é totalmente eficiente ou se pode sofrer alguma melhoria.

Proteção contra descargas atmosféricas é importante também em termos de segurança pessoal, e é um dos critérios que apresenta maior peso na análise de risco.

O projeto de SPDA é composto basicamente por dois fatores, o aterramento e o sistema de captação e distribuição da descarga atmosférica, existem diversas maneiras de ser fazer o aterramento, levando em consideração a composição do solo e sua resistência ôhmica, o sistema de captação é que irá receber a descarga e conduzi-la através do cabo de descida até o aterramento, deve-se analisar o local e identificar a metodologia mais adequada.

O corpo do trabalho se divide em um primeiro capítulo, onde será abordado sobre as descargas atmosféricas, os danos causados por essas descargas e algumas características, o segundo capítulo abordara sobre o sistema de SPDA, como níveis de proteção e verificação de implantação de SPDA, o terceiro capítulo será abordo o estudo da estrutura proposta.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Este capítulo aborda sobre descargas atmosféricas, descrevendo sua formação, origem, os danos e algumas medidas de proteção contra descarga atmosférica.

2.1.1 Brasil no cenário mundial

O Brasil é o país do mundo que possuiu o maior número de descargas atmosféricas por ano, a média de raios por ano em todo o planeta é de 3,15 bilhões, desses 50 milhões caem em solo Brasileiro(INPE, 2016).

Ultimo boletim divulgado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, registra certa de 94 mortes por raios no Brasil no ano de 2014, segundo dados do INPE a cada 50 mortes por raios no mundo uma é no Brasil.

Além da grande incidência de mortes ocasionadas por raios no Brasil, as descargas atmosféricas provocam ainda muitos prejuízos materiais, já que é gasto muito dinheiro com reparos em linhas de transmissão, subestações, linhas telefônicas, linhas de telecomunicação, em industrias e propriedades privadas.

No Brasil, a norma que rege sobre esse assunto é a NBR-5419, que indica a obrigatoriedade ou não de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). Segue na figura 1 um infográfico adaptado do INPE.



Figura 1: Infográfico quantidade de descargas atmosféricas Brasil

Fonte:INPE

2.1.2 Origem e formação das descargas atmosféricas

Descargas atmosféricas são fenômenos estudados e apreciados por diversos povos em diferentes épocas. Antigos povos gregos, egípcios, hindus denominavam esses fenômenos da natureza como a força dos Deuses, o que hoje já tem uma explicação, devido a grandes pesquisadores como Benjamin Franklin que contribuíram na desmistificação desse fenômeno(SOUZA, et al. 2016, p.22).

Visacro, (2005, p.18) descreve esse fenômeno da seguinte forma, "[...] Trata-se de um fenômeno complexo, que se expressa através do fluxo de uma corrente impulsiva de alta intensidade e curta duração[...]".

As descargas atmosféricas originam-se nas nuvens, geradas pela troca de cargas entre o atrito das partículas de água, as cargas negativas geradas durante esse fenômeno tende ir para a parte inferior da nuvem enquanto as positivas ficam na parte superior (SOUZA, et al. 2016, p.28).

No entanto Visacro, (2005, p.33) declara "[...]os processos que determinam o carregamento das partes da nuvem têm natureza diversificada e são bastante complexos. A explicação teórica de tais processos não esta, ainda, completamente esclarecida".

As cargas de polaridade negativa que se concentram na parte inferior da nuvem induzem uma grande quantidade de cargas opostas no solo, a concentração das cargas geram o gradiente elétrico que ultrapassa a capacidade de isolamento do ar, tendo como resultado uma circulação de corrente da nuvem para o solo ou do solo para a Nuvem(SOUZA, et al. 2016, p.28).

Segue na figura 2, como ocorre a formação de uma descarga atmosférica.



Figura 2: Formação de uma descarga atmosférica.

Fonte:www.yesachei.net.

SOUZA et al. (2015, p.29) descrevem a formação da descarga da seguinte forma:

O modelo de desenvolvimento do processo de uma descarga atmosférica é caracterizado pela formação de uma descarga preliminar denominada de piloto, a partir de um centro de cargas negativas dentro da nuvem, acompanhando por uma corrente de retorno.

Quando a descarga piloto atinge o solo, surge uma corrente de retorno excessivamente brilhante, a qual se propaga em direção à nuvem, seguindo o

mesmo percurso da descarga piloto e descarregando para o solo tanto as cargas existentes no canal ionizado como também uma parcela das cargas da nuvem.¹

A corrente produzida por uma descarga atmosférica chega a vários KA (quilo amperes), sendo impossível mensurar o dano causado ao atingir determinada estrutura, ou equipamento.

Um dos nomes mais associados aos estudos das descargas atmosféricas é Benjamin Franklin, que fez grandes descobertas sobre a eletricidade como identificação das cargas positivas e negativas e a demonstração que o raio é um fenômeno de natureza elétrica (SOUZA, et al. 2016, p.27).

A metodologia experimental de Franklin consistia em colocar uma haste metálica aterrada a baixo de uma nuvem carregada de uma tempestade, o que proporcionaria um caminho entre o solo e a nuvem, escoado para a terra a energia contida na nuvem. Metodologia qual foi comprovada mais tarde com o experimento do cientista Thomas-François D'Alibard, que aproximou um fio de metal aterrado a uma barra de ferro colocada em direção a nuvens carregadas, verificou que ocorriam faíscas da nuvem em direção a haste, criando dessa forma o princípio de funcionamento dos pára-raios(SOUZA, et al. 2016, p.27).

2.1.3 Danos causados pelas descargas atmosféricas

Como já mencionado, descargas atmosféricas são fenômenos naturais que geram correntes elétricas de alto valor, essas descargas ao atingir determinada estrutura ou equipamento podem ocasionar diversos danos.

Uma descarga atmosférica pode ocasionar danos à própria estrutura, a seus ocupantes e conteúdos, incluindo falhas dos sistemas ou aparelhos elétricos. Os danos podem também se estender para estruturas vizinhas ou ao meio ambiente(ABNT NBR 5419:2015 - 1, p.9).

A ABNT NBR 5419-1:2015, dispõem uma tabela que apresenta os efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas, tabela ??.

Tabela 1: Efeitos das descargas atmosféricas

Tipos de estrutura de acordo com sua finalidade	Efeitos das descargas atmosféricas
Casa de moradia	Perfuração da isolação das instalações elétricas, incêndio e danos materiais, danos normalmente limitados a objetos expostos ao ponto de impacto ou no caminho da corrente de descarga atmosférica. Falha de equipamentos e sistema elétricos e eletrônicos instalados(exemplos: aparelhos de TV,

¹ SOUZA, Andre Nunes; RODRIGUES, José Eduardo; BORELLI, Reinaldo e BARROS, Benjamim Ferreira. SPDA Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas Teoria, Prática e Legislação. 1ªed. SARAIVA, 2015.

	computadores, modems, telefones, etc
Edificações em zona rural	Risco maior de incêndio e tensões de passo perigosas, assim como danos materiais. Risco secundário devido à perda de energia elétrica e risco de vida dos animais de criação devido a falha de sistemas de controle eletrônicos de ventilação e suprimento de alimentos.
Teatro ou cinema Hotel Escola Shopping center Áreas de esporte	Danos em instalações elétricas que tendem a causar pânico (por exemplo: iluminação elétrica), falhas em sistemas de alarme de incêndio, resultado em atrasos nas ações de combate ao incêndio.
Banco Empresas 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
Industria	Efeitos adicionais dependendo do conteúdo das fabricas, que vão desde os menos graves até danos inaceitáveis e perda de produção
Museu e sitio arqueológico Igreja	Perda de patrimonio cultural insubstituível.
Estação de telecomunicações Estação de geração e transmissão de energia elétrica	Interrupção inaceitável de serviços públicos.
Fabrica de fogos de artifícios Trabalhos com munição	Incêndio e explosão com consequências à planta e arredores
Industria química Refinaria Usina nuclear Industria e laboratório de bioquímica	Incêndio e mau funcionamento da planta com consequências prejudiciais ao meio ambiente local e global.

Fonte: ABNT NBR 5419-1:2015, p.10.

SOUZA et al. (2015, p.17), completam, "As descargas atmosféricas representam cerca de um terço dos desligamentos não programados no sistema de distribuição e cerca de 40% das queimas de transformadores, além de produzirem sobretensões prejudiciais ao consumidor."

Ainda nesse contexto VISACRO (2005, p.20) completa.

Os efeitos mais nefastos do fenômeno decorrem da incidência direta das descargas. Nesse caso, ao atingir prédios, estruturas, sistemas elétricos e seres vivos, os raios podem gerar destruição, incêndio e, eventualmente, morte. A potência elétrica dissipada pelo percurso de corrente sobre a vítima (corpo atingido) pode gerar destruição intensa. No entanto, os efeitos mais frequentes (embora menos intensos) são aqueles associados às descargas indiretas, ou seja, são os induzidos por uma descarga próxima. A característica de variação muito rápida da corrente de descarga torna o fenômeno uma importante fonte de distúrbios eletromagnéticos, capaz de gerar danos e interferência em sistemas elétricos e eletrônicos.²

Visto os danos que uma descarga atmosférica pode causar e sabendo que não a forma de se evitar que uma descarga atmosférica aconteça, existem métodos de proteção chamado SPDA.

2.1.4 Características das descargas atmosféricas

Com o estudo de alguns cientistas sobre o assunto foi chegado a alguns dados importantes, que facilitam a compreensão da magnitude de uma descarga atmosférica.

A corrente produzida por uma descarga atmosférica possui apenas uma polaridade ou seja segue apenas um sentido, a Figura 3 mostra a forma de onda padrão da tensão de uma descarga atmosférica (STEFANI, 2011 p.14).

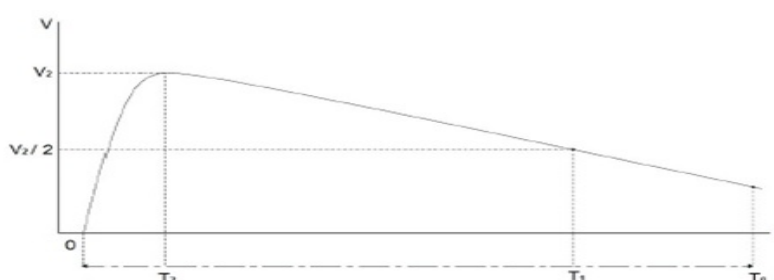


Figura 3: Forma de onda padrão da tensão descarga atmosférica.

Fonte: STEFANI, 2011 p.14

Pode-se observar que no instante T_2 , a tensão da descarga atmosférica tem o seu valor de pico em V_2 que pode variar entre 1 e 10 μs , após esse momento, valor da tensão começa a cair chegando a 50% do seu valor no instante de tempo T_1 , que varia de 20 a 50 μs e é denominado

² VISACRO FILHO, Silvério. Descargas Atmosféricas uma abordagem de engenharia. Artliber Editora, 2005.

de tempo de meia cauda, a tensão se aproxima de 0 no instante T_0 , após um período entre 100 e 200 μs (STEFANI, 2011 p.14).

STEFANI (2011, p.29), descreve em sua obra, sobre o tempo descarga atmosférica.

A onda de tensão característica da descarga atmosférica foi normalizada com 1 μs para o valor de Frente de Onda e 50 μs para o valor do tempo de Meia Cauda. Essa onda de tensão também é conhecida como onda de 1, 2x50 μs . Já a onda de corrente da descarga atmosférica foi normalizada com 8 μs para valor de Frente de onda e 20 μs para o valor do tempo de Meia Cauda. Consequentemente, a onda de corrente da descarga atmosférica é conhecida como onda 8x20 μs .³

É importante conhecer esses valores de corrente, tensão e tempo de uma descarga atmosférica para a elaboração do seu projeto de SPDA.

A Tabela 2 demonstra outros valores característicos de uma descarga atmosférica.

Tabela 2: Valores descarga atmosférica

CORRENTE	2000 a 200000 Amperes
TENSÃO	100 a 100 KV
DURAÇÃO	70 a 200 μs
CARGA ELÉTRICA DA NUVEM	20 a 50C
POTENCIA LIBERADA	1 a 8 bilhões de KW
ENERGIA	4 a 10 Kwh
TEMPO DE CRISTA	1.2 μs
TEMPO DE MEIA CALDA	50 μs
$\frac{di(t)}{dt}$	5.5 KA μs

Fonte:STEFANI, p.15.

2.1.5 Orientações de proteção

De acordo com os dados citados anteriormente que mostram a grande incidência de raios que atingem o nosso país todo ano, e o grande número de mortes por descargas atmosféricas anualmente, é importante algumas orientações para nossa proteção durante uma tempestade, segue algumas orientações de segurança repassadas pelo INPE.

1. Se possível, não saia para a rua ou não permaneça na rua durante as tempestades, a não ser que seja absolutamente necessário. Nestes casos, procure abrigo nos seguintes lugares:

- Carros não conversíveis, ônibus ou outros veículos metálicos não conversíveis;
- Em moradias ou prédios, de preferência que possuam proteção contra raios;
- Em abrigos subterrâneos, tais como metrô ou túneis, em grandes construções com estruturas

³ STEFANI, Rodrigo Verardino, METODOLOGIA DE PROJETO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA EDIFÍCIO RESIDENCIAL, Universidade de engenharia de São Carlos, 2011.

metálicas, ou em barcos ou navios metálicos fechados.

2. Se estiver dentro de casa, evite:

- Usar telefone com fio ou celular ligado a rede elétrica (utilize telefones sem fio);
- Ficar próximo de tomadas e canos, janelas e portas metálicas;
- Tocar em qualquer equipamento elétrico ligado a rede elétrica.

3. Se estiver na rua, evite:

- Segurar objetos metálicos longos, tais como varas de pesca e tripés;
- Empinar pipas e aeromodelos com fio;
- Andar a cavalo;

4. Se possível, evite os seguintes lugares que possam oferecer pouca ou nenhuma proteção contra raios:

- Pequenas construções não protegidas, tais como celeiros, tendas ou barracos;
- Veículos sem capota, tais como tratores, motocicletas ou bicicletas;
- Estacionar próximo a árvores ou linhas de energia elétrica.

5. Se possível, evite também certos locais que são extremamente perigosos durante uma tempestade, tais como:

- Topos de morros ou cordilheiras;
- Topos de prédios;
- Áreas abertas, campos de futebol ou golfe;
- Estacionamentos abertos e quadras de tênis;
- Proximidade de cercas de arame, varais metálicos, linhas aéreas e trilhos;
- Proximidade de árvores isoladas;
- Estruturas altas, tais como torres, linhas telefônicas e linhas de energia elétrica.

6. Se você estiver em um local sem um abrigo próximo e sentir que seus pêlos estão arrepiados, ou que sua pele começou a coçar, fique atento, já que isto pode indicar a proximidade de um raio que está prestes a cair. Neste caso, ajoelhe-se e curve-se para frente, colocando suas mãos nos joelhos e sua cabeça entre eles. Não fique deitado.

Todas essas informações podem ser acessadas gratuitamente no site do INPE, que é o principal órgão Brasileiro sobre pesquisas de descargas atmosféricas.

2.2 SPDA - SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS

Os sistemas de proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) tem como função proteger, edificações, equipamentos, instalações elétricas e comunicações, reduzindo os danos

causados.

O sistema de proteção esta em constante aprimoramento, e tem como principio de funcionamento básico, captar a descarga atmosférica e a conduzir para o sistema de aterramento.

SOUZA et al. (2015, p.35), confirmam.

A primeira função é neutralizar não só o poder de atração das pontas, mas também o crescimento do gradiente de potencial elétrico entre o solo e as nuvens, por meio do permanente escoamento de cargas elétricas da atmosfera para a terra.

A segunda função é oferecer à descarga elétrica um caminho preferencial, de baixa impedância, reduzindo os riscos decorrentes de sua incidência.⁴

Ainda nesse contexto, VISACRO FILHO, Silvério (2005 p.218), informa. "Um SPDA tem por objetivo básico evitar a incidência direta de raios na estrutura protegida[...]" que completa a seguir, "[...]Para realizar tal objetivo, além de captar a eventual descarga, o SPDA deve ser capaz de direcionar o fluxo da corrente associada diretamente para o solo[...]"

2.2.1 Níveis de proteção do SPDA

A NBR 5419 define quatro níveis de proteção contra descargas atmosféricas.

SOUZA et al. (2015, p.36), definem os níveis de proteção da seguinte forma:

Nível 1 - Destinado às estruturas nas quais uma falha do sistema de proteção pode causar danos às estruturas vizinhas ou ao meio ambiente. Como exemplo, estão depósitos de explosivos, fabricas ou depósitos de produtos tóxicos ou radioativos, industrias com áreas classificadas.

Nível 2 - Destinado às estruturas cujo danos causados em caso de falha serão elevados ou haverá destruição de bens insubstituíveis ou de valor histórico, mas, em qualquer caso, vão se restringir à própria estrutura e ao seu conteúdo, bem como os casos de estruturas com grande aglomeração de público, havendo, portanto, risco de pânico. Exemplos são museus, ginásios esportivos etc.

Nível 3 - Destinado às estruturas de uso comum, tais como residências, escritórios, fabricas (que não sejam consideradas áreas classificadas) e outras.

Nível 4 - Destinado às estruturas construídas de material não inflamável, com pouco acesso de pessoas, e com conteúdo não inflamável. Como exemplo têm-se depósitos de concreto armado, alvenaria ou estrutura metálica utilizados no armazenamento de produtos agrícolas não inflamáveis.⁵

Ao executar o projeto do SPDA, deve-se verificar se a estrutura precisa da proteção e identificar a qual nível de proteção esta empregada.

⁴ SOUZA, Andre Nunes; RODRIGUES, José Eduardo; BORELLI, Reinaldo e BARROS, Benjamim Ferreira. SPDA Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas Teoria, Pratica e Legislação. 1ºed. SARAIVA, 2015.

⁵ SOUZA, Andre Nunes; RODRIGUES, José Eduardo; BORELLI, Reinaldo e BARROS, Benjamim Ferreira. SPDA Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas Teoria, Pratica e Legislação. 1ºed. SARAIVA, 2015.

Segue na Tabela 3 que relaciona os tipos de estrutura ao nível de proteção, disponibilizada pela ABNT 5419:2005.

Tabela 3: Tipo de estrutura em relação ao nível de proteção

Classificação da estrutura	Tipo de estrutura	Efeitos das descargas atmosféricas	Nível de proteção
Estruturas comuns	Residências	Perfuração da isolação de instalações elétricas, incêndio, e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos no ponto de impacto ou no caminho do raio.	III
	Fazendas, estabelecimentos agropecuários	Risco direto de incêndio e tensões de passo perigosas. Risco indireto devido à interrupção de energia e risco de vida para animais devido à perda de controles eletrônicos, ventilação, suprimentos de alimentos e outros	III ou IV ²
	Teatros, escolas, lojas de departamentos, áreas esportivas, igrejas	Danos às instalações elétricas (por exemplo: iluminação) e possibilidade de pânico. Falha do sistema de alarma contra incêndio, causando atraso no socorro.	II
	Bancos, companhias de seguro, companhias comerciais, e outros.	Como acima, além de efeitos indiretos com a perda de comunicações, falhas dos computadores e perda de dados	II
	Hospital, casa de repouso e prisões	Como para escolas, além de efeitos indiretos para pessoas em tratamento intensivo e dificuldade de resgate de pessoas imobilizadas.	II
	Indústrias	Efeitos indiretos conforme o conteúdo das estruturas, variando de danos pequenos a prejuízos inaceitáveis e perda de produção	III
	Museus, locais arqueológicos	Perda de patrimônio cultural insubstituível.	II
Estruturas com risco confinado	Estação de telecomunicações, usinas elétricas.	Interrupção inaceitáveis de serviços públicos por breve ou longo período de tempo	I
	Indústrias	Risco indireto para as imediações devido a incêndios, e outros com risco de incêndio	
Estruturas com risco para os arredores	Refinarias, postos de combustível, fábricas de fogos, fábricas de munição	Risco de incêndio e explosão para a instalação e seus arredores.	I
Estruturas com risco para o meio ambiente	Indústrias químicas, usinas nucleares, laboratórios químicos.	Risco de incêndio e falhas de operação, com consequências perigosas para o local e para o meio ambiente.	I

¹ ETI (Equipamentos de Tecnologia da Informação) podem ser instalados em todos os tipos de estrutura, inclusive estruturas comuns. É impraticável a proteção total contra danos causados pelos raios dentro dessas estruturas; não obstante, devem ser tomadas medidas (conforme a NBR 5410) de modo a limitar os prejuízos a níveis aceitáveis.,

² Estruturas de madeira: nível III, estruturas nível IV. Estruturas contendo produtos agrícolas potencialmente combustíveis (pós de grãos) sujeitos à explosão são considerados com risco para arredores.

Fonte:ABNT NBR 5419:2005.

2.2.2 Verificação da viabilidade de implantação de SPDA, segundo a NBR 5419:2005

Antes de iniciar o seu projeto de SPDA para estrutura ou local escolhido há a necessidade de verificar a implantação do mesmo, que é feito através de uma serie de índices impostos pela ABNT NBR 5419 - 2015

2.2.2.1 Frequência média anual de descargas atmosféricas

Segundo ABNT NBR 5419(2005, p.28) o cálculo para verificar a probabilidade de uma estrutura ser atingida por um raio em um ano é feito pela seguinte equação:

$$Ng = 0,04.Td^2 \quad (2.1)$$

Onde:

Ng = Número de raios para a terra por quilômetros quadrados por ano

Td = numero de dias de trovoadas por ano.

Onde Td é obtido pelo mapa isoceraúnico, conforme a Figura 4, retirada da NBR - 5419.



Figura 4: Mapa Isoceraúnico do Brasil.

Fonte:NBR 5419:2005, p.30

2.2.2.2 Área de exposição equivalente

É a área de captação de uma descarga atmosférica por uma estrutura, sem o SPDA, onde se leva em consideração o comprimento da estrutura, largura e a altura, que pode ser melhor analisado pela Figura 5 (ABNT NBR 5419, 2005 p.33).

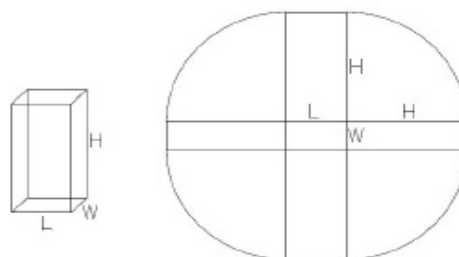


Figura 5: Área de exposição equivalente

Fonte: STEFANI, p.20

Para se obter o índice de exposição equivalente utiliza-se a equação 2.2, que pode ser encontrada na NBR 5419.

$$Ae = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2 \quad (2.2)$$

Onde:

L = Comprimento da estrutura;

W = largura da estrutura;

H = altura da estrutura.

2.2.2.3 Frequência média anual previsível

A frequência média anual previsível é calculada apenas após posse dos resultados anteriores que é dada pela seguinte equação 2.3, disponível na NBR 5419.

$$Nd = Ng \cdot Ae \cdot 10^{-6} \quad (2.3)$$

Depois de calculado o valor de Nd, que é o número provável de raios que atinge uma estrutura, deve-se multiplicar por fatores de ponderação, Tabelas 6 a 10.

2.2.2.4 Frequência média anual admissível de dados

A NBR 5419:2005, determina os seguintes valores para a frequência média anual admissível (Nc).

- riscos maiores que 10^{-3} por ano são considerados inaceitáveis;
- riscos menores que 10^{-5} por ano são, em geral, considerados aceitáveis.

2.2.2.5 Fatores de ponderação

Os fatores de ponderação indicam a importância relativa do risco em cada caso, são divididos em 5 fatores, Fator A, B, C, D e E, conforme as Tabelas a seguir.

Tabela 4: Fator de ponderação A, em função do tipo de ocupação.

Tipos de ocupação	Fator A
Casas e outras estruturas de porte equivalente	0.3
Casas e outras estruturas de porte equivalente com antena externa	0.7
Fabricas, oficinas e laboratórios	1.0
Edifícios de escritórios, hotéis e apartamentos e outros edifícios residenciais não incluídos em seguida	1.2
Locais de afluência de público (por exemplo: igrejas, pavilhões, teatros, museus, exposições, lojas de departamentos, correios, estações e aeroportos, estádios de esporte)	1.3
Escolas, hospitais, creches e outras instituições, estruturas de múltiplas atividades.	1.7

Fonte: ABNT NBR 5419:2005, p.33.

Tabela 5: Fator de ponderação B, em função material de construção e cobertura.

Material de construção	Fator B
Estrutura de aço revestida, com cobertura não metálica	0.2
Estrutura de concreto armado, com cobertura não metálica	0.4
Estrutura de aço revestida, ou de concreto armado, com cobertura metálica	0.8
Estrutura de alvenaria ou concreto simples, com qualquer cobertura, exceto metálica ou de palha	1.0
Estrutura de alvenaria ou concreto simples, com qualquer cobertura, exceto metálica ou de palha	1.4
Estrutura de madeira, alvenaria ou concreto simples com cobertura metálica	1.7
Qualquer estrutura com teto de palha	2.0

Fonte: ABNT NBR 5419:2005, p.33.

Tabela 6: Fator de ponderação C, em função do conteúdo da estrutura e efeitos indiretos das descargas atmosféricas.

Conteúdo da estrutura ou efeitos indiretos	Fator C
Residências comuns, edifícios de escritórios, fabricas e oficinas que não contenham objetos de valor ou particularmente suscetíveis a danos	0.3
Estruturas industriais e agrícolas contendo objetos particularmente suscetíveis a danos	0.8
Subestações de energia elétrica, usinas de gás, centrais telefônicas, estações de rádio	1.0
Indústrias estratégicas, monumentos antigos e prédios históricos, museus, galerias de arte e outras estruturas com objetos de valor especial	1.3
Escolas, hospitais, creches e outras instituições, locais de afluência de público	1.7

Fonte: ABNT NBR 5419:2005, p.34.

Tabela 7: Fator de ponderação D, em função da localização da estrutura.

Localização	Fator D
Estrutura localizada em uma grande área contendo estruturas ou árvores da mesma altura ou mais altas (por exemplo: em grandes cidades ou em florestas)	0.4
Estrutura localizada em uma área contendo poucas estruturas ou árvores de altura similar	1.0
Estrutura completamente isolada, ou que ultrapassa, no mínimo, duas vezes a altura de estruturas, ou árvores próximas	2.0

Fonte: ABNT NBR 5419:2005, p.34.

Tabela 8: Fator de ponderação E, em função da topografia.

Topografia	Fator E
Planície	0.3
Elevações moderadas, colinas	1.0
Montanhas entre 300 e 900m	1.3
Montanhas acima de 900m	1.7

Fonte: ABNT NBR 5419:2005, p.34.

Após analisar em quais fatores de ponderação sua estrutura se encaixa deve-se multiplicar pelo valor N_d obtido, obtendo-se N_{dc} , conforme a equação 2.4

$$N_{dc} = N_d \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \quad (2.4)$$

Com o resultado de N_{dc} deve-se compará-lo com a frequência média anual admissível (N_c), levando em consideração os seguintes critérios, para analisar se é viável ou não a instalação do SPDA.

- Se $N_c \geq 10^{-3}$, a estrutura requer SPDA;

- Se $10^{-3} > N_c > 10^{-5}$, a conveniência de um SPDA deve ser decidida por acordo entre projetista e usuário;
- Se $N_c \leq 10^{-5}$, a estrutura dispensa um SPDA.

Por mais que conteste há não necessidade de instalação de um SPDA, não significa que a estrutura nunca será atingida por uma descarga atmosférica, caso ache necessário, é de bom grado para proteção e segurança da vida humana.

2.2.3 Verificação da viabilidade de implantação de um SPDA segundo a NBR 5419:2015

A ABNT NBR 5419:2015, teve diversas alterações em relação a viabilidade de implementação de um SPDA, nela é feito uma análise mais complexa dos riscos (R) que uma descarga atmosférica pode ocasionar, relacionando esses riscos com o Riscos tolerável (Rt), verificando a viabilidade ou não da implantação, métodos qual é melhor exemplificado a seguir (ABNT NBR 5419, 2015, p.19).

Todas as informações, exemplificando a análise de risco contidas nesse capítulo foram retiradas e adaptadas da NBR 5419-2:2015.

A NBR 5419:2015 considera quatro tipos de fontes de danos, que são divididas de acordo com local que atingem que são elas:

- S1: descargas atmosféricas na estrutura;
- S2: descargas atmosféricas próximas a estrutura;
- S3: descargas atmosféricas na linha;
- S4: descargas atmosféricas perto da linha.

A descarga atmosférica ao atingir a estrutura ou suas proximidades irá provocar danos. A NBR 5419:2015 considera três tipos de danos, que são relacionados as características da estrutura estudada como: tipo de construção, conteúdos, tipos de serviços, etc. Os três tipos de danos são:

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

A ABNT NBR 5419:2015 (2015, pg. 14) completa sobre os danos:





Os danos a uma estrutura devido às descargas atmosféricas podem ser limitados a uma parte da estrutura ou pode se estender a estrutura inteira. Podem envolver

também as estruturas ao redor ou o meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas).⁶

Cada tipo de dano, associados a uma estrutura dependendo de suas características irão gerar um tipo de perda, esses danos podem ser sozinho ou combinados, a ABNT NBR 5419:2015, leva em consideração quatro tipos de perdas que são elas:

- L1: perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- L2: perda de serviço ao público;
- L3: perda de patrimônio cultural;
- L4: perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades)

A NBR 5419:2015, disponibiliza uma tabela referenciando as fontes de danos aos tipos de danos causados e as perdas geradas, que pode ser analisada na Figura 6.

Descarga atmosférica		Estrutura	
Ponto de impacto	Fonte de danos	Tipo de danos	Tipo de perdas
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S2	D3	L1 ^b , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S4	D3	L1 ^b , L2, L4

^a Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.
^b Somente para estruturas com risco de explosão ou para hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos podem imediatamente colocar em perigo a vida humana.

Figura 6: Relação de danos com tipo de perda.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.15.

⁶ ABNT NBR 5419:Proteção de Estruturas contra descargas atmosféricas, 2015

Com isso para cada tipo de perda que aparecer na estrutura, deve-se calcular o risco resultante (R), que é um valor relativo a uma provável perda anual, dessa forma a ABNT NBR 5419:2015 estipulou quatro tipos de riscos, que são eles:

- R1 - risco de perda de vida humana;
- R2 - risco de perda de instalação de serviços públicos;
- R3 - risco de perda de memória cultural;
- R4 - risco de perdas de valor econômico.

Cada risco, é a soma de diversos componentes dele, esses componentes são divididos de acordo com fonte e o tipo de dano.

Esses componentes de risco são divididos de acordo com a fonte do dano, sendo:

- Componente de risco devido a descargas atmosféricas diretas na estrutura (S1);
- Componente de risco devido a descarga atmosférica perto da estrutura (S2);
- Componente de risco devido a descarga atmosférica a uma linha conectada à estrutura (S3);
- Componente de risco devido a descarga atmosférica perto de uma linha conectada a estrutura (S4).

Quando a estrutura é atingida direta pela descarga atmosférica pode provocar 3 componentes de risco que são eles:

- RA: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de passo que a diferença de potencial entre a pernas no instante em que esteja passando pelo solo uma corrente intensa e toque que é a diferença de potencial que uma pessoa pode sofrer ao tocar em uma estrutura metálica, dentro da estrutura ou até 3m ao redor dos condutores de descida;
- RB: componente de risco causado a danos físicos causados por centelhamento perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosões;
- RC: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP.

Quando a descarga atmosférica atinge as proximidades da estrutura ela pode gerar um componente de risco sendo ele:

- RM: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP.

A descarga atmosférica ao atingir uma linha diretamente pode provocar 3 tipos de componentes de risco que são eles:

- RU: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura;
- RV: componente relativo a danos físicos, incêndio ou explosões provocados por centelhas;
- RW: componentes relativo a falhas de sistema internos causado por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura.

E quando a descarga atmosférica atingir proximidades da linha, pode provar um tipo de componente de risco, sendo ele:

- RZ: componente relativo a falhas de sistemas internos causado por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura.

A NBR 5419:2015, disponibiliza uma tabela que demonstra, cada componente de risco em relação ao tipo de perda na estrutura, que pode ser visto na Figura 7

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
	R _A	R _B	R _C	R _M	R _U	R _V	R _W	R _Z
Componente de risco	R _A	R _B	R _C	R _M	R _U	R _V	R _W	R _Z
Risco para cada tipo de perda								
R ₁	*	*	* a	* a	*	*	* a	* a
R ₂		*	*	*		*	*	*
R ₃		*				*		
R ₄	* 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.

Figura 7: Componente de risco em relação ao tipo de perda.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.18.

Após a identificação de todos os tipos de perdas e os correspondentes riscos, deve-se fazer uma comparação dos valores obtidos dos riscos R1, R2 e R3 com os riscos toleráveis (Rt), os valores dos riscos toleráveis são dispostos pela NBR 5419:2015, da seguinte forma:

- Perda de vida humana ou ferimentos permanentes, $R_t=10^{-5}$;
- Perda de serviços ao público, $R_t=10^{-3}$;
- Perda de patrimonio cultural, $R_t=10^{-4}$.

Segue na Figura 8 fluxograma disponível na NBR 5419:2015, exemplificando essa análise de viabilidade.

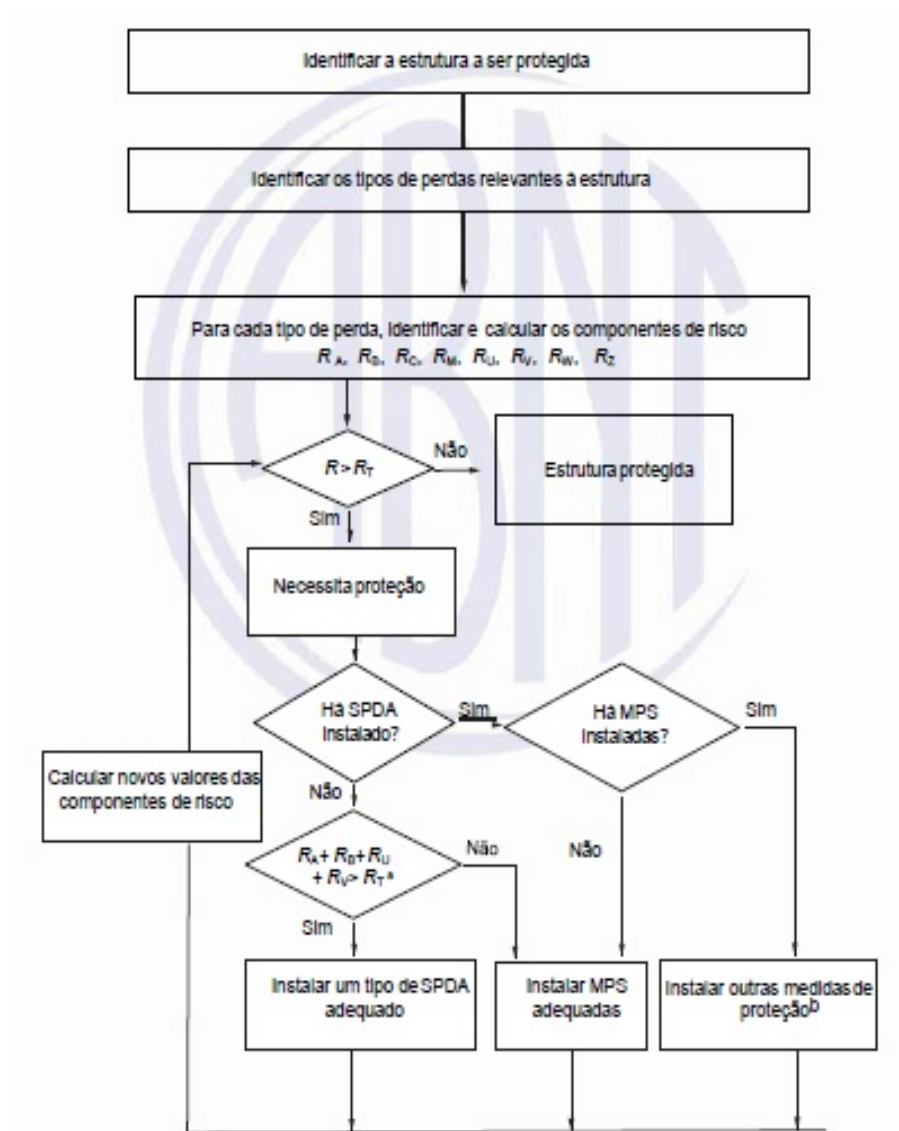


Figura 8: Fluxograma análise de viabilidade de implantação de um SPDA.

Fonte:ABNT NBR 5419-2:2015, p.22.

A ABNT NBR 5419:2015 usa o seguinte critério de comparação para verificar a viabilidade de implantação de um SPDA ou não:

- Se $R \leq R_t$, a proteção contra a descarga atmosférica não é necessária;
- se $R > R_t$, medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir $R \leq R_t$ para todos os riscos aos quais a estrutura está sujeitada.

A determinação do valor de cada componente de risco pode ser determinada por uma equação básica, representada na equação 2.5

$$R_x = N_x.P_x.L_x \quad (2.5)$$

Onde:

- N_x é o numero de eventos perigosos por anos;
- P_x é a probabilidade de dano a estrutura;
- L_x é a perda consequente.

A NBR 5419:2015 determina as seguintes equações para o cálculo de cada componente de risco sendo elas:

$$R_A = N_D.P_A.L_A \quad (2.6)$$

$$R_B = N_D.P_B.L_B \quad (2.7)$$

$$R_C = N_D.P_C.L_C \quad (2.8)$$

$$R_M = N_M.P_M.L_M \quad (2.9)$$

$$R_U = (N_L + N_{DJ}).P_U.L_U \quad (2.10)$$

$$R_V = (N_L + N_{DJ}).P_V.L_V \quad (2.11)$$

$$R_W = (N_L + N_{DJ}).P_W.L_W \quad (2.12)$$

$$R_Z = N_I.P_Z.L_Z \quad (2.13)$$

As variáveis das equações 2.6 a 2.13, serão apresentadas a seguir.

A obtenção dos valores de números de eventos (N_x), probabilidade de dano a estrutura (P_x) e Perda consequente (L_x) serão melhor vistos nos tópicos seguintes.

2.2.3.1 Número anual médio de eventos perigosos

Como visto anteriormente a probabilidade de dano a estrutura se divide em 5, segue a tabela adaptada, retirada da NBR 5419:2015, exemplificando cada um dessas subdivisões, conforme a Figura 9

Símbolo	Denominação
N_D	— à estrutura
N_M	— perto da estrutura
N_L	— em uma linha conectada à estrutura
N_I	— perto de uma linha conectada à estrutura
N_{DJ}	— a uma estrutura adjacente

Figura 9: Probabilidade de dano e suas divisões.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.26.

Onde para se obter os seus respectivos valores o primeiro passo é calcular o valor de N_g que é o número de descargas atmosféricas para a terra, onde o método de cálculo já foi mostrado na seção 3.2.1, pela equação 3.1.

Outra forma de se calcular o valor de N_g é pelo site do INPE, que disponibiliza um mapa completo da região brasileira com seus respectivos valores.

Após calcular o valor de N_g , deve-se determinar a área de Exposição equivalente A_d , que nessa versão da NBR 5419:2015 veio modificada em relação a versão anterior NBR 5419:2005, que para estrutura retangular é dada pela equação 2.14

$$A_d = LxW + 2.(3.H).(L + W) + \pi.(3.H)^2 \quad (2.14)$$

E para estruturas com forma complexa pela equação 2.15

$$A_d = \pi.(3.H_p)^2 \quad (2.15)$$

Onde:

H_p = valor máximo da saliência.

Obtendo-se esses dois valores já é possível determinar o número de eventos perigosos (ND, NDJ, NM e NL) onde ND que é número de eventos perigosos para a estrutura é obtido pela equação 2.16

$$ND = Ng.Ad.CD.10^{-6} \quad (2.16)$$

Onde o valor de CD que é o fator de localização da estrutura é valor tabelado, onde foi retirado da NBR 5419:2015, conforme a Figura 10

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

Figura 10: Fator de localização da estrutura CD

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.36

A equação para se determinar NDJ, que é Número de eventos perigosos para estrutura adjacente, é dada pela equação 2.17

$$NDJ = Ng.Adj.CDJ.CT.10^{-6} \quad (2.17)$$

Onde Adj é o valor da área em m^2 da estrutura adjacente e os valores de CDJ são os mesmos expostos na figura 10 e CT pode ser visto na Figura 11

Instalação	CT
Linha de energia ou sinal	1
Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	0,2

Figura 11: Fator tipo de linha CT.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.38.

O número médio anual de eventos perigosos NM pode ser obtido pela equação 2.18

$$NM = Ng.Am.10^{-6} \quad (2.18)$$

Onde Am é a área de exposição equivalente de descargas que atingem perto da estrutura, que pode ser determinada pela equação 2.19

$$Am = 2.500.(L + W) + \pi.500^2 \quad (2.19)$$

O valor de NL, número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha, pode ser determinado pela equação 2.20

$$NL = Ng.AI.CI.CE.CT.10^{-6} \quad (2.20)$$

Onde, o valor de AI e determinado pela equação 2.23

$$AI = 40.LL \quad (2.21)$$

Sendo LL o comprimento da seção da linha em metros. Os valores de CI, CT e CE são tabelados, onde CI esta expresso na Figura 12, CT na Figura 11 e CE na Figura 13

Para se determinar o valor de NI, que são Numero médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da linha, é dado pela equação 2.22

$$NI = Ng.AI.CI.CE.CT.10^{-6} \quad (2.22)$$

Onde o valor de AI e igual a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas perto da linha em m^2 , que pode ser determinada pela equação 2.23

$$AI = 4000.LL \quad (2.23)$$

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

Figura 12: Fator de instalação da linha CI.

Fonte:ABNT NBR 5419-2:2015, p.38.

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

Figura 13: Fator ambiental da linha CE.

Fonte:ABNT NBR 5419-2:2015, p.38.

2.2.3.2 Probabilidade de danos

A probabilidade de danos é dividido em 9 categorias diferentes, sendo cada um referente a uma causa de dano e perda diferente, essas 9 categorias serão melhor explicadas e exemplificado sua forma de cálculo.

Probabilidade PA, é a probabilidade de uma descarga atmosférica que atinge diretamente a estrutura causar ferimento a seres vivos por meio de choque elétrico, pode ser determina pela equação 2.24

$$PA = PTA.PB \quad (2.24)$$

Os valores de PTA e PB, são tabelados pela NBR 5419:2015, onde PTA pode ser visto na Figura 14 , e PB na Figura 15.

Medida de proteção adicional	P_{TA}
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

Figura 14: Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passos.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.40.

A probabilidade PB, que é a probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físico, é de valor tabelado pela NBR 5419:2015, que pode ser verificado na figura 15.

Características da estrutura	Classe do SPDA	P_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

Figura 15: Probabilidade P_B em relação as medidas de proteção.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.41.

A probabilidade PC é a probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos, seu valor pode ser determinado pela equação

$$PC = PSPD.CLD \quad (2.25)$$

Sendo os valores de $PSPD$ e CLD tabelados pela NBR 5419:2015, onde os valores de $PSPD$ estão expressos na Figura 16 e CLD na Figura 17 .

NP	P_{SPD}
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 2	0,005 – 0,001

Figura 16: Probabilidade de $PSPD$ em função do NP para qual os DPS foram projetados.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.42.

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	C_{LD}	C_{LI}
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiaterrado	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
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos para cabos protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	0	0
(Nenhuma linha externa)	Sem conexões com linhas externas (sistemas independentes)	0	0
Qualquer tipo	Interfaces isolantes de acordo com a ABNT NBR 5419-4	0	0

Figura 17: Valores dos fatores CLD e CLI.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.42.

Probabilidade PM é a probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos, pode ser determinada pela equação 2.26

$$PM = PSPD.PMS \quad (2.26)$$

onde o valor de PMS são obtido pela equação

$$PMS = (KS1.KS2.KS3.KS4) \quad (2.27)$$

Segundo a NBR 5419:2015, que determina KS1, KS2, KS3 e KS4.

- KS1 leva em consideração a eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR $\frac{0}{1}$;
- KS2 leva em consideração a eficiência da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR $\frac{X}{Y}$ ($X>0$, $Y>1$);
- KS3 leva em consideração as características da fiação interna, ver Figura 18;
- KS4 leva em consideração a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido.

Tipo de fiação interna	K_{S3}
Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ^a	1
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços ^b	0,2
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ^c	0,01
Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos ^d	0,000 1

^a Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m²).
^b Condutores em laço roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10 m²).
^c Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5 m²).
^d Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.

Figura 18: Valor do Fator KS3 dependendo da fiação interna.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.45.

A probabilidade PU é a probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico, onde PU pode ser determinado pela equação 2.28

$$PU = PTU.PEB.PLD.CLD \tag{2.28}$$

Os valores de PTU, PEB, PLD e CLD, são tabelados, esses valores estão dispostos na NBR 5419:2015, onde PTU se encontra na Figura 19 , PEB na Figura 20 , PLD na Figura 21 e CLD na figura 17

Medida de proteção	P_{TU}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	10 ⁻¹
Isolação elétrica	10 ⁻²
Restrições físicas	0

Figura 19: Valores da probabilidade PTU de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choques a seres vivos devido a tensão de toque.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.46.

NP	P_{EB}
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 4	0,005 – 0,001

Figura 20: Valor da probabilidade PEB em função do NP para qual os DPS foram projetados.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.46.

Tipo da linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação	Tensão suportável U_w em kV					
		1	1,5	2,5	4	6	
Linhas de energia ou sinal	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	1	1	1	1	1	
	Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	$5\Omega/\text{km} < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1\Omega/\text{km} < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Figura 21: Valores da probabilidade PLD dependendo da resistência da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso do equipamento.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.47.

A probabilidade PV que é a probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos, o valor de PV pode ser calculado pela equação 2.29

$$PV = PEB.PLD.CLD \tag{2.29}$$

Sendo PEB expresso na Figura 20, PLD na Figura 21 e CLD na Figura 17.

A probabilidade PW que é a probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar falha de sistemas internos, que é representada pela equação 2.30

$$PW = PSPD.PLD.CLD \tag{2.30}$$

Sendo PSPD expresso na Figura 16, PLD na Figura 21 e CLD na Figura 17.

A probabilidade PZ é a probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha dos sistemas internos determinada pela equação 2.31.

$$PZ = PSPD.PLI.CLI \tag{2.31}$$

Sendo PSPD expresso na Figura 16, PLI na Figura 22 e CLI na Figura 17

Tipo da linha	Tensão suportável U_w em kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia	1	0,6	0,3	0,16	0,1
Linhas de sinais	1	0,5	0,2	0,08	0,04

Figura 22: Probabilidade PLI dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso dos equipamentos.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.49.

2.2.3.3 Quantidade relativa média da perda por evento perigoso

A perda L_x se refere à quantidade relativa média de um tipo de dano para um evento perigoso.

O valor da perda varia conforme o tipo da perda considerada, conforme visto antes, podendo ser do tipo L1, L2, L3 ou L4. Para cada tipo de perda proporcionada existem equações específicas.

Quando a perda é do Tipo L1, ou seja perda de vida humana, possuem equações correspondentes seguem na Figura 23

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_t \times L_T \times n_Z / n_t \times t_z / 8760$	(C.1)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times n_Z / n_t \times t_z / 8760$	(C.2)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_Z / n_t \times t_z / 8760$	(C.3)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_Z / n_t \times t_z / 8760$	(C.4)

Figura 23: Tipo de perda L1.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.51.

onde

- **LT** é numero relativo médio típico de vitimas feridas por choque elétrico (D1);
- **LF** é o numero relativo médio típico de vitimas por danos fisicos (D2) devido a um evento perigoso;
- **LO** é o numero relativo médio típico de vitimas por falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso;
- **rt** é um fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso, conforme a Figura 25;

- **rp** é um fator de redução de perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio, conforme a Figura 26.;
- **rf** é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incendio ou do risco de explosão da estrutura, conforme a Figura 27;
- **hz** é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente, conforme a Figura 28;
- **nz** é o numero de pessoas na zona;
- **nt** é o numero total de pessoas na estrutura;
- **tz** é o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano.

Todos essas termos são de valores tabelados pela NBR:5419:2015

Tipos de danos	Valor de perda típico		Tipo da estrutura
D1 ferimentos	LT	10 ⁻²	Todos os tipos
D2 danos físicos	LF	10 ⁻¹	Risco de explosão
		10 ⁻¹	Hospital, hotel, escola, edifício cívico
		5 × 10 ⁻²	Entretenimento público, 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

Figura 24: Valores médios de LT, LF e LO para tipo de perda L1.

Fonte:ABNT NBR 5419-2:2015, p.52.

Tipo de superfície ^b	Resistência de contato k Ω ^a	r _t
Agricultura, concreto	≤ 1	10 ⁻²
Marmore, cerâmica	1 – 10	10 ⁻³
Cascalho, tapete, carpete	10 – 100	10 ⁻⁴
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10 ⁻⁵

^a Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm² 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.

Figura 25: Fator de redução r_t.

Fonte:ABNT NBR 5419-2:2015, p.53.

Providências	r_p
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à 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.

Figura 26: Fator de redução r_p .

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.53.

Risco	Quantidade de risco	r_f
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

Figura 27: Fator de redução r_f .

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.53.

Tipo de perigo especial	h_z
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

Figura 28: Fator h_z .

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.53.

Quando a perda é do tipo L2, ou seja perda inaceitável de serviço público, são calculadas conforme as equações da Figura 29.

Tipo de dano	Perda típica
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times n_z/n_t$
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_t$

Figura 29: Tipos de perda L2.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.55.

Esses valores são tabelados pela NBR:5419:2015, conforme já visto anteriormente, os valores de LF e LO tem alteração devido ao tipo de perda, mas seus valores seguem na Figura 30.

Tipo de dano	Valor da perda típica		Tipo de serviço
D2 danos físicos	LF	10 ⁻¹	Gás, água, fornecimento de energia
		10 ⁻²	TV, linhas de sinais
D3 falhas de sistemas internos	LO	10 ⁻²	Gás, água, fornecimento de energia
		10 ⁻³	TV, linhas de sinais

Figura 30: Valores médio de LF e LO, para tipo de perda L2.

Fonte:ABNT NBR 5419-2:2015, p.55.

A perda inaceitável de patrimônio cultural L3, é calculada conforme as equações da imagem

Tipo de dano	Valor típico da perda
D2 danos físicos	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times C_z / C_t$

Figura 31: Tipos de perda L3.

Fonte:ABNT NBR 5419-2:2015, p.56.

Onde:

- Cz é o valor do patrimônio cultural na zona;
- Ct é o valor da edificação e conteúdo da estrutura.

Os demais valores são tabelados pela NBR 5419:2015, conforme já vistos onde os valores de LF sofrem alteração para tipo de perda L3, mas podem ser vistos na Figura 32.

Tipo de dano	Valor típico de perda		Tipo de estrutura ou zona
D2 danos físicos	LF	10 ⁻¹	Museus, galerias

Figura 32: Valor médio de LF para perda tipo L3.

Fonte:ABNT NBR 5419-2:2015, p.57.

As perdas de valores econômicos tipo L4 pode ser determinado de acordo com a figura , conforme a NBR 5419:2015.

Tipo de danos	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_t \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.10)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.11)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times (c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t^a$	(C.12)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times c_s / c_t^a$	(C.13)

^a As relações c_a / c_t e $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t$ e c_s / c_t devem somente ser consideradas nas equações (C.10) – (C.13), se a análise de risco for conduzida de acordo com 8.10, usando o Anexo D. No caso de utilizar um valor representativo para o risco tolerável R4 de acordo com a Tabela 4, as relações não podem ser levadas em consideração. Nestes casos, as relações devem ser substituídas pelo valor 1.

Figura 33: Perdas tipo L4.

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.57.

Onde:

- **Ca** é o valor dos animais na zona;
- **Cb** é o valor da edificação relevante à zona;
- **Cc** é o valor do conteúdo da zona;
- **Cs** é o valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona;
- **Ct** é o valor total da estrutura.

Os valores são todos tabelados pela NBR 5419:2015, conforme visto nas figuras anteriores, apenas os valores de LT, LF e LO, sofrem mudança com o tipo de perda L4, conforme a imagem a seguir.

Tipo de danos	Valor de perda típico		Tipo de estrutura
D1 ferimento devido a choque	L_T	10^{-2}	Todos os tipos onde somente animais estão presentes
D2 danos físicos	L_F	1	Risco de explosão
		0,5	Hospital, industrial, museu, agricultura
		0,2	Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento público, comercial
		10^{-1}	Outros
D3 falha de sistemas internos	L_O	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-2}	Hospital, industrial, escritório, hotel, comercial
		10^{-3}	Museu, agricultura, escola, igreja, entretenimento público
		10^{-4}	Outros

Figura 34: Valores médios LT, LF e LO para tipo de perda L4

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015, p.58.

2.2.4 ELEMENTOS QUE COMPÕEM UM SPDA

O SPDA é o sistema completo composto de um sistema de proteção interno e externo (SOUZA et al. 2015 p.61).

O sistema externo é composto pelos captores, condutores de descida e o sistema de aterramento (SOUZA et al. 2015 p.61).

O sistema interno, são dispositivos que reduzem os danos causados pela corrente elétrica e magnética nos circuitos elétricos, que estão localizados dentro do raio de proteção do SPDA. Que será visto no capítulo 2.4 (SOUZA et al. 2015 p.61).

2.2.4.1 Subsistema captor

A função básica do subsistema captor é receber a corrente elétrica da descarga atmosférica e distribuir pelo subsistema de descida (SOUZA et al. 2015 p.61).

Os captores devem ser posicionado de forma adequada e corretamente dimensionados, eles se dividem em dois grupos, captores naturais e os não naturais (ABNT NBR 5419-3. 2015 p.13).

Os captores naturais são qualquer elemento condutor da corrente elétrica que possa ser atingido pelos raios e estão expostos a essas descargas, como por exemplo telhados, cobertura metálica (ABNT NBR 5419-3. 2015 p.13).



Figura 35: Estrutura metálica como captor natural.

Fonte: www.mfrural.com.br.

De acordo com a ABNT NBR 5419, os captores naturais não devem possuir espessura inferior a 0,5mm.

Segundo, SOUZA et al. (2015, p.70), eles devem satisfazer as seguintes condições:

- a) O elemento não deve ser revestido de material isolante (não se considera isolante uma camada de pintura de proteção, ou 0,5mm de asfalto, ou 1mm de pvc.);
- b) A continuidade elétrica entre as diversas partes deve ser executada de modo que assegure durabilidade;
- c) Os elementos não metálicos acima ou sobre o elemento metálico podem ser excluídos do volume a proteger (em telhas de fibrocimento) o impacto do raio ocorre habitualmente sobre os elementos metálicos de fixação);
- d) A espessura do elemento metálico não deve ser inferior a 0,5mm, quando for necessário prevenir contra perfurações ou pontos quentes;
- e) A espessura do elemento metálico não pode ser inferior a 2,5mm, quando não for importante prevenir contra perfurações ou ignição de materiais combustíveis no volume a proteger.⁷

Os captosres não naturais são elementos metálicos, fabricados especificamente para essa função, como por exemplo os captosres Franklin, que são construídos geralmente em aço inoxidável, dotados de pontas, geralmente 3 ou 4 (SOUZA et al. 2015 p.71).

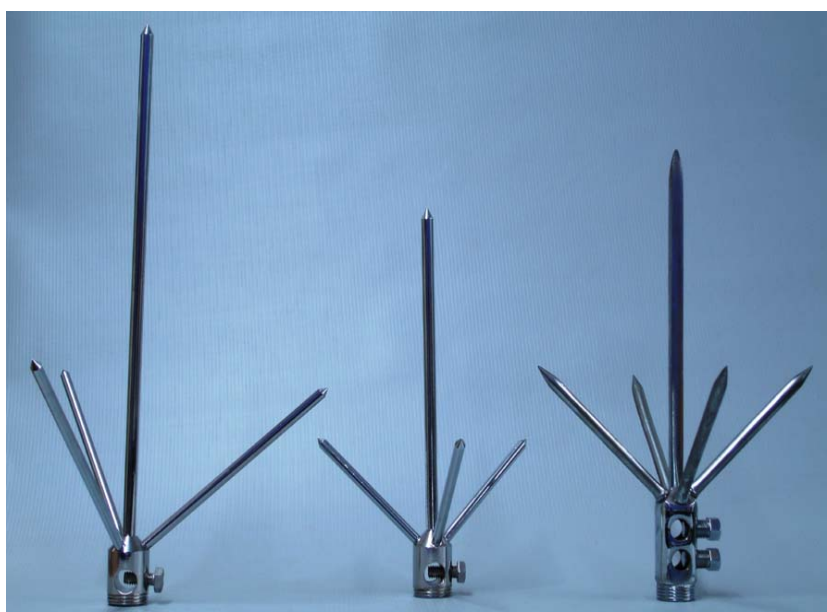


Figura 36: Captor não natural modelo Franklin.

Fonte: www.servmontec.com.br.

2.2.4.2 Subsistema de descida

A função principal dos condutores de descidas é conduzir a corrente recebida do captor para o aterramento, devem ser devidamente instalados para evitar que haja centelhamento ou indução de corrente em outros condutores próximos(SOUZA et al. 2015 p.72).

⁷ SOUZA, Andre Nunes; RODRIGUES, José Eduardo; BORELLI, Reinaldo e BARROS, Benjamim Ferreira. SPDA Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas Teoria, Prática e Legislação. 1ºed. SARAIVA, 2015.

A ABNT NBR 5419-3 (2015, p.14) define finalidade dos condutores da seguinte forma."Com o propósito de reduzir a probabilidade de danos devido à corrente da descarga atmosférica pelo SPDA, os condutores de descida devem ser arrançados a fim de proverem: diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica; o menor comprimento possível do caminho da corrente elétrica[...]"

Os condutores de descida também se dividem em dos grupos, podendo ser natural ou não natural.

Os condutores de descida natural são qualquer elemento condutor da construção, que possa conduzir a corrente elétrica da descarga atmosférica. Geralmente são armaduras de aço no concreto, pilares metálicos ou tubulações metálicas (ABNT NBR 5419-3. 2015 p.16).

Os condutores de descida não natural, são normalmente construídos por cobre ou alumínio, devem ser instalados a uma distancia mínima de 0,5m de janelas, portas, ou entradas (SOUZA et al. 2015 p.74).

Os condutores de descida não natural devem possuir um espaçamento mínimo conforme o nível de proteção, de acordo com a ABNT NBR - 5419, conforme a Tabela 9.

Tabela 9: Espaçamento médio dos condutores de descida não naturais.

Nível de proteção	Espaçamento médio (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

Fonte:ABNT NBR 5419-3:2015, p.15.

Segundo Souza et al. (2015 p. 44) O número de descidas deve ser calculado, de acordo com o seu projeto, pode ser calculado pela seguinte equação:

$$Nde = \frac{P}{E} \quad (2.32)$$

Onde:

Nde: numero de descidas;

P = perímetro da edificação em metros;

E = Espaçamento entre descidas em metro.

Onde E pode ser obtido de acordo com a tabela 9.

2.2.4.3 Subsistema de aterramento

O subsistema de aterramento é o responsável por receber toda a corrente da descarga atmosférica através dos subsistemas já citados, e fazer sua equipotencialização, eliminando para

a terra.

SOUZA et al. (2015, p.79), atribui as seguintes funções ao sistema de aterramento.

- a) controlar a tensão à terra dentro de limites previsíveis, limitando o esforço de tensão na isolação dos condutores e diminuindo as interferências eletromagnéticas;
- b) descarregar cargas estáticas acumuladas em máquinas e equipamentos;
- c) Facilitar o funcionamento dos dispositivos de proteção;
- d) Proteger as pessoas de descargas atmosféricas, pois viabiliza um caminho alternativo para a terra.⁸

VISACRO (2002, p.143) Determina como função do aterramento em um sistema de SPDA. "Sua função é prover um caminho de baixa impedância para a corrente de descarga, no seu percurso preferencial em direção ao solo (constituído pelos cabos do sistema de proteção)"

Outra função de um bom aterramento é a proteção contra as correntes de passo e toque, uma alternativa para ajudar nesse sentido seria cobrir o solo com britas como é feito em subestações (VISACRO. 2002, p.121).

A resistividade do solo pode ser medida por amostragem, realizada em laboratório com amostras do solo do local desejado ou medição no local, que é feita com equipamentos, com uso de eletrodos adequadamente posicionados (SOUZA et al. 2015 p.83).

O método de medição de resistividade padronizado pela ABNT é o método de Wenner, descrito a seguir (SOUZA et al. 2015 p.83).

Devem ser fixadas ao solo quatro hastes verticais, alinhadas e com espaçamento de uma a outra igual, onde a parte que estará cravada no solo não pode exceder a $\frac{1}{20}$ da distância entre as hastes, onde será necessário a utilização de um termômetro de quatro terminais, onde os seus dois terminais de corrente será ligados as hastes externas, e os dois terminais de potencial as hastes internas (SOUZA et al. 2015 p.83).

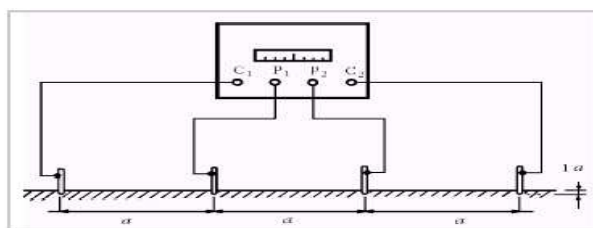


Figura 37: Modelo de medição de aterramento Wenner.

Fonte: catedra.ing.unlp.edu.ar.

SOUZA et al. (2015, p.84), descrevem da seguinte forma:

⁸ SOUZA, Andre Nunes; RODRIGUES, José Eduardo; BORELLI, Reinaldo e BARROS, Benjamim Ferreira. SPDA Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas Teoria, Prática e Legislação. 1ºed. SARAIVA, 2015.

A medição consiste em injetar no solo corrente elétrica, utilizando a fonte do equipamento que está interligada aos terminais C1 e C2. Os terminais P1 e P2 são utilizados para medir os valores de potencial existentes no solo. Com base nesses valores, o display do equipamento indica o valor correspondente de resistividade do solo naquele ponto.⁹

2.2.5 DPS - Equipamento de proteção interno

Os dispositivos de proteção contra surto (DPS) são equipamentos para proteção das instalações elétricas geralmente são constituídos por Centelhador a gás e Varistor, onde o centelhador é um equipamento de proteção de alta capacidade de corrente e os varistores são limitadores de tensão, impedem que surtos de pequena duração alcancem o equipamento (SOUZA et al. 2015 p.64).

O DPS geralmente é instalado no Quadro de distribuição, ligado a cada fase, são conhecidos também como protetores de surto ou pára-raios de baixa tensão. Sua principal função vai ser proteger os seus equipamentos eletrônicos do surto causado na rede elétrica ao ser atingida por uma descarga atmosférica por exemplo (SOUZA et al. 2015 p.64).

2.2.6 Filosofias dos sistemas de SPDA

Existem três filosofias de proteção de SPDA, onde tem como função igual, mais metodologia de uso diferentes, onde são ideais para cada caso em específico, que são o método de Franklin, Método Eletrogeométrico e a Gaiola de Faraday, que serão exemplificados melhor a seguir.

2.2.6.1 Método Franklin

O método de Franklin, que recebe esse nome devido a Benjamin Franklin, consiste na instalação de captos vistos na seção 2.4.1, montados sobre mastros cuja altura deve ser de acordo com requerido pela edificação (SOUZA et al. 2015, p.46).

VISACRO FILHO (2005, p.234) descreve filosofia Franklin da seguinte forma.

A filosofia deste tipo de sistema fundamenta-se na interceptação de eventuais canais descendentes que se aproximem da estrutura por meio de canais ascendentes iniciados a partir dos captos do sistema de proteção. Tais captos são usualmente constituídos por corpos metálicos longos e elevados (hastes, mastros etc.) posicionados nas partes altas da estrutura, de forma a prove blindagem para todos os pontos da edificação.¹⁰

⁹ SOUZA, Andre Nunes; RODRIGUES, José Eduardo; BORELLI, Reinaldo e BARROS, Benjamim Ferreira. SPDA Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas Teoria, Prática e Legislação. 1ªed. SARAIVA, 2015.

¹⁰ VISACRO FILHO, Silvério. Descargas Atmosféricas uma abordagem de engenharia. Artliber Editora, 2005.

SOUZA et al. (2015 p.46) determina a abrangência de proteção é determinada pelo cone formado, conforme a figura abaixo, que pode ser calculado pela seguinte formula:

$$R = tg\alpha.H \tag{2.33}$$

Onde:

R = Raio base do cone de proteção;

H = Altura do mastro.

A figura 38, define melhor a equação 2.33

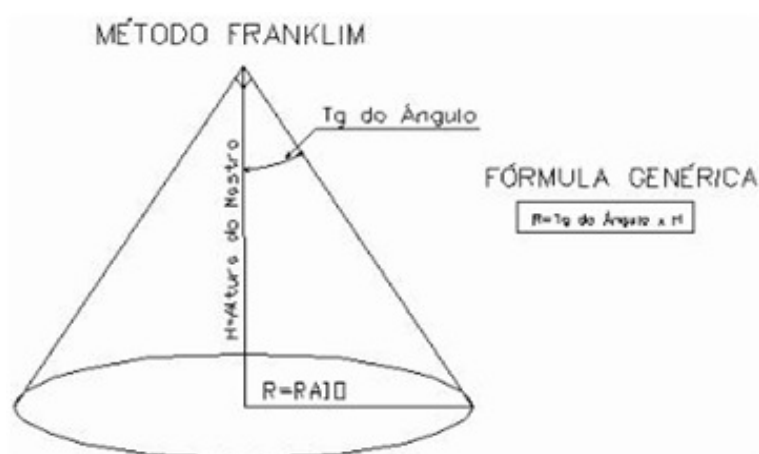


Figura 38: Área de proteção segundo método de Franklin.

Fonte:www.sabereletrica.com.br

O ângulo de proteção é mostrado na Tabela ?? de acordo com o nível de proteção.

Tabela 10: Ângulos de proteção do método Franklin

Nível de proteção	I	II	III	IV
0 a 20m	25°	35°	45°	55°
21 a 30m	Não se aplica	25°	35°	45°
31 a 45m	Não se aplica	Não se aplica	25°	35°
46 a 60m	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	25°

Fonte:SOUZA et al, p.46.

2.2.6.2 Método eletrogeométrico

Método eletrogeométrico ou também conhecido como método da esfera rolante. É utilizado para delimitar o volume de proteção de um SPDA, quando composta de hastes, cabos ou a combinação de ambos. Utilizado em estruturas de grande altura ou em formas arquitetônicas complexas (SOUZA et al. 2015 p.47).

Segundo VISACRO FILHO, (2005, p.227) o método eletrogeométrico é organizado por duas metodologias distintas, que as descreve da seguinte forma:

Na primeira metodologia, o raio é considerado na perspectiva dos prováveis pontos de incidência na estrutura. A partir de cada um desses pontos é determinada uma superfície, construída ao circular-se o raio de atração, no entorno do ponto. Quando esta superfície é alcançada por um canal descendente, fica definido o ponto de incidência[...] ¹¹

Ainda nesse contexto completa.

A segunda metodologia, um pouco mais elaborada, é desenvolvida na perspectiva das possíveis posições alcançadas pela extremidade do canal descendente em sua aproximação da estrutura, sendo designada Método das Esferas Rolantes. A cada amplitude de corrente esta associado um raio de atração específico que define uma esfera centrada em cada posição admitida para a extremidade do canal descendente. Tal esfera é deslocada (rolada) sobre a superfície da estrutura cuja proteção se projeta.[...] ¹²

A Tabela 11 mostra os valores de raio máximo da esfera rolante "R", em função do nível de proteção exigido e os valores de crista da corrente do raio conforme o comprimento R (SOUZA et al. 2015, p.48).

Tabela 11: Distancia Esfera rolante "R" em função da corrente de crista I_{max}

Nível de proteção	I	II	III	IV
Distancia R(m)	20	30	45	60
Valor de crista I _{max} (KA)	3.7	6.1	10.6	16.5

Fonte: SOUZA et al, p.47

A área que se encontra sob a esfera na Figura 40 está protegida, no entanto a esfera rolante não pode tocar a edificação, caso toque é necessário aumentar a altura dos mastros.

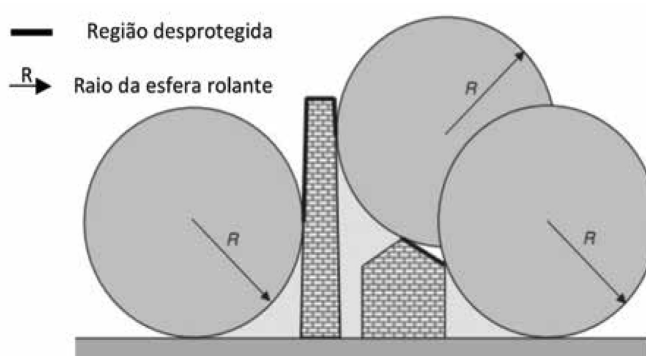


Figura 39: Modelo eletrogeométrico: aplicação da esfera rolante.

Fonte: spdaterra.blogspot.com.br.

¹¹ VISACRO FILHO, Silvério. Descargas Atmosféricas uma abordagem de engenharia. Artliber Editora, 2005.

¹² VISACRO FILHO, Silvério. Descargas Atmosféricas uma abordagem de engenharia. Artliber Editora, 2005.

2.2.6.3 Método gaiola de Faraday

O método da Gaiola de Faraday pode ser utilizado em qualquer edificação, sendo considerado um dos métodos mais seguros, mas requer muita perícia em sua montagem, consiste na construção de uma gaiola eletrostática em volta a edificação que fará a blindagem da estrutura (VISACRO FILHO, 2005 p.238).

Os condutores que ficam na horizontal são interligados de forma a uma rede, ou seja uma malha de condutor, quanto mais fechada a malha maior o nível de proteção (VISACRO FILHO, 2005 p.238).

A ABNT NBR 5419, determina secção mínima dos materiais utilizados nesse sistema conforme a tabela abaixo.

Tabela 12: Seção mínima dos materiais método Faraday

Componente	Seção mínima dos materiais do SPDA (mm ²)		
	Cobre	Aluminio	Aço galvanizado a quente ou embutido em concreto
Captor e anéis intermediarios	35	70	50
Descidas (para estruturas de altura até 20m }	16	25	50
Descidas (para estruturas de altura superior 20m }	35	70	50
Eletrodo de aterramento	50	-	80

Fonte:SOUZA et al, p.49.

Na Figura 40, podemos ver modelo de aplicação do método de Faraday.

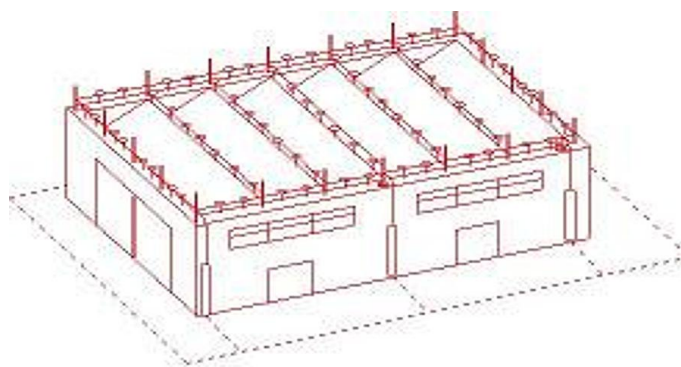


Figura 40: Modelo gaiola de Faraday.

Fonte:www.montal.com.br.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 ESCOLHA DA TORRE DE TELECOMUNICAÇÃO

Foi escolhido para a análise da metodologia de SPDA para uma torre de transmissão de dados, uma estrutura localizada em Piedade Caratinga, pertence a empresa RS PORTAL LTDA, onde autorização de acesso ao local e retirada de fotos se encontra no Anexo A.

Análise e escolha do local foram feitas durante estagio na empresa, ela foi construída, para utilização de serviços de transmissão de dados, onde foi feito a elaboração de um projeto de SPDA para a estrutura. Com isso foi acompanhado a implementação do SPDA para estrutura, sem qualquer intervenção minha, para que no final seja analisado se o projeto foi executado de forma correta.

A estrutura foi construída em aço galvanizado, com altura final de 14m, no local seria feito um abrigo, para instalação de demais equipamentos e a energia no local é fornecida pela concessionária local a CEMIG.

Segue no apêndice A, planta do local que apresenta informações importantes sobre área, altura e disposição da estrutura no local, que foi de grande importância para a realização dos cálculos a seguir.

3.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SPDA PARA ESTRUTURA ESTUDADA PELA NBR 5419:2005

Seguindo os procedimentos normatizados, foi feito o cálculo para verificar se haveria a necessidade da execução do SPDA, lembrando que por mais que o calculado indique a não necessidade da instalação de um SPDA não quer dizer que não deve ser feito, no caso estudado é de extrema importância a elaboração desse projeto de SPDA, devido essa estrutura servir de prestação de serviços públicos, interrupção do seu funcionamento poderia prejudicar diversos setores, além da proteção para as pessoas que irão exercer trabalho na estrutura e aos equipamentos instalados nela.

Para a análise de Viabilidade do SPDA foi utilizado o método apresentado na seção 2.2.2, pela NBR 5419:2005.

Conforme visto na seção 2.2.2 existem alguns passos para verificar a viabilidade de implantação de um SPDA, onde serão executados a seguir.

O primeiro passo é a análise da frequência média anual de descargas atmosféricas, que pode ser obtida pela equação 2.1, disponível na seção 2.2.2.1.

No Brasil o INPE disponibiliza em seu site um mapa detalhado com o a média anual de descargas atmosféricas, onde foi informado para a região de Piedade Caratinga o valor de Ng igual a 4,2 conforme a Figura 41.



Figura 41: Valor de Ng conforme INPE para região de Piedade Caratinga.

Fonte: INPE.

Após calcular o valor de Ng é necessário calcular o valor da Área de exposição equivalente (A_e), que pode ser obtido pela equação 2.2, disponível no seção 2.2.2.2

Analisando o valores da altura, largura e comprimento da estrutura, que estão expostos no apêndice A e os aplicando a equação obteremos o seguinte valor de A_e .

$$A_e = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2$$

$$A_e = 1.0,866 + 2.1.14 + 2.0,866.14 + \pi.14^2$$

$$A_e = 668,86m^2$$

Com os valores já calculados da Área de exposição equivalente e frequência media anual de descargas atmosféricas, deve-se calcular o valor da frequência media anual previsível que é dada pela equação 2.3.

$$Nd = Ng.A_e.10^{-6}$$

$$Nd = 4,2.668,86.10^{-6}$$

$$Nd = 2,81.10^{-3}$$

Após calculado, deve-se analisar as Tabelas de 6 a 10 e verificar para a estrutura estudada quais o fatores de ponderação correspondentes.

Para esse estudo de caso tem-se os seguintes fatores de ponderação: conforme as Tabelas de 13 a 17.

Tabela 13: Fator de ponderação A, para o estudo de caso.

Tipo de ocupação	Fator A
Casas e outras estruturas de porte equivalente com antena externa	0.7

Tabela 14: Fator de ponderação B, para o estudo de caso.

Material de construção	Fator B
Estrutura de aço revestida, ou de concreto armado, com cobertura metálica	0.8

Tabela 15: Fator de ponderação C, para o estudo de caso.

Conteúdo da estrutura ou efeitos indiretos	Fator C
Subestações de energia elétrica, usinas de gás, centrais telefônicas, estações de rádio.	1.0

Tabela 16: Fator de ponderação D, para o estudo de caso.

Localização	Fator D
Estrutura completamente isola, ou que ultrapasse, no mínimo, duas vezes a altura de estruturas, ou árvores próximas.	2.0

Tabela 17: Fator de ponderação E, para o estudo de caso.

Topografia	Fator E
Montanhas entre 300 e 900m	1.3

Analisando os fatores de ponderação correspondentes para a estrutura estudada, deve-se multiplicá-los pelo valor da frequência média anual previsível conforme a equação 2.4.

$$N_{dc} = N_d \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E$$

$$N_{dc} = 2,81 \cdot 10^{-3} \cdot 3,0 \cdot 7,0 \cdot 8,1 \cdot 0,2 \cdot 0,1 \cdot 3$$

$$N_{dc} = 4,09 \cdot 10^{-3}$$

Comprado o valor obtido com a frequência média anual admissível que se encontra na seção 2.2.2.5, verificamos que segundo a NBR 5419:2005, há necessidade de instalação de um SPDA para a estrutura.

3.3 METODOLOGIA DE PROTEÇÃO EMPREGADA

O primeiro passo para se iniciar a elaboração do projeto de SPDA é a verificação no nível de proteção empregado, conforme descrito anteriormente, consultando a Tabela 3 da seção 2.2.1, verificamos que é exigido proteção Nível 1, para tipo de estrutura estudada, conforme a Tabela 18.

Tabela 18: Análise do nível de proteção.

Classificação da estrutura	Tipo de estrutura	Efeitos das descargas atmosféricas	Nível de proteção
Estruturas com risco confinado	Estação de telecomunicações, usinas elétricas	Interrupção inaceitáveis de serviços públicos	I

Sabendo o nível de proteção exigido foi analisado dentre as três metodologias de SPDA apresentadas qual se encaixa melhor para o projeto.

A norma ABNT NBR 5419 diz "Qualquer elemento condutor exposto, isto é, que do ponto de vista físico possam ser atingidos pelos raios, devem ser considerados como parte do SPDA".

Com base nessa informação foi escolhido o método de proteção do tipo Franklin, onde será utilizado a torre metálica de 14m como captor do SPDA.

O método Franklin foi adotado devido ao fato de que os outros dois métodos apresentados não serem viáveis ao tipo de estrutura analisada, pois o método das esferas rolantes se aplica a estruturas de forma mais complexa, e o método da Gaiola de Faraday, é de alto valor de implantação é mais usual em edifícios.



Figura 42: Torre metálica existente no local.

Fonte: Autor



Figura 43: Abrigo existente no local.

Fonte: Autor

Como visto na seção 2.2.6.1, o método Franklin possui uma área de abrangência, que é determinado pela equação 2.33, colocando essa equação em pratica tem-se:

$$R = tg\alpha.H$$

$$R = tg25.14$$

$$R = 5,79m$$

Sendo valor do ângulo determinado pela Tabela 10, conforme resultado pode-se verificar que toda a área da estrutura e o abrigo se encontra protegida, conforme pode ser analisado no Apêndice A, onde foi traçado círculo com a área proteção sobre a planta do local. Segue na figura 44 o captor instalado na estrutura.

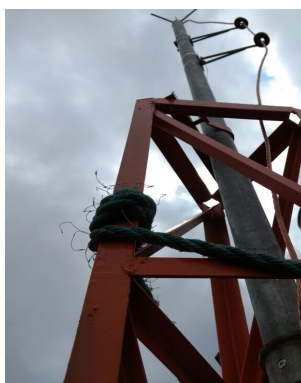


Figura 44: Captor tipo franklin existente no local

Fonte:Autor

Como condutor de descida foi utilizado cabo de cobre nu de $35mm^2$, que desce do captor ate as hastes de aterramento.

As hastes de aterramento foram colocadas em paralelo com espaçamento de 2,20m entre elas, fncadas a 2m de profundidade. Conforme pode ser analisado na Figura 45.



Figura 45: Hastes de aterramento existente no local.

Fonte: Autor

Existe outra haste que fica próxima a torre onde é ligado aterramento dos equipamentos que se encontram instalados na estrutura, e o quadro de força, conforme apresentada na Figura 46.



Figura 46: Haste de aterramento utilizado para o neutro da concessionaria

Fonte:Autor

A energia fornecida pela concessionaria local, é trazida de uma parte mais baixa do terreno, onde foi feito uso de DPS, para proteção de algum surto proveniente dessa linha, conforme a Figura 47.



Figura 47: Disjuntor e DPS instalados no local

Fonte:Autor

Conforme visto o projeto foi bem elaborado, mas apresenta algumas falhas que podem resultar em alguns erros gerando prejuízo financeiro e ferimento a seres vivos, conforme serão melhor apresentados no capítulo 4.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A metodologia de proteção escolhida era a melhor para o caso estudo, pois o método Franklin possui um custo mais baixo para sua execução e no caso estudado apresentou proteção para toda área que devia ser protegida, mas podem ser notadas algumas falhas na execução do projeto, dentre elas:

A torre se encontra isolada, pois a mesma não é interligada com nenhuma haste de aterramento, se a mesma for atingida diretamente por uma descarga atmosférica, ou se o subsistema de descida induzir carga na torre, pode causar falhas no sistema de proteção induzindo corrente nos equipamentos nela instalados.

O projeto não possui caixa ou barra equipotencialização, que é fundamental nesse caso, principalmente para proteção das pessoas contra tensão de toque que irão exercer algum trabalho no local, com isso deve-se interligar todos aterramos, componentes metálicos, neutro da concessionária e equipamentos. Outra forma de proteção seria cobrir o solo do local com britas, que ajudaria na proteção contra tensão de passo, pois proporcionaria uma melhor qualidade no isolamento do conto dos pés com o solo.

Outra falha identificada foi na execução do projeto de aterramento, pois o mesmo não foi feito a medição de sua resistência ôhmica para verificar sua qualidade, com isso não tem como saber se o aterramento esta eficiente. O correto deveria ser ter utilizado um terrômetro e averiguar a qualidade do aterramento, ou outro equipamento que realize a função.

As hastes de aterramento que estão interligadas com o cabo de descida, não foram instaladas em caixas com tampa removível, o que dificultara o acesso as hastes para futuras verificações de suas condições e qualidade de uso, e recomendável que se faça verificações do aterramento anualmente se o mesmo apresentar perda na eficiência deve-se tomar medidas preventivas, como inserção de mais hastes ou tratamento do solo.

Os erros apresentados poderiam ter sido evitados, caso o projeto tivesse sido realizado por um profissional adequado, o que não aconteceu, as falhas apresentadas tornam o projeto ineficiente, fazendo com que o investimento no projeto não seja da melhor forma aproveitado.

A tomada dessas medidas no projeto o tornara mais eficiente e mais seguro para que possa ser exercido trabalhos na estrutura.

5 CONCLUSÃO

Conforme visto no levantamento de dados bibliográficos, observa-se que para a implantação de um projeto de SPDA existem uma serie de etapas e métodos que devem ser cumpridos, desde a escolha dos métodos de proteção que será empregado, seja ele método de Franklin, Gaiola de Faraday ou Esfera rolantes, ate a escolha do melhor local para implantação do captor, dimensionamento do seu subsistema de descida e a construção do seu subsistema de aterramento.

Todas essas etapas devem ser bem analisadas e elaboradas, para que consiga a melhor eficiência possível em seu projeto, analisando esses dados com o estudo de caso, observa-se que houve um certo desleixo, pois alguns pontos falhos foram detectados conforme já apresentados.

O tema proposto por este trabalho foi desenvolvido de forma didática e concisa, de maneira simples, com intuito de que qualquer pessoa consiga ler e entender sobre o assunto, é evidente, no entanto, que qualquer pessoa que queira aprender mais sobre o assunto é aconselhável a leitura completa da NBR 5419, pois ela aborda alguns detalhes que não foram abordados na obra.

De maneira geral podemos concluir, que foram atingidos os objetivos que se esperavam, que era a verificação da eficiência do projeto de SPDA apresentado, infelizmente o resultado obtido não foi o esperado, esperava-se que o projeto apresenta-se menos falhas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, **NBR 5419-1 Proteção contra descargas atmosféricas parte 1: Princípios gerais**, 2015.

ABNT, **NBR 5419-2 Proteção contra descargas atmosféricas parte 2: Gerenciamento de risco**, 2015.

ABNT, **NBR 5419-3 Proteção contra descargas atmosféricas parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida**, 2015.

ABNT, **NBR 5419-4 Proteção contra descargas atmosféricas parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura**, 2015.

ABNT, **NBR 5419 Proteção contra descargas atmosféricas**, 2005.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em <<http://www.inpe.br>> Acesso em 15 de agosto de 2016.

KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mário. **Aterramento elétrico**. 3º ed. SAGRA-DC LUZZATTO, 1995.

MARCARINI, Fabiano. **Proteção contra descargas atmosférica utilizando para-raio de oxido de zinco**. UFV, 2012.

MENEZES, Felipe dos Santos; FONSECA, Wanderly Gomes. **Dispositivos de proteção contra descarga atmosférica em estações de telecomunicações**. Centro universitário de Belo Horizonte, 2014.

PAULINO, José Osvaldo Saldanha. **Aterramento de torres de telecomunicação**. EEUFMG, 1993.

QEnergia. Disponível em <<http://www.qenergia.pt/>> Acessado em 18 de agosto de 2016.

Saber Elétrica. Disponível em <<http://www.sabereletrica.com.br>> Acessado em 18 de agosto de 2016.

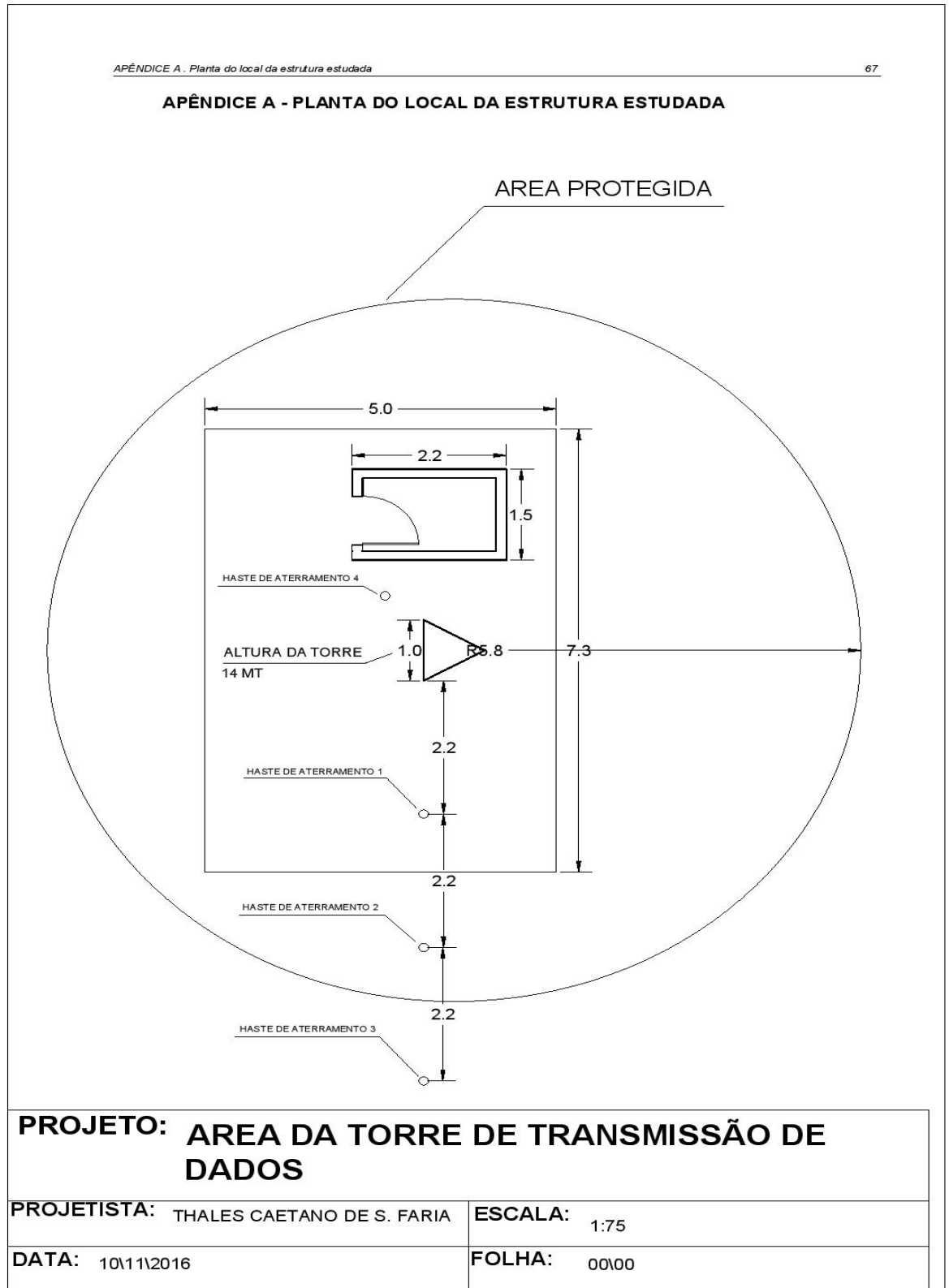
SOUZA, André Nunes; RODRIGUES, José Eduardo; BORELLI, Reinaldo e BARROS, Benjamin Ferreira. **SPDA Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas Teoria, Prática e Legislação**. 1ºed. SARAIVA, 2015.

STEFANI, Rodrigo Verardino, **METODOLOGIA DE PROJETO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA EDIFÍCIO RESIDENCIAL**, Universidade de engenharia de São Carlos, 2011.

VISACRO FILHO, Silvério. **Descargas Atmosféricas uma abordagem de engenharia**. Artliber Editora, 2005.

VISACRO FILHO, Silverio. **Aterramentos Elétricos, Conceitos básicos técnicas de medição e instrumentação, filosofias de aterramento.** ARTILIBER EDITORA, 2002.

APÊNDICE A PLANTA DO LOCAL DA ESTRUTURA ESTUDADA



ANEXO A AUTORIZAÇÃO DE ACESSO AO LOCAL DA ESTRUTURA

DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins, que a empresa RS PORTAL LTDA, autoriza o acesso a torre de transmissão situada na zona rural de Piedade Caratinga, para levantamento de dados necessários de forma acadêmica para elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso do Aluno Thales Caetano de Souza Faria, matriculado no curso de Engenharia Elétrica do instituto Doctum de Educação e Tecnologia, intitulado "ANALISE DE SPDA PARA TORRES DE TRANSMISSÃO DE DADOS, PARA ESTRUTURA UMA LOCALIZADA EM PIEDADE CARATINGA."

INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS PARA O ESTUDO:

IMAGENS FOTOGRÁFICAS
DADOS TÉCNICOS DA ESTRUTURA
VISITA AO LOCAL

Atenciosamente,
Ricardo Almeida Guimarães.

Caratinga, 06 de Outubro de 2016.

Ricardo Almeida Guimarães